

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4491597号
(P4491597)

(45) 発行日 平成22年6月30日(2010.6.30)

(24) 登録日 平成22年4月16日(2010.4.16)

(51) Int.Cl.

F 16 F 15/02 (2006.01)
B 60 G 17/00 (2006.01)

F 1

F 16 F 15/02
B 60 G 17/00

A

請求項の数 4 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2003-345552 (P2003-345552)
 (22) 出願日 平成15年10月3日 (2003.10.3)
 (65) 公開番号 特開2004-144299 (P2004-144299A)
 (43) 公開日 平成16年5月20日 (2004.5.20)
 審査請求日 平成18年9月29日 (2006.9.29)
 (31) 優先権主張番号 特願2002-290776 (P2002-290776)
 (32) 優先日 平成14年10月3日 (2002.10.3)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 801000049
 財団法人生産技術研究奨励会
 東京都目黒区駒場四丁目6番1号
 (74) 代理人 100116207
 弁理士 青木 俊明
 (74) 代理人 100089635
 弁理士 清水 守
 (74) 代理人 100096426
 弁理士 川合 誠
 (72) 発明者 須田 義大
 東京都大田区田園調布二丁目33番4号
 審査官 竹村 秀康

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】サスペンション系の制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

(a) サスペンション系における力学系の運動、動搖又は振動を電磁デバイスによって制御する制御方法であつて、

(b) 前記サスペンション系は、被サスペンション体とばね間質量とを結合する並列に配置された第1のばね及び第1の電磁デバイスと、前記ばね間質量と運動変動発生面とを結合する並列に配置された第2のばね及び第2の電磁デバイスとを有し、

(c) 前記第1及び第2の電磁デバイスの出力を測定することによって、前記第1及び第2の電磁デバイスに作用する力、前記力学系の運動、動搖又は振動のリアルタイムな状態、前記力学系の運動、動搖又は振動の平均的な状態、前記力学系の動搖又は振動を引き起こす外乱、及び、前記力学系の同定を情報として検出し、

(d) 協調する第1及び第2の電磁デバイスによって前記力学系の運動、動搖又は振動を同時に制御することを特徴とするサスペンション系の制御方法。

【請求項 2】

前記力学系の特性、外乱入力、運動制御目標、動搖又は振動抑制目標、及び、エネルギー吸支を関数として、前記パッシブばね機能、パッシブダンパ機能、アクチュエータ機能、センサ機能、エネルギー回生機能又はリンク機構機能の空間的又は時間的分配を行う請求項1に記載のサスペンション系の制御方法。

【請求項 3】

前記情報は機械システム全体の監視及び制御に使用される請求項1又は2に記載のサスペ

ンション系の制御方法。

【請求項 4】

複数の前記電磁デバイスを連携させて集中統合制御又は自律分散制御を行うことによって、リンク機構として機能させる請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載のサスペンション系の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、サスペンション系の制御方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、自動車、鉄道車両等の車両においては、ばねとダンパーとを含むサスペンションが広く使用され、車両が道路や軌道を走行する際に発生する振動や動搖を抑制するようになっている。そして、近年においては、電磁デバイスを使用して前記振動や動搖を制御する技術が提案されている。

【0003】

例えば、電磁デバイスとしての電動モータを発電機として利用した電磁ダンパーを用いて振動や動搖を制御する技術が提案されている（例えば、特許文献 1 参照。）。また、可動マスの運動エネルギーを回収して利用する船舶等の振動や動搖を制御する技術が提案されている（例えば、特許文献 2 又は特許文献 3 参照。）。さらに、電動モータを使用して運動制御を行うサーボ系や電動モータを電気ばねとして活用する能動型減搖装置も提案されている（例えば、特許文献 4 参照。）。

【特許文献 1】特開 2003 - 227543 号公報

【特許文献 2】特開平 11 - 65679 号公報

【特許文献 3】特開 2000 - 161422 号公報

【特許文献 4】特開 2002 - 68079 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、前記電磁デバイスを使用して振動や動搖を制御する技術にも、いくつかの問題が残っている。例えば、電動モータを発電機として利用した電磁ダンパーを用いて振動や動搖を制御する技術においては、パッシブな減衰力のみを制御するので性能に限界がある。また、可動マスの運動エネルギーを回収して利用する技術においては、エネルギー収支に着目し、また、センサ機能を有していないので性能に限界がある。さらに、電動モータを使用して運動制御を行うサーボ系においては、振動や動搖に対応することができず、また、電動モータ以外のデバイスも必要となってしまう。さらに、電動モータを電気ばねとして活用する能動型減搖装置においては、エネルギー収支に着目し、また、センサ機能を有していないので性能に限界がある。

【0005】

本発明は、前記従来の問題点を解決して、個別技術を統括又は統合するコンセプトなので理論的に議論することができ、今後新たな方策が生じても対応することができ、一つのデバイスで複数の機能を奏するのでイニシャルコスト及びランニングコストを低減することができ、アクティブ制御を容易に実用化することができ、省エネルギーに貢献することができ、ミニチュアダンパーのように従来のダンパーでは実現困難なサイズのデバイスを実現することができるサスペンション系の制御方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

そのために、本発明のサスペンション系の制御方法においては、サスペンション系における力学系の運動、動搖又は振動を電磁デバイスによって制御する制御方法であって、前記サスペンション系は、被サスペンション体とばね間質量とを結合する並列に配置された

10

20

30

40

50

第1のばね及び第1の電磁デバイスと、前記ばね間質量と運動変動発生面とを結合する並列に配置された第2のばね及び第2の電磁デバイスとを有し、前記第1及び第2の電磁デバイスの出力を測定することによって、前記第1及び第2の電磁デバイスに作用する力、前記力学系の運動、動搖又は振動のリアルタイムな状態、前記力学系の運動、動搖又は振動の平均的な状態、前記力学系の動搖又は振動を引き起こす外乱、及び、前記力学系の同定を情報として検出し、協調する第1及び第2の電磁デバイスによって前記力学系の運動、動搖又は振動を同時に制御する。

【0008】

本発明の更に他のサスペンション系の制御方法においては、さらに、前記力学系の特性、外乱入力、運動制御目標、動搖又は振動抑制目標、及び、エネルギー収支を関数として、前記パッシブばね機能、パッシブダンパ機能、アクチュエータ機能、センサ機能、エネルギー回生機能又はリンク機構機能の空間的又は時間的分配を行う。 10

【0010】

本発明の更に他のサスペンション系の制御方法においては、さらに、前記情報は機械システム全体の監視及び制御に使用される。

【0011】

本発明の更に他のサスペンション系の制御方法においては、さらに、複数の前記電磁デバイスを連携させて集中統合制御又は自律分散制御を行うことによって、リンク機構として機能させる。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、サスペンション系の制御方法においては、サスペンション系における力学系の運動、動搖又は振動を電磁デバイスによって制御する制御方法であって、単数又は協調する複数の電磁デバイスによって、パッシブばね機能、パッシブダンパ機能、アクチュエータ機能、センサ機能、エネルギー回生機能又はリンク機構機能のいずれか又はすべてを融合する。 20

【0013】

この場合、サスペンション系や電磁デバイスの個別技術を統括又は統合するコンセプトなので理論的に議論することができる。また、新たな方策が生じても対応することができる。さらに、サスペンション系のイニシャルコスト及びランニングコストを低減することができる。さらに、アクティブ制御を容易に実用化することができ、省エネルギーに貢献することができ、微小なサイズのデバイスを実現することができる。 30

【0014】

他のサスペンション系の制御方法においては、さらに、前記力学系の運動、動搖又は振動を同時に同じ電磁デバイスによって制御する。

【0015】

この場合、一つの電磁デバイスで制御するので、サスペンション系のイニシャルコスト及びランニングコストを低減することができる。

【0016】

更に他のサスペンション系の制御方法においては、さらに、前記力学系の特性、外乱入力、運動制御目標、動搖又は振動抑制目標、及び、エネルギー収支を関数として、前記パッシブばね機能、パッシブダンパ機能、アクチュエータ機能、センサ機能、エネルギー回生機能又はリンク機構機能の空間的又は時間的分配を行う。 40

【0017】

この場合、複数の機能を適切に融合させることができる。

【0018】

更に他のサスペンション系の制御方法においては、さらに、前記センサ機能は、前記電磁デバイスの出力を測定することによって、前記電磁デバイスに作用する力、前記力学系の運動、動搖又は振動のリアルタイムな状態、前記力学系の運動、動搖又は振動の平均的な状態、前記力学系の動搖又は振動を引き起こす外乱、及び、前記力学系の同定を情報と

10

20

30

40

50

して検出することを含む。

【0019】

この場合、複合ユニットであっても適切に集中統合制御又は自律分散制御することができる。

【0020】

更に他のサスペンション系の制御方法においては、さらに、前記情報は機械システム全体の監視及び制御にも使用される。

【0021】

この場合、機械システム全体の動作を適切に監視し、かつ、制御することができる。

【0022】

更に他のサスペンション系の制御方法においては、さらに、複数の前記電磁デバイスを連携させて集中統合制御又は自律分散制御を行うことによって、リンク機構として機能させる。

【0023】

この場合、例えば、アンチロール・バー やサスペンションに関わる様々なリンク機構と同等の役割を果たすこともできる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【0025】

図1は本発明の第1の実施の形態におけるサスペンション系の制御ユニットの構成を示す概念図である。

【0026】

図において、10はサスペンション系の制御ユニットであり、電磁デバイス11、力学系12及び制御手段13を有する。本実施の形態において、サスペンション系は、いかなる種類のものであってもよく、例えば、二輪車、四輪車等の自動車のサスペンション系、鉄道車両のサスペンション系、モノレールのサスペンション系、新交通システムやリニアモータカーの磁気浮上式車両のサスペンション系等であってもよい。また、遊戯施設の乗り物や工場、倉庫内の物流搬送システムの搬送器のサスペンション系であってもよい。さらに、船舶の振動や動搖を抑制する船舶減搖装置であってもよいし、高層ビル等の建築物の振動や動搖を抑制する建築物減搖装置であってもよいし、工場に配設された工作機械等の各種機械の振動や動搖を抑制する制振装置であってもよい。

【0027】

ここで、前記電磁デバイス11は、例えば、電磁石、電動モータ、リニアモータ等であるが制御可能な電磁デバイスであればいかなるものであってもよい。そして、前記電磁デバイス11は、前記力学系12から回生エネルギーが入力されるエネルギー回生機能、ばね力 f_{k+} を前記力学系12に対して出力するパッシブばね機能としての正のばね機能、ばね力 f_{k-} を前記力学系12に対して出力するパッシブばね機能としての負のばね機能、ダンパ力 f_c を前記力学系12に対して出力するパッシブダンパ機能としてのダンパ機能、アクチュエータ力 f_a を前記力学系12に対して出力するアクチュエータ機能、前記力学系12から運動、変動（振動又は動搖）等が入力されるセンサ機能のいずれか又はすべてを備えている。なお、前記センサ機能は、電磁デバイス11の出力を測定することによって、前記電磁デバイス11に作用する力、前記力学系12の運動、動搖又は振動の平均的な状態、前記力学系12の動搖又は振動を引き起こす外乱、及び、前記力学系12の同定を情報として検出する。本実施の形態において、力学系12の同定とは、該力学系12の運動、動搖、振動等に影響を与える、例えば、乗員及び積載物を含む車両の総質量や車両の慣性モーメントのようなファクターの数値、物理的性質等を判定した結果である。すなわち、前記センサ機能によって、車両の総質量や車両の慣性モーメントのようなファクターの実際の数値、物理的性質等を判定することができ、その結果を情報として検出する。

10

20

30

40

50

【0028】

また、前記センサ機能が検出する情報は機械システム全体の監視及び制御にも使用することができる。そして、本実施の形態においては、前記電磁デバイス11によって、前記力学系12の運動、振動又は動搖、すなわち、サスペンション系における力学系の運動、動搖又は振動を同時に制御する。

【0029】

また、前記力学系12は制御手段13による制御の対象であり、例えば、自動車や鉄道車両の車体、船舶の船体、建築物、機械本体等であるが、ばね、ダンパー、台車、車輪等も含むものである。そして、前記力学系12は電磁デバイス11から次の式(1)で表される力 $f(t)$ を受ける。

【0030】

【数1】

$$\begin{aligned} f(t) &= f(x, \dot{x}, \Delta x, \dot{\Delta x}, t) \\ &= f_{k+}(x, \Delta x, t) + f_{k-}(x, \Delta x, t) \\ &\quad + f_c(\dot{x}, \Delta \dot{x}, t) + f_a(t) \quad \dots \text{式(1)} \end{aligned}$$

ここで、 x 及び \dot{x} は力学系12の運動、 Δx 及び $\dot{\Delta x}$ は力学系12の変動、すなわち、振動又は動搖、 t は時間である。

10

20

さらに、前記制御手段13は、CPU、MPU等の演算手段、磁気ディスク、半導体メモリ等の記憶手段、入出力インターフェイス等を備えるコンピュータであり、例えば、パソコンコンピュータ、サーバ、ワンチップマイコン等であるが、いかなるものであってもよい。そして、前記制御手段13は制御信号を電磁デバイス11に送信して該電磁デバイス11の動作を通して前記力学系12を制御する。また、前記制御手段13は電磁デバイス11の出力する前記力 $f(t)$ を検出する。

【0031】

そして、前記制御ユニット10は、モデル推定手段14、外乱推定手段15、検出手段16、切替手段17、外部エネルギー18及びエネルギー貯蓄デバイス19を有する。ここで、該エネルギー貯蓄デバイス19はエネルギーを貯蓄するものであればいかなる種類のものであってもよいが、例えば、バッテリ、電気二重層キャパシタ等の蓄電装置であり、前記電磁デバイス11がエネルギー回生機能を備える場合、前記電磁デバイス11が回生した回生エネルギーを貯蓄する。

30

【0032】

また、前記外部エネルギー18はエネルギーを供給するものであればいかなる種類のものであってもよいが、例えば、発電機、電力線等である。そして、前記切替手段17は、制御手段13から受信する制御信号に従って前記外部エネルギー18及びエネルギー貯蓄デバイス19からのエネルギーを切り替えて電磁デバイス11に供給する。

【0033】

【数2】

そして、前記検出手段16は各種のセンサから成り、前記力学系12の運動 \mathbf{x} 、 $\dot{\mathbf{x}}$ 及び変動 $\Delta\mathbf{x}$ 、 $\dot{\Delta\mathbf{x}}$ を検出する。そして、前記検出手段16は状態 \mathbf{X} 、 $\dot{\mathbf{X}}$ を出力して、制御手段13、モデル推定手段14及び外乱推定手段15に送信する。また、前記モデル推定手段14は、前記電磁デバイス11の出力する力 $f(t)$ 及び前記検出手段16の出力する状態 \mathbf{X} 、 $\dot{\mathbf{X}}$ を受信して、力学系12の同定を行いその結果としての力学系同定 $\hat{\mathbf{M}}$ を出力して制御手段13に送信する。また、外乱推定手段15も前記電磁デバイス11の出力する力 $f(t)$ 及び前記検出手段16の出力する状態 \mathbf{X} 、 $\dot{\mathbf{X}}$ を受信して、外乱の推定を行い、その結果としての外乱推定 $\hat{\mathbf{e}}$ を出力して制御手段13に送信する。

なお、前記力学系12は外部から外乱 \mathbf{e} を受け、前記制御手段13は制御目標としての目標 \mathbf{u} を与えられる。そして、本実施の形態においては、前記電磁デバイス11のパッシブばね機能、パッシブダンパ機能、アクチュエータ機能、センサ機能又はエネルギー回生機能を融合して空間的又は時間的分配を行うために、前記力学系12の特性、外乱入力、運動制御目標、動搖又は振動抑制目標、及び、エネルギー収支を含む次の式(2)で表される関数 F が使用される。
10

$$F = F(\mathbf{X}, \mathbf{M}, \mathbf{e}, \mathbf{u}) \quad \cdots \text{式 (2)}$$

ここで、 \mathbf{X} は状態であり、 \mathbf{x} 、 $\dot{\mathbf{x}}$ 、 $\Delta\mathbf{x}$ 、 $\dot{\Delta\mathbf{x}}$ である。また、 \mathbf{M} は力学系12の質量及び固有振動数である。さらに、 \mathbf{e} は外乱であり、力及び変位である。さらに、 \mathbf{u} は制御目標である。

次に、複数の制御ユニット10を複合した複合ユニットについて説明する。まず、複合ユニットを集中統合制御する場合について説明する。
20

【0034】

図2は本発明の第1の実施の形態における複合ユニットを集中統合制御する場合の制御システムの構成を示す概念図である。

【0035】

ここでは、 n 個の制御ユニット $10 - 1 \sim 10 - n$ を集中統合制御する場合について説明する。なお、 i は、1以上 n 以下の整数であり、 i 番目の制御ユニット $10 - i$ に関するものであることを示す添字である。この場合、前記制御ユニット $10 - 1 \sim 10 - n$ のそれぞれは集中統合制御用の制御手段21に接続され、該制御手段21によって集中的に、かつ、統合的に制御される。すなわち、前記制御手段21は前記制御ユニット $10 - 1 \sim 10 - n$ のそれぞれの状態を検出して、それぞれを制御する制御信号を送信する。そして、前記制御ユニット $10 - 1 \sim 10 - n$ のそれぞれについて前記電磁デバイス11のパッシブばね機能、パッシブダンパ機能、アクチュエータ機能、センサ機能又はエネルギー回生機能を融合して空間的又は時間的分配を行うために、次の式(3)で表される評価関数 V_i が使用される。
30

【0036】

【数3】

$$V_i = V_i(\mathbf{X}_i, \mathbf{M}_i, \mathbf{e}_i, \mathbf{u}_i) \quad \cdots \text{式 (3)}$$

なお、リアルタイムで評価する場合には次の式(4)で表される評価関数 V が使用され、平均的に評価する場合には次の式(5)で表される評価関数 V が使用される。

$$V = V(t) \quad \cdots \text{式 (4)}$$

$$V = 1/T \int_0^T V_i dt \quad \cdots \text{式 (5)}$$

次に、複合ユニットを自律分散制御する場合について説明する。

図3は本発明の第1の実施の形態における複合ユニットを自律分散制御する場合の制御システムの構成を示す概念図、図4は本発明の第1の実施の形態における複合ユニットを自律分散制御する場合の情報伝達を示す概念図である。

ここでは、 n 個の制御ユニット $10 - 1 \sim 10 - n$ のそれぞれが分散した状態で自立的に制御を行う場合について説明する。この場合、集中統合制御用の制御手段21が存在しないので、前記制御ユニット $10 - 1 \sim 10 - n$ のそれぞれは、図3に示される制御ユニット $10 - i$ のように、目標 \mathbf{u}_i 及び外乱 \mathbf{e}_i に対応して自立的に制御を行う。

しかし、前記制御ユニット $10 - 1 \sim 10 - n$ のそれぞれは、図4に示されるように、

10

20

30

40

50

相互に通信可能に接続され、それぞれの状態や制御信号を相互に送受信するようになっている。これにより、制御ユニット 10 - 1 ~ 10 - n のそれぞれが自律的に制御を行なながら、全体として調和のとれた制御を行うことができる。

【0037】

次に、制御ユニット 10 を磁気浮上式車両のサスペンション系に適用した場合について説明する。

【0038】

図 5 は本発明の第 1 の実施の形態における磁気浮上式車両のサスペンション系の構成を示す概念図、図 6 は本発明の第 1 の実施の形態における電磁アクチュエータの構造を示す図、図 7 は本発明の第 1 の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパとして機能する場合の等価回路を示す図、図 8 は本発明の第 1 の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパとして機能する場合の速度と減衰力との関係を示す図、図 9 は本発明の第 1 の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパとして機能する場合のモータの等価回路を示す図、図 10 は本発明の第 1 の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパかつエネルギー回生装置として機能する場合の状態量の変化を示す第 1 の図、図 11 は本発明の第 1 の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパかつエネルギー回生装置として機能する場合の状態量の変化を示す第 2 の図、図 12 は本発明の第 1 の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパかつエネルギー回生装置として機能する場合の状態量の変化を示す第 3 の図、図 13 は本発明の第 1 の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパかつエネルギー回生装置として機能する場合の状態量の変化を示す第 4 の図、図 14 は本発明の第 1 の実施の形態における磁気浮上式車両のサスペンション系の動作を示す図である。

10

20

30

【0039】

図 5において、30 は新交通システムやリニアモータカーのような磁気浮上式車両、31 は該磁気浮上式車両 30 の車体、32 は前記磁気浮上式車両 30 の台車、33 は鉄製のレールから成る軌道、34 は永久磁石から成る負のばね、35 はコイルスプリング等から成る正のばね、36 はオイルダンパ等から成るダンパ、41 は電磁デバイス 11 としての電磁石と図示されない第 1 の制御手段とから成る第 1 の制御ユニット、42 は後述される電磁デバイス 11 としての電磁アクチュエータ 43 と図示されない第 2 の制御手段とから成る第 2 の制御ユニットである。

30

【0040】

そして、前記磁気浮上式車両 30 は、前記負のばね 34 及び第 1 の制御ユニット 41 の電磁石によって軌道 33 に吸引された状態で走行する。なお、前記負のばね 34 のばね定数 k は負である。この場合、前記負のばね 34 としての永久磁石と第 1 の制御ユニット 41 の電磁石とを組み合わせた複合磁石の吸引力が浮上総質量と等しくなるように、前記電磁石の吸引力が第 1 の制御ユニット 41 における第 1 の制御手段によって制御される。なお、前記浮上総質量は前記磁気浮上式車両 30 の質量と搭載される乗員、荷物等の質量とを合計したものである。

30

【0041】

また、前記車体 31 と台車 32 とは前記正のばね 35、ダンパ 36 及び第 2 の制御ユニット 42 の電磁アクチュエータ 43 によって結合されている。この場合、前記正のばね 35 は、コイルスプリング、エアスプリング等の通常のばねであればいかなる種類のものであってもよく、また、ダンパ 36 も、オイルダンパ、フリクションダンパ等の通常の、いわゆる、パッシブダンパであればいかなる種類のものであってもよい。

40

【0042】

この場合、前記磁気浮上式車両 30 における力学系 12 は、車体 31、台車 32、軌道 33、負のばね 34、正のばね 35 及びダンパ 36 から成り、制御手段 13 及び電磁デバイス 11 は第 1 の制御ユニット 41 及び第 2 の制御ユニット 42 から成る。

【0043】

そして、前記第 2 の制御ユニット 42 の電磁アクチュエータ 43 は、図 6 に示されるよ

50

うに、第1ケーシング45、該第1ケーシング45に対して長手方向(図6における左右方向)に移動可能な第2ケーシング46、前記第1ケーシング45内に取り付けられたDCモータ47、該DCモータ47の回転軸に接続されたボールねじ軸48、及び、前記第2ケーシング46に取り付けられ前記ボールねじ軸48に螺(ら)合するボールナット49を有する。

【0044】

この場合、前記第1ケーシング45及び第2ケーシング46が相対的に外力によって移動させられると、前記ボールナット49がボールねじ軸48に対して矢印Aで示されるように直線運動を行う。ここで、前記ボールナット49は、第2ケーシング46に取り付けられて回転不能となっているので、前記ボールねじ軸48が矢印Bで示されるように回転させられる。すなわち、前記ボールねじ軸48とボールナット49とによって構成されるボールねじ機構によって、矢印Aで示される直線運動が矢印Bで示される回転運動に変換される。そして、前記ボールねじ軸48に接続されたDCモータ47の回転軸が回転させられると、前記DCモータ47によって発電が行われる。これにより、矢印Bで示される回転運動の運動エネルギーが電気エネルギーに変換されて消費されるので、前記矢印Aで示される直線運動の運動エネルギーも消費される。すなわち、前記DCモータ47によって発電が行われることにより、前記第1ケーシング45と第2ケーシング46との相対的な直線運動が減衰させられる。そのため、前記第1ケーシング45及び第2ケーシング46の一方を車体31に取り付け、他方を台車32に取り付けることによって、前記車体31と台車32との相対的な運動を減衰させることができる。

【0045】

ここで、前記電磁アクチュエータ43がパッシブダンパとして機能する場合の等価回路が図7に示されている。図7において、51は等価回路におけるモータであり抵抗が0である。また、52はDCモータ47の内部抵抗であり、53は外部抵抗である。そして、前記内部抵抗52と外部抵抗53との合計としての総抵抗値を変化させることによって、パッシブダンパとして機能する前記電磁アクチュエータ43の減衰係数を変化させることができる。この場合、総抵抗値が大きくなるほど減衰係数が小さくなる。そのため、前記電磁アクチュエータ43がパッシブダンパとして機能する場合、第2の制御ユニット42における第2の制御手段は前記外部抵抗53の値を制御するようになっている。

【0046】

そして、図6に示されるような電磁アクチュエータ43を実際に試作して実験を行ったところ、電磁アクチュエータ43がパッシブダンパとして機能する場合の速度と減衰力との関係は図8に示されるようになることが分かった。なお、図8に示される例では、外部抵抗53の値は2[]である。この場合、電磁アクチュエータ43は、速度に比例した減衰力を発生することが分かる。

【0047】

【数4】

また、前記電磁アクチュエータ43はセンサ機能も有する。ここで、前記総抵抗値をR、前記等価回路を流れる電流をI、前記第1ケーシング45と第2ケーシング46との距離、すなわち、ストロークzの変化速度を \dot{z} 、DCモータ47のモータ係数を ϕ とすると、前記磁気浮上式車両30における力学系12が電磁デバイス11としての電磁アクチュエータ43に加える力fは次の式(6)で表される。

$$f = \phi \cdot I \quad \dots \text{式 (6)}$$

ここで、DCモータ47の起電力eは次の式(7)で表されるので、前記力fは次の式(8)で表される。

$$e = \phi \cdot \dot{z} \quad \dots \text{式 (7)}$$

$$f = \{\phi^2 / R\} \cdot \dot{z} \quad \dots \text{式 (8)}$$

なお、 ϕ^2 / R は電磁アクチュエータ43の減衰係数に等しい。

【0048】

10

20

30

40

50

したがって、前記等価回路を流れる電流 I を検出することによって、前記力 f を検出することができる。なお、電圧の値は抵抗値と電流値とを乗じたものなので、前記内部抵抗 52 又は外部抵抗 53 の両端の電圧を計測することによって電流 I を求めて、前記力 f を検出することもできる。

【0049】

【数5】

また、前記電磁アクチュエータ43は、センサ機能によって、電磁アクチュエータ43のストローク、ストローク速度、ストローク加速度等も測定することができる。前記電磁アクチュエータ43がパッシブダンパとして機能する場合のモータの等価回路が示されている。なお、DCモータ47に流れる電流を I 、DCモータ47の端子電圧を v 、電磁アクチュエータ43に加わる力を f 、電磁アクチュエータ43のストロークを z 、ストローク速度を \dot{z} 、ストローク加速度を \ddot{z} 、DCモータ47の誘導起電力を e 、モータ係数を ϕ とする。この場合、次の式(9)～(11)の関係が成立する。

$$f = \phi \cdot I \quad \dots \text{式 (9)}$$

$$e = \phi \cdot \dot{z} \quad \dots \text{式 (10)}$$

$$v = e - r \cdot I \quad \dots \text{式 (11)}$$

なお、前記式(10)は、前記式(7)と同じものである。

そして、前記式(9)～(11)から次の式(12)～(14)が導かれる。

$$\dot{z} = \frac{v + r \cdot I}{\phi} \quad \dots \text{式 (12)}$$

$$z = \int \dot{z} dt = \frac{1}{\phi} \int (v + r \cdot I) dt \quad \dots \text{式 (13)}$$

$$\ddot{z} = \frac{d \dot{z}}{dt} = \frac{1}{\phi} \cdot \frac{d}{dt} (v + r \cdot I) \quad \dots \text{式 (14)}$$

また、電磁アクチュエータ43の発生する力は、DCモータ47の出力、動摩擦力、DCモータ47の内部慣性による慣性力の和であることから、電磁アクチュエータに加えられた荷重 F は、次の式(15)によって推定される。

【0050】

【数6】

$$F = \phi \cdot I + sgn(\dot{z}) \cdot F_{fric} + m_I \cdot \ddot{z} \quad \dots \text{式 (15)}$$

ただし、 F_{fric} は動摩擦力である。また、 m_I は等価慣性質量であり、DCモータ47の回転子の慣性モーメントを、電磁アクチュエータ43のストローク方向の慣性質量として換算した値である。

そして、前記式(12)～(15)を使用して、リアルタイムで電磁アクチュエータ43がパッシブダンパとして機能する場合の状態量の推定を行いった。ここで、推定された状態量と実際に計測された状態量との比較を図10～13に示す。なお、図10はストローク速度の時間的变化を、図11はストロークの時間的变化を、図12はストローク加速度の時間的变化を、図13は荷重の時間的变化をそれぞれ示している。

【0051】

そして、図14に示されるように、前記構成の磁気浮上式車両30を軌道33に沿って走行させると、前記磁気浮上式車両30の車体31は、軌跡37で示されるように、滑らかに移動する。この場合、前記軌道33は軌道不整部分33aを備えるので、該軌道不整部分33aを通過する際に磁気浮上式車両30に対して外乱が与えられるが、第1の制御ユニット41及び第2の制御ユニット42が適切に動作することによって、車体31は前記外乱に応答しない。すなわち、第1の制御ユニット41及び第2の制御ユニット42による防振制御によって、前記車体31には軌道不整部分33aによる振動が伝達されることはない。

【0052】

なお、前記軌道33の曲線部33bにおいて、前記車体31は、軌跡37で示されるよ

10

20

30

40

50

うに、前記軌道 3 3 の変化に遅れることなく追従する。すなわち、第 1 の制御ユニット 4 1 及び第 2 の制御ユニット 4 2 による運動制御によって、前記車体 3 1 は軌道 3 3 に適切に追従することができる。なお、前記曲線部 3 3 b は、前記軌道 3 3 が大きく湾曲して平面曲線又は縦曲線を形成する箇所であり、前記平面曲線又は縦曲線に追従して前記車体 3 1 が左右又は上下に変位する箇所である。

【0053】

このように、本実施の形態における制御方法においては、サスペンション系における力学系 1 2 の運動、動搖又は振動を電磁デバイス 1 1 によって制御するようになっている。この場合、該電磁デバイス 1 1 は、前記力学系 1 2 から回生エネルギーが入力されるエネルギー回生機能、ばね力 f_{k+} を前記力学系 1 2 に対して出力するパッシブばね機能としての正のばね機能、ばね力 f_{k-} を前記力学系 1 2 に対して出力するパッシブばね機能としての負のばね機能、ダンパ力 f_d を前記力学系 1 2 に対して出力するパッシブダンパ機能としてのダンパ機能、アクチュエータ力 f_a を前記力学系 1 2 に対して出力するアクチュエータ機能、前記力学系 1 2 から運動、振動又は動搖が入力されるセンサ機能のいずれか又はすべてを備えている。そのため、一つのデバイスで五つの機能を奏るので、サスペンション系のイニシャルコスト及びランニングコストを低減することができる。10

【0054】

また、前記電磁デバイス 1 1 によって、前記力学系 1 2 の運動、振動又は動搖、すなわち、サスペンション系の力学的な運動、動搖又は振動を同時に制御するようになっている。そのため、一つの電磁デバイス 1 1 で五つの機能を融合することができる。20

【0055】

さらに、複数の制御ユニット 1 0 を複合した複合ユニットを集中統合制御したり、自律分散制御したりすることができ、複数の電磁デバイス 1 1 が協調して機能融合を高度化することができる。さらに、電磁デバイス 1 1 がセンサ機能を備えることもでき、負のばね機能を備えることもできる。

【0056】

次に、本発明の第 2 の実施の形態について説明する。なお、第 1 の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによって、その説明を省略する。また、前記第 1 の実施の形態と同じ動作及び効果についても、その説明を省略する。

【0057】

図 1 5 は本発明の第 2 の実施の形態における電磁アクチュエータが発生する力と電流との関係を示す図である。なお、図 1 5 において、横軸には電流値 (A) を、縦軸には力 (N) を採ってある。

【0058】

本実施の形態においては、前記電磁デバイス 1 1 をアクチュエータとして機能させた場合に発生する力と供給電流との関係を、実験結果に基づいて説明する。第 1 の実施の形態において説明した電磁デバイス 1 1 としての電磁アクチュエータ 4 3 にアクチュエータ機能を発揮させる場合、DC モータ 4 7 に供給される電流 I と電磁アクチュエータ 4 3 が発生する力 f との関係は、DC モータ 4 7 のモータ係数を k とすると、次の式 (16) で表される。なお、前記モータ係数はモータに固有の定数である。30

$$f = k \cdot I \quad \text{式 (16)}$$

該式 (16) から、DC モータ 4 7 に電流 I を供給すると電磁アクチュエータ 4 3 が力 f を発生し、アクチュエータ機能を発揮することが分かる。なお、前記式 (16) は、第 1 の実施の形態において説明した電磁アクチュエータ 4 3 がセンサ機能を発揮する場合の前記式 (6) と同じものになる。

【0059】

そして、図 6 に示されるような電磁アクチュエータ 4 3 を実際に試作して実験を行ったところ、DC モータ 4 7 に供給される電流 I と電磁アクチュエータ 4 3 が発生する力 f との関係は図 1 5 に示されるようになることが分かった。この場合、電磁アクチュエータ 4 3 は、DC モータ 4 7 に供給される電流 I に比例した力 f を発生することが分かる。40

10

20

30

40

50

【0060】

次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。なお、第1及び第2の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによって、その説明を省略する。また、前記第1及び第2の実施の形態と同じ動作及び効果についても、その説明を省略する。

【0061】

本実施の形態においては、前記電磁デバイス11をばねとして機能させた場合について説明する。この場合、第1の実施の形態において説明した電磁デバイス11としての電磁アクチュエータ43が有するセンサ機能によって前記電磁アクチュエータ43のストロークを測定し、さらに、第2の実施の形態において説明した電磁アクチュエータ43が有するアクチュエータ機能によって、前記ストロークに比例した復元力を発生させることによって、ばね機能を達成するようになっている。なお、前記電磁アクチュエータ43のストロークは、図6に示される矢印Aで示される方向に移動する第1ケーシング45及び第2ケーシング46の相対的な距離である。10

【0062】

ここで、前記電磁アクチュエータ43のストロークを z とすると、ストローク z は、DCモータ47に供給される電流 I 及びDCモータ47の端子電圧 v を測定することによって、次の式(17)で表される。なお、前記端子電圧 v は図7に示される等価回路における内部抵抗52の両端の電圧であり、該内部抵抗52の抵抗値を r とする。

【0063】

【数7】

$$z = \int \dot{z} dt = \frac{1}{\phi} \int (v + r \cdot I) dt \quad \cdots \text{式 (17)}$$

ところで、ばねとは伸び、すなわち、変位に比例した復元力を発生させるものであるので、ばねが発生する力 f_k は、ばね定数を k とすると、次の式(18)で表される。

【0064】

【数8】

$$f_k = -k \cdot z \quad \cdots \text{式 (18)}$$

そのため、前記電磁アクチュエータ43をばねとして機能させる場合、前記式(17)及び(18)から、次の式(19)で表される力 f を前記電磁アクチュエータ43が発生すればよいことになる。

【0065】

【数9】

$$f = -k \cdot z = -k \cdot \frac{1}{\phi} \int (v + r \cdot I) dt \quad \cdots \text{式 (19)}$$
40

また、前記電磁アクチュエータ43は、第2の実施の形態において説明したように、DCモータ47に供給される電流 I に比例した力 f を発生する。すなわち、前記電磁アクチュエータ43が発生する力 f は、前記式(16)で表される。そのため、該式(16)及び(19)から、DCモータ47に供給される電流 I は、次の式(20)で表される。

【0066】

【数10】

$$I = \frac{f}{\phi} = -\frac{k \cdot z}{\phi} = -k \cdot \frac{1}{\phi^2} \int (v + r \cdot I) dt \quad \dots \text{式 (20)}$$

このように、該式(20)で表されるような電流IをDCモータ47に供給することによって、電磁デバイス11をばねとして機能させることができる。

【0067】

次に、本発明の第4の実施の形態について説明する。なお、第1～第3の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによって、その説明を省略する。また、前記第1～第3の実施の形態と同じ動作及び効果についても、その説明を省略する。

10

【0068】

図16は本発明の第4の実施の形態における電磁デバイスを使用したリンク機構の構成を示す概念図、図17は本発明の第4の実施の形態における電磁デバイスをリンク機構に使用した場合の電気的接続を示す図、図18は本発明の第4の実施の形態における等価なリンク機構を示す図である。

【0069】

本実施の形態においては、電磁デバイス11としての電磁アクチュエータ43を使用したリンク機構について説明する。この場合、前記電磁アクチュエータ43が有するパッシブダンパ機能及びアクチュエータ機能を使用し、複数の電磁アクチュエータ43を連携させて集中統合制御又は自律分散制御を行うことによってリンク機構として機能させることができる。

20

【0070】

図16に示されるリンク機構55においては、二つの電磁アクチュエータ43を中心点59に関して点対称となるように配設されている。図16における右側の電磁アクチュエータ43は、上端が右側の固定部材56に取り付けられ、下端が右側の可動部材57に取り付けられている。該右側の可動部材57は、矢印Cで示されるように、下方に移動可能となっている。また、図16における左側の電磁アクチュエータ43は、下端が左側の固定部材56に取り付けられ、上端が左側の可動部材57に取り付けられている。該左側の可動部材57は、矢印Cで示されるように、上方に移動可能となっている。そして、前記リンク機構55において、左右の電磁アクチュエータ43のDCモータ47の端子は、図17に示されるように、プラスの端子同士及びマイナスの端子同士が互いに接続されるように、電気的に接続されている。

30

【0071】

これにより、一方の電磁アクチュエータ43が伸縮することによって発生したDCモータ47の端子電圧が、他方の電磁アクチュエータ43のDCモータ47に印加されるので、他方の電磁アクチュエータ43が一方の電磁アクチュエータ43と同様に伸縮することになる。この場合、左右の可動部材57を図16に示されるような連結線58で連結すると、該連結線58は前記中心点59を中心にして回転する。すなわち、一方の可動部材57が、図16に示されるように、矢印Cで示される方向に位置57'にまで移動すると、他方の可動部材57も矢印Cで示される方向に位置57'にまで移動する。この場合、前記連結線58は、前記中心点59を中心にして位置58'まで回転する。

40

【0072】

図18には、前記リンク機構55と等価なリンク機構60が示されている。該リンク機構60においては、固定部材63に取り付けられた支柱62に、リンク部材61が中心軸61aを中心として回転可能に取り付けられている。そして、前記リンク部材61の両端には、可動部材64がそれぞれ取り付けられている。そのため、一方の可動部材64が矢印Dで示されるように移動すると、他方の可動部材64も、同様に、矢印Dで示されるよ

50

うに移動する。この場合、前記リンク機構 5 5 の可動部材 5 7、連結線 5 8 及び中心点 5 9 は、等価なリンク機構 6 0 の可動部材 6 4、リンク部材 6 1 及び中心軸 6 1 a にそれぞれ対応する。

【 0 0 7 3 】

次に、電磁アクチュエータ 4 3 から成るリンク機構をアンチロール・リンク機構として使用する場合について説明する。

【 0 0 7 4 】

図 1 9 は本発明の第 4 の実施の形態における電磁デバイスを使用したアンチロール・リンク機構を磁気浮上式車両のサスペンション系に適用した場合の構成を示す概念図である。
10

【 0 0 7 5 】

この場合、図 1 9 に示されるように、二つの電磁アクチュエータ 4 3 が新交通システムやリニアモータカーのような磁気浮上式車両 7 0 の左右に、それぞれ、配設される。なお、図 1 9 において、7 1 は該磁気浮上式車両 7 0 の車体、7 2 は前記磁気浮上式車両 7 0 の台車、7 3 は鉄製のレールから成る軌道、7 4 は永久磁石から成る負のばね、7 5 はコイルスプリング等から成る正のばねである。

【 0 0 7 6 】

ここで、左右の電磁アクチュエータ 4 3 の DC モータ 4 7 の端子を、図 1 7 に示されるように、プラスの端子同士及びマイナスの端子同士が互いに接続されると、左右の電磁アクチュエータ 4 3 が同位相で伸縮する場合には DC モータ 4 7 に電流が流れないが、左右の電磁アクチュエータ 4 3 が逆位相で伸縮する場合には DC モータ 4 7 に電流が流れバッシブダンパとして機能するようになる。すなわち、左右の電磁アクチュエータ 4 3 がともに伸長したり、ともに収縮したりする場合には DC モータ 4 7 に電流が流れないが、一方の電磁アクチュエータ 4 3 が伸長すると他方の電磁アクチュエータ 4 3 が収縮する場合には DC モータ 4 7 に電流が流れ、左右の電磁アクチュエータ 4 3 がバッシブダンパとして機能するようになる。したがって、左右の電磁アクチュエータ 4 3 はロール方向のバッシブダンパとして機能するので、車体 7 1 がロールすることを防止するアンチロール・バーと同等の役割を果たすことができる。
20

【 0 0 7 7 】

次に、本発明の第 5 の実施の形態について説明する。なお、第 1 ~ 第 4 の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによって、その説明を省略する。また、前記第 1 ~ 第 4 の実施の形態と同じ動作及び効果についても、その説明を省略する。
30

【 0 0 7 8 】

図 2 0 は本発明の第 5 の実施の形態における電磁デバイスをエネルギー回生に使用した場合の電気的接続を示す図、図 2 1 は本発明の第 5 の実施の形態における電磁アクチュエータをエネルギー回生に使用した場合のキャパシタ電圧の時刻歴を示す図である。

【 0 0 7 9 】

本実施の形態においては、電磁デバイス 1 1 としての電磁アクチュエータ 4 3 を使用してエネルギーを回生する場合について説明する。この場合、図 2 0 に示されるように、電磁アクチュエータ 4 3 の DC モータ 4 7 の端子をキャパシタ 7 8 に接続し、前記 DC モータ 4 7 が回生した電気エネルギーをキャパシタ 7 8 に蓄電する。
40

【 0 0 8 0 】

そして、図 6 に示されるような電磁アクチュエータ 4 3 を実際に試作して実験を行ったところ、電磁アクチュエータ 4 3 がエネルギーを回生する場合におけるキャパシタ 7 8 の電圧の時刻歴は図 2 1 に示されるようになることが分かった。

【 0 0 8 1 】

なお、前記第 1 ~ 第 5 の実施の形態においては、前記制御方法を新交通システムやリニアモータカーのような磁気浮上式車両のサスペンション系に適用した場合について具体的に説明したが、二輪車、四輪車等の自動車のサスペンション系、鉄道車両のサスペンショ
50

ン系、モノレールのサスペンション系、遊戯施設の乗り物や工場や倉庫内の物流搬送システムの搬送器のサスペンション系等のいかなるサスペンション系にも本実施の形態における制御方法を適用することができることは明らかである。さらに、前記制御方法を適用するサスペンション系は、船舶の振動や動搖を抑制する船舶減搖装置であってもよいし、高層ビル等の建築物の振動や動搖を抑制する建築物減搖装置であってもよいし、工場に配設された工作機械等の各種機械の振動や動搖を抑制する制振装置であってもよい。

【0082】

また、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々変形させることができあり、それらを本発明の範囲から排除するものではない。

【図面の簡単な説明】

10

【0083】

【図1】本発明の第1の実施の形態におけるサスペンション系の制御ユニットの構成を示す概念図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態における複合ユニットを集中統合制御する場合の制御システムの構成を示す概念図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態における複合ユニットを自律分散制御する場合の制御システムの構成を示す概念図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態における複合ユニットを自律分散制御する場合の情報伝達を示す概念図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態における磁気浮上式車両のサスペンション系の構成を示す概念図である。

20

【図6】本発明の第1の実施の形態における電磁アクチュエータの構造を示す図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパとして機能する場合の等価回路を示す図である。

【図8】本発明の第1の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパとして機能する場合の速度と減衰力との関係を示す図である。

【図9】本発明の第1の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパとして機能する場合のモータの等価回路を示す図である。

【図10】本発明の第1の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパかつエネルギー回生装置として機能する場合の状態量の変化を示す第1の図である。

30

【図11】本発明の第1の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパかつエネルギー回生装置として機能する場合の状態量の変化を示す第2の図である。

【図12】本発明の第1の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパかつエネルギー回生装置として機能する場合の状態量の変化を示す第3の図である。

【図13】本発明の第1の実施の形態における電磁アクチュエータがパッシブダンパかつエネルギー回生装置として機能する場合の状態量の変化を示す第4の図である。

【図14】本発明の第1の実施の形態における磁気浮上式車両のサスペンション系の動作を示す図である。

【図15】本発明の第2の実施の形態における電磁アクチュエータが発生する力と電流との関係を示す図である。

40

【図16】本発明の第4の実施の形態における電磁デバイスを使用したリンク機構の構成を示す概念図である。

【図17】本発明の第4の実施の形態における電磁デバイスをリンク機構に使用した場合の電気的接続を示す図である。

【図18】本発明の第4の実施の形態における等価なリンク機構を示す図である。

【図19】本発明の第4の実施の形態における電磁デバイスを使用したアンチロール・リンク機構を磁気浮上式車両のサスペンション系に適用した場合の構成を示す概念図、である。

【図20】本発明の第5の実施の形態における電磁デバイスをエネルギー回生に使用した場合の電気的接続を示す図である。

50

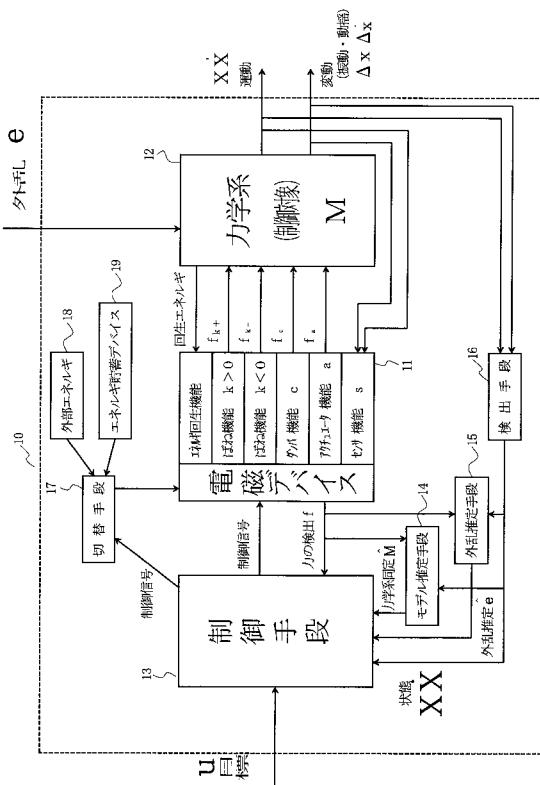
【図2】本発明の第5の実施の形態における電磁アクチュエータをエネルギー回生に使用した場合のキャパシタ電圧の時刻歴を示す図である。

【符号の説明】

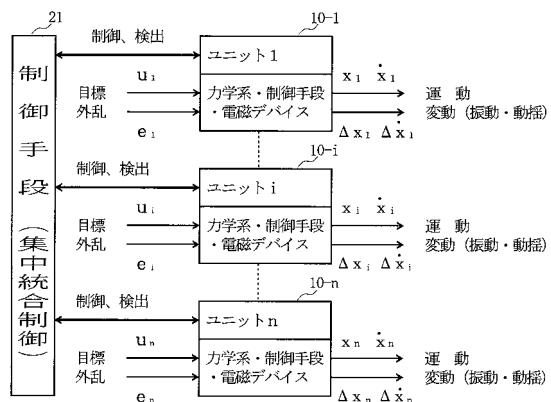
【0084】

- 1 1 電磁デバイス
- 1 2 力学系
- 4 3 電磁アクチュエータ
- 5 5、6 0 リンク機構

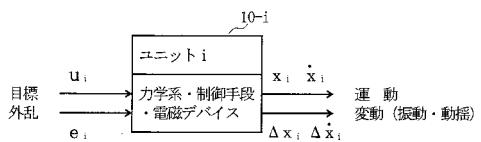
【図1】



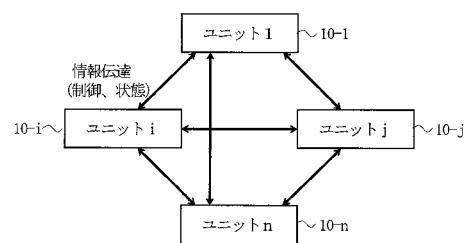
【図2】



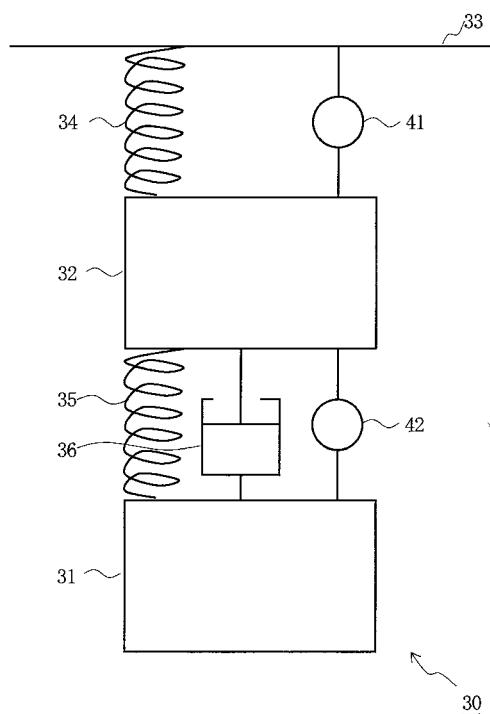
【図3】



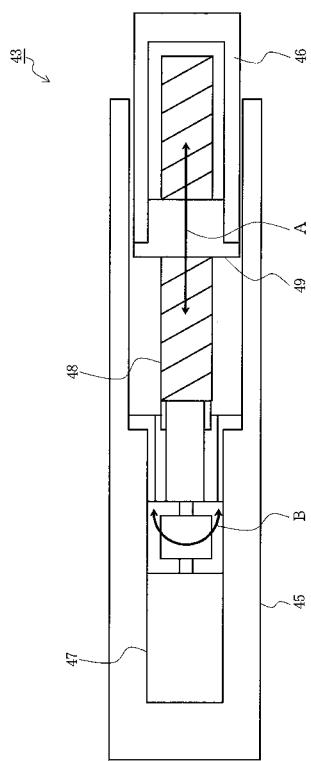
【図4】



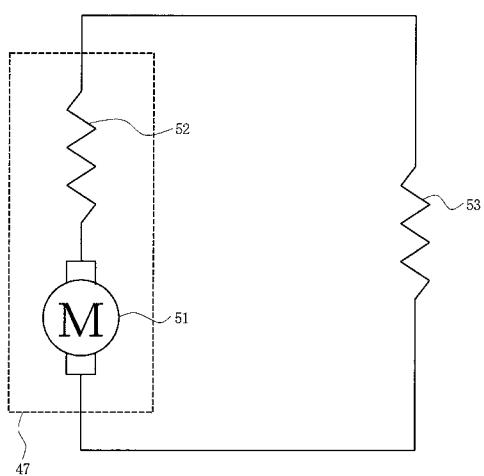
【図5】



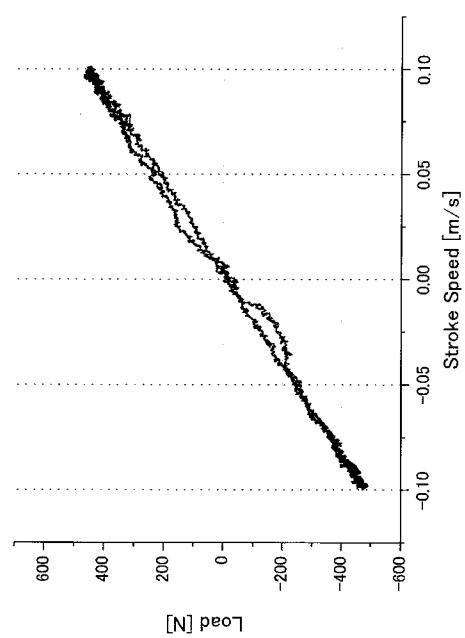
【図6】



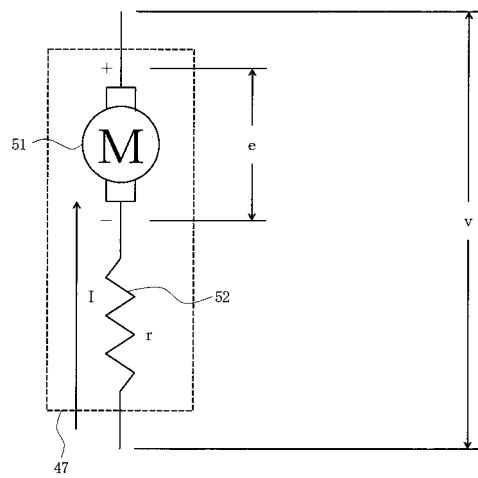
【図7】



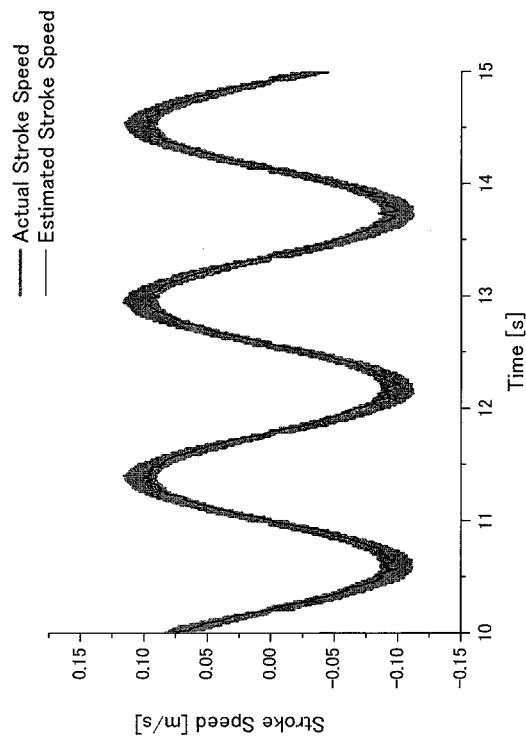
【図8】



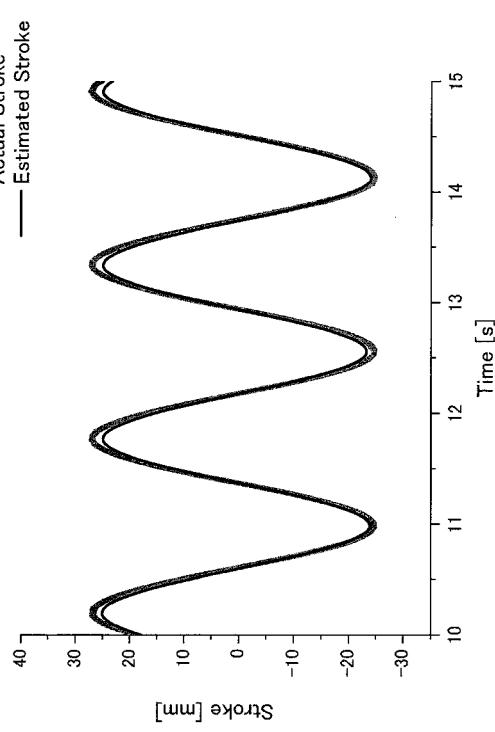
【図9】



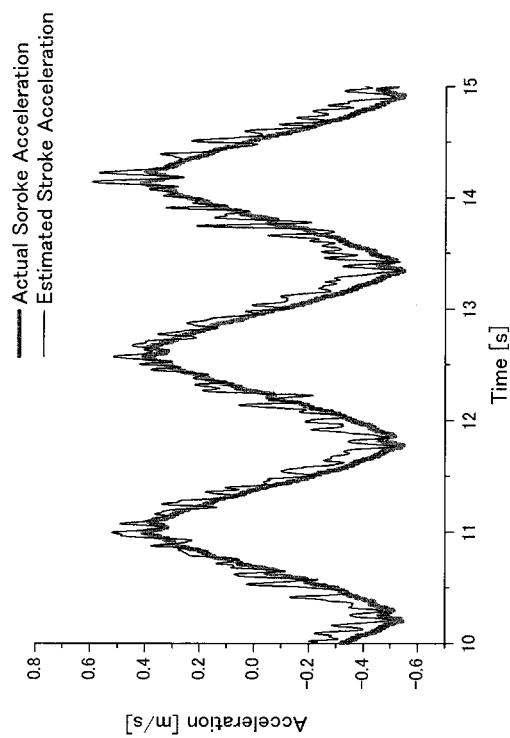
【図10】



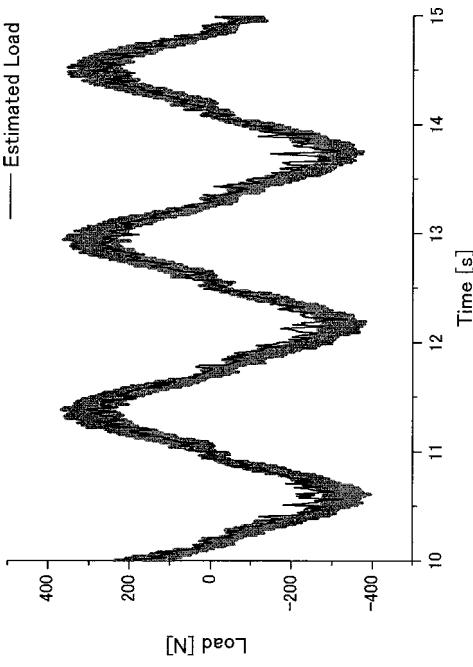
【図11】



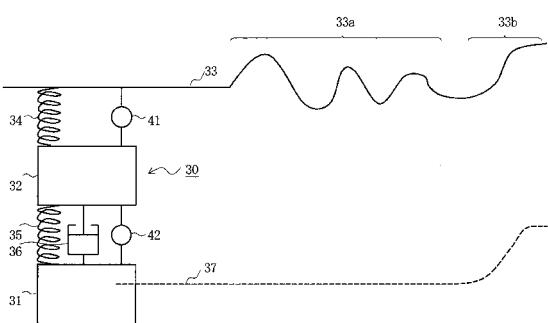
【図 1 2】



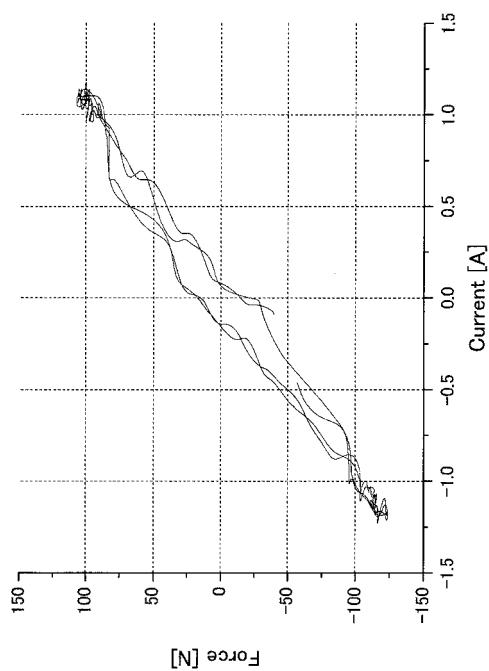
【図 1 3】



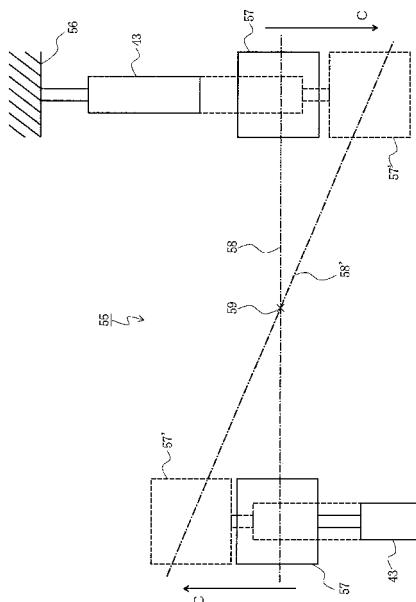
【図 1 4】



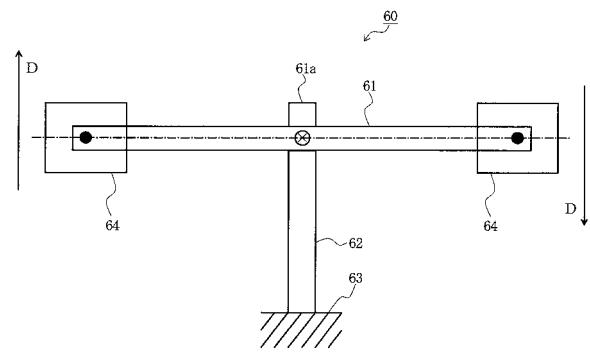
【図 1 5】



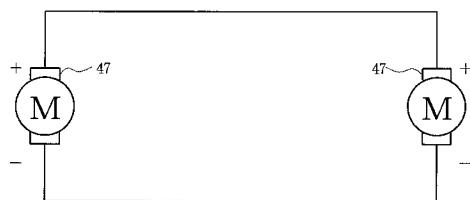
【図16】



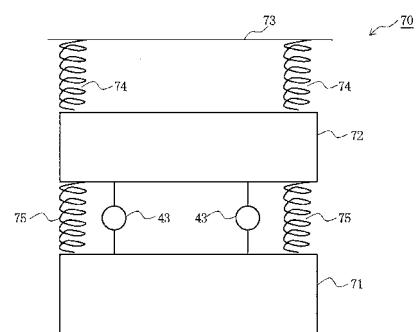
【図18】



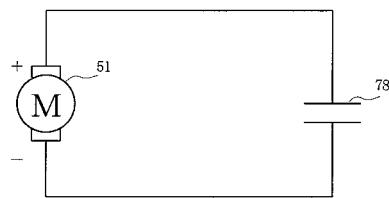
【図17】



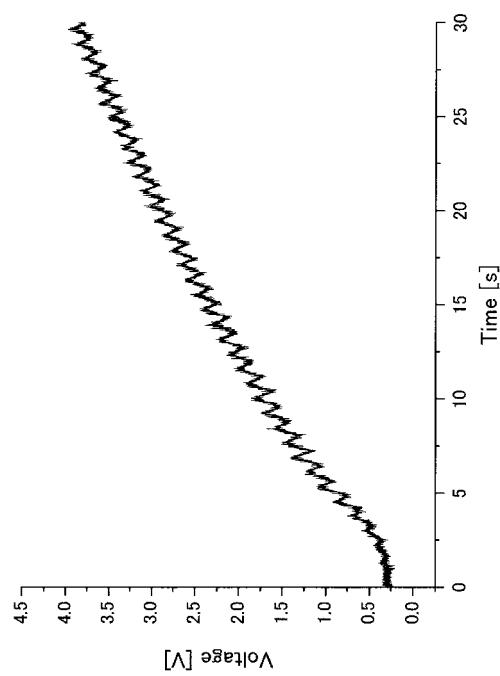
【図19】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2001-310736(JP,A)
特開平04-237637(JP,A)
特開平03-010920(JP,A)
特開平04-149711(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F16F 15/00 - 15/08
B60G 17/00