

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5508684号
(P5508684)

(45) 発行日 平成26年6月4日(2014.6.4)

(24) 登録日 平成26年3月28日(2014.3.28)

(51) Int. Cl.		F I		
HO2P 25/06	(2006.01)	HO2P	5/00	IO1B
BO6B 1/04	(2006.01)	BO6B	1/04	A
HO2K 33/02	(2006.01)	HO2K	33/02	A
HO2P 9/00	(2006.01)	HO2P	9/00	Z
FO4B 35/04	(2006.01)	FO4B	35/04	

請求項の数 15 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2008-58841 (P2008-58841)
 (22) 出願日 平成20年3月8日(2008.3.8)
 (65) 公開番号 特開2008-259409 (P2008-259409A)
 (43) 公開日 平成20年10月23日(2008.10.23)
 審査請求日 平成23年2月14日(2011.2.14)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-63382 (P2007-63382)
 (32) 優先日 平成19年3月13日(2007.3.13)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 504180239
 国立大学法人信州大学
 長野県松本市旭三丁目1番1号
 (74) 代理人 100118924
 弁理士 廣幸 正樹
 (74) 代理人 100110984
 弁理士 加藤 敬子
 (72) 発明者 水野 勉
 長野県長野市若里4-17-1 信州大学
 工学部内
 (72) 発明者 ト 穎剛
 長野県長野市若里4-17-1 信州大学
 工学部内

審査官 池田 貴俊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リニア振動アクチュエータとそれを用いたリニアコンプレッサーおよびリニア振動発電機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

シャフトと、

前記シャフトに固定され、磁力を有する可動子と、

前記可動子の周囲に配され、励磁電流が流されるコイルと、

前記シャフトの運動方向に押すばねと、

前記シャフトの変位量を検知する変位センサと、

前記変位センサからの信号を増幅する第1のアンプと、

前記変位センサからの信号を微分した信号を増幅する第2のアンプと、

前記第1および第2のアンプの出力と基本駆動電流を加算して合成電流指令を作る加算器と、

前記合成電流指令に基づいて前記励磁電流を出力する電流アンプを有し、

前記第1および第2のアンプのゲインを変更することで、

前記コイルに前記励磁電流が流されることによって発生する推力と前記シャフトの前記変位量との比である見かけのばね定数と、前記可動子の質量とから決定される前記可動子の見かけの共振周波数を調節可能としたことを特徴とするリニア振動アクチュエータ。

【請求項2】

運動可能な可動子と、

前記可動子の周囲に配され、励磁電流が流されるコイルと、

前記可動子の運動方向に押すばねと、

駆動電圧を検出する電圧検出部と、
 前記励磁電流を検出する電流検出部と、
 前記電圧検出部と前記電流検出部の出力信号に基づいて前記可動子の変位を推定する変位推定部と、
 前記変位推定部の出力信号を増幅する第1のアンプと、
 前記変位推定部の出力信号を微分する微分器と、
 前記微分器の出力信号を増幅する第2のアンプと、
 前記アンプの出力と基本駆動電流を加算して合成電流指令を作る加算器と、
 前記電流指令制御信号に応じて前記励磁電流を出力する電流アンプとを有し、
 前記変位推定部は、(6)式によって求められる変位推定値 x_e を出力し、
 前記第1および第2のアンプのゲインを変更することで、
前記コイルに前記励磁電流が流されることによって発生する推力と前記変位推定値 x_e との比である見かけのばね定数と、前記可動子の質量とから決定される前記可動子の見かけの共振周波数を調節可能としたことを特徴とするリニア振動アクチュエータ。

10

【数100】

$$x_e = \frac{1}{K_e s} V - \frac{(R + Ls)}{K_e s} I \quad (m)$$

・・・・・・・・(6)

ここで K_e は速度起電力定数 (V s / m)、 R はコイルの抵抗 ()、 L はコイルのインダクタンス L 、 s はラプラス演算子

20

【請求項3】

運動可能な可動子と、
 前記可動子の周囲に配され、励磁電流が流されるコイルと、
 前記可動子の運動方向に押すばねと、
 前記可動子の加速度量を検知する加速度センサと、
 前記加速度センサの出力信号に基づいて前記励磁電流を出力する制御装置とを有し、
 前記制御装置は、
 前記加速度センサからの信号を増幅する第1のアンプと、
 前記加速度センサからの信号を積分した信号を増幅する第2のアンプとを有し、
 前記アンプの出力と基本駆動電流を加算して合成電流指令を作る加算器と、
 前記合成電流指令に基づいて前記励磁電流を出力する電流アンプを有し、
 前記第1および第2のアンプのゲインを変更することで、
前記コイルに前記励磁電流が流されることによって発生する推力と前記可動子の変位との比である見かけのばね定数と、前記可動子の質量とから決定される前記可動子の見かけの共振周波数を調節可能としたことを特徴とするリニア振動アクチュエータ。

30

【請求項4】

運動可能な可動子と、
 前記可動子の周囲に配され、駆動電圧が印加されるコイルと、
 前記可動子の運動方向に押すばねと、
 前記可動子の変位量を検知する変位センサと、
 前記変位センサの出力に基づいて前記駆動電圧を発生する制御装置とを有し、
 前記制御装置は、
 前記変位センサの出力に基づいて、ばね特性を示す推力を発生させる信号を出力する第1の変換部と、
 前記第1の変換部の出力信号を増幅する第1のアンプと、
 前記変位センサからの信号を微分した信号に基づいて、減衰力を示す推力を発生させる信号を出力する第2の変換部と、
 前記第2の変換部の出力信号を増幅する第2のアンプとを有し、

40

50

前記アンプの出力と基本駆動電圧を加算して合成電圧指令を作る加算器と、
 前記合成電圧指令に基づいて前記駆動電圧を出力する電圧アンプを有し、
 前記第1および第2のアンプのゲインを変更することで、
前記コイルに前記駆動電圧が印加されることによって発生する推力と前記可動子の前記変位量との比である見かけのばね定数と、前記可動子の質量とから決定される前記可動子の見かけの共振周波数を調節可能としたことを特徴とするリニア振動アクチュエータ。

【請求項5】

前記第1の変換部の出力は(7)式で表され、前記第2の変換部の出力は(8)式で表される請求項4に記載されたリニア振動アクチュエータ。

【数101】

$$V_x = (Ls + R) x \quad (\Omega m)$$

..... (7)

【数102】

$$V_d = (Ls + R) v_e \quad (\Omega m/s)$$

..... (8)

ここで、Rはコイルの抵抗()、LはコイルのインダクタンスL、sはラプラス演算子、xは変位、v eは速度推定値

【請求項6】

運動可能な可動子と、
 前記可動子の周囲に配され、駆動電圧が印加されて励磁電流が流れるコイルと、
 前記可動子の運動方向に押すばねと、
 前記駆動電圧を検出する電圧検出部と、
 前記励磁電流を検出する電流検出部と、
 前記電圧検出部と前記電流検出部の出力信号に基づいて前記可動子の変位を推定する変位推定部と、

前記変位推定部の出力に基づいて、ばね特性を示す推力を発生させる信号を出力する第1の変換部と、

前記第1の変換部の出力信号を増幅する第1のアンプと、

前記変位推定部の出力信号を微分する微分器と、

前記微分器の出力信号に基づいて、減衰力を示す推力を発生させる信号を出力する第2の変換部と、

前記第2の変換部の出力を増幅する第2のアンプと、

前記アンプの出力と基本駆動電圧を加算し合成電圧指令を作る加算器と、

前記電圧指令制御信号に応じて前記駆動電圧を出力する電圧アンプとを有し、

前記第1および第2のアンプのゲインを変更することで、

前記コイルに前記駆動電圧が印加されて励磁電流が流れることによって発生する推力と前記可動子の変位を推定する前記変位推定部の出力である変位推定値との比である見かけのばね定数と、前記可動子の質量とから決定される前記可動子の見かけの共振周波数を調節可能としたことを特徴とするリニア振動アクチュエータ。

【請求項7】

前記第1の変換部の出力は(9)式で表され、前記第2の変換部の出力は(10)式で表される請求項6に記載されたリニア振動アクチュエータ。

【数103】

$$V_x = (Ls + R) x_e \quad (\Omega m)$$

..... (9)

10

20

30

40

【数 1 0 4】

$$V_d = (Ls + R) v_e \quad (\Omega m/s)$$

..... (10)

ここで、R はコイルの抵抗 ()、L はコイルのインダクタンス L、s はラプラス演算子、 x_e は (6) 式で表される変位推定値、 v_e は速度推定値

【数 1 0 5】

$$x_e = \frac{1}{K_e s} V - \frac{(R + Ls)}{K_e s} I \quad (m)$$

10

..... (6)

ここで K_e は速度起電力定数 (Vs / m)、R はコイルの抵抗 ()、L はコイルのインダクタンス L、s はラプラス演算子、I は前記電流検出部で検出した検出電流、V は前記電圧検出部が検出した検出電圧

【請求項 8】

運動可能な可動子と、

前記可動子の周囲に配され、励磁電流が流されるコイルと、

前記可動子の運動方向に押すばねと、

基本駆動電流に基づいて、変位計算値を出力する変位計算部と、

前記変位計算部の出力信号を増幅する第 1 のアンプと、

20

前記変位計算部の出力信号を微分した信号を増幅する第 2 のアンプとを有し、

前記アンプの出力と前記基本駆動電流を加算して合成電流指令を作る加算器と、

前記合成電流指令に応じて前記励磁電流を出力する電流アンプとを有し、

前記第 1 および第 2 のアンプのゲインを変更することで、

前記コイルに前記励磁電流が流されることによって発生する推力と前記可動子の前記変位計算値との比である見かけのばね定数と、前記可動子の質量とから決定される前記可動子の見かけの共振周波数を調節可能としたことを特徴とするリニア振動アクチュエータ。

【請求項 9】

前記変位計算部は (11) 式によって計算した変位計算値を出力する請求項 8 に記載されたリニア振動アクチュエータ。

30

【数 1 0 6】

$$x_c = \frac{K_f K_i}{ms^2 + (C + K_f K_i K_2)s + (K_s + K_f K_i K_1)} I_c \quad (m)$$

..... (11)

ここで、 K_f は推力定数 (N / A)、 K_i は電流アンプのゲイン、m は可動子の質量 (kg)、s はラプラス演算子、C は定数、 K_1 は第 1 のアンプのゲイン、 K_2 は第 2 のアンプのゲイン、 I_c は電流指令

【請求項 10】

運動可能な可動子と、

40

前記可動子の周囲に配され、駆動電圧が印加されて励磁電流が流れるコイルと、

前記可動子の運動方向に押すばねと、

基本駆動電圧に基づいて、変位計算値を出力する変位計算部と、

前記変位計算部の出力に基づいて、ばね特性を示す推力を発生させる信号を出力する第 1 の変換部と、

前記第 1 の変換部の出力信号を増幅する第 1 のアンプと、

前記変位計算部の出力信号を微分した信号にする微分器と、

前記微分器の出力信号に基づいて、減衰力を示す推力を発生させる信号を出力する第 2 の変換部と、

前記第 2 の変換部の出力を増幅する第 2 のアンプと、

50

前記第 1 と第 2 のアンプのうち少なくとも 1 方のアンプを有し、
 前記アンプの出力と前記基本駆動電圧を加算し合成電圧指令を作る加算器と、
 前記合成電圧指令に応じて前記駆動電圧を出力するインバータ（電圧アンプ）とを有し、
 前記第 1 および第 2 のアンプのゲインを変更することで、
前記コイルに前記駆動電圧が印加されて励磁電流が流れることによって発生する推力と前記可動子の前記変位計算値との比である見かけのばね定数と、前記可動子の質量とから決定される前記可動子の見かけの共振周波数を調節可能としたことを特徴とするリニア振動アクチュエータ。

【請求項 1 1】

前記変位計算部の出力は（12）式によって計算され、前記第 1 の変換部と前記第 2 の変換部の出力はそれぞれ（13）式、と（14）式によって計算される請求項 10 に記載されたリニア振動アクチュエータ。

10

【数 1 0 7】

$$x_c = \frac{K_f K_i}{ms^2 + (C + K_f K_i K_2)s + (K_s + K_f K_i K_1)} \times \frac{1}{Ls + R} V_c \quad (m)$$

..... (12)

$$V_x = (Ls + R) x_c \quad (\Omega m)$$

..... (13)

20

$$V_d = (Ls + R) v_e \quad (\Omega m/s)$$

..... (14)

ここで、K f は推力定数（N / A）、K i は電流アンプ 27 のゲイン、m は可動子の質量（k g）、s はラプラス演算子、C は定数、K 1 は R f アンプのゲイン、K 2 は R d アンプのゲイン、L はインダクタンス（H）、R は抵抗（ ）、V c は電圧指令、R はコイルの抵抗（ ）、L はコイルのインダクタンス L、s はラプラス演算子、x c は変位計算値、v e は速度推定値である。

【請求項 1 2】

運動可能な可動子と、
 前記可動子の周囲に配され、励磁電流が流されるコイルと、
 前記可動子の運動方向に押すばねと、
 前記可動子の変位および速度データが格納されたデータテーブルと、
 前記データテーブルからの出力である前記変位データを増幅する第 1 のアンプと、
 前記データテーブルからの出力である前記速度データを増幅する第 2 のアンプを有し、
 前記アンプの出力と基本駆動電流を加算して合成電流指令を作る加算器と、
 前記合成電流指令に応じて前記励磁電流を出力する電流アンプとを有し、
 前記第 1 および第 2 のアンプのゲインを変更することで、
前記コイルに前記励磁電流が流されることによって発生する推力と前記可動子の前記変位データとの比である見かけのばね定数と、前記可動子の質量とから決定される前記可動子の見かけの共振周波数を調節可能としたことを特徴とするリニア振動アクチュエータ。

30

40

【請求項 1 3】

運動可能な可動子と、
 前記可動子の周囲に配され、駆動電圧が印加されて励磁電流が流れるコイルと、
 前記可動子の運動方向に押すばねと、
 前記可動子に、ばね特性および減衰力を示す推力を発生させる信号が格納されたデータテーブルと、
 前記データテーブルからの出力である、前記ばね特性を示す推力を発生させる信号を増幅する第 1 のアンプと、
 前記データテーブルからの出力である、前記減衰力を示す推力を発生させる信号を増幅す

50

る第2のアンプとを有し、
 前記アンプの出力と基本駆動電圧を加算して合成電圧指令を作る加算器と、
 前記合成電圧指令に応じて前記駆動電圧を出力する電圧アンプとを有し、
 前記第1および第2のアンプのゲインを変更することで、
前記コイルに前記駆動電圧が印加されて励磁電流が流れることによって発生する推力と前記可動子の変位との比である見かけのばね定数と、前記可動子の質量とから決定される前記可動子の見かけの共振周波数を調節可能としたことを特徴とするリニア振動アクチュエータ。

【請求項14】

シャフトと、
 前記シャフトに固定され、磁力を有する可動子と、
 前記可動子の周囲に配され、励磁電流が流されるコイルと、
 前記シャフトの運動方向に押すばねと、
 前記シャフトの変位量を検知する変位センサと、
 前記変位センサからの信号に基づいて前記励磁電流を出力する制御装置と
 前記シャフトに接続されたピストンと、
 前記ピストンが可動するシリンダを有し、
 前記シリンダには、吐出バルブと吸入バルブとを有し、
 前記制御装置は、
 前記変位センサからの信号を増幅する第1のアンプと、
 前記変位センサからの信号を微分した信号を増幅する第2のアンプとを有し、
 前記アンプの出力と基本駆動電流を加算して合成電流指令を作る加算器と、
 前記合成電流指令に基づいて前記励磁電流を出力する電流アンプを有し、
 前記第1および第2のアンプのゲインを変更することで、
前記コイルに前記励磁電流が流されることによって発生する推力と前記シャフトの前記変位量との比である見かけのばね定数と、前記可動子の質量とから決定される前記可動子の見かけの共振周波数を調節可能としたことを特徴とするリニアコンプレッサ。

【請求項15】

シャフトと、
 前記シャフトに固定され、磁力を有する可動子と、
 前記可動子の周囲に配され、励磁電流が流されるコイルと、
 前記可動子の周囲に配された発電コイルと、
 前記発電コイルに接続されたバッテリーと、
 前記シャフトの運動方向に押すばねと、
 前記シャフトの変位量を検知する変位センサと、
 外部から与えられた振動の加速度と周波数を検出する加速度センサと、
 前記変位センサと前記加速度センサからの信号に基づいて前記励磁電流を出力する制御装置とを有し、
 前記制御装置は、
 前記変位センサからの信号と前記加速度センサからの信号に基づきゲインを決めるゲイン決定手段と
 前記変位センサからの信号を前記ゲインに基づき増幅した電流指令を出力するアンプと、
 を有し、
前記アンプの前記ゲインを変更することで、前記コイルに前記励磁電流が流されることによって発生する推力と前記シャフトの前記変位量との比である見かけのばね定数と、前記可動子の質量とから決定される前記可動子の見かけの共振周波数を調節可能としたことを特徴とするリニア振動発電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

この発明はリニア振動アクチュエータおよびリニア振動発電機の見かけの共振周波数を可変させて、効率が大きくなるように駆動または発電させる制御方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

リニア振動アクチュエータの可動子をばねで外部に固定して、ばね-質量系の共振周波数をもつ系を構成したリニア振動アクチュエータは、パーツフィーダ、リニアコンプレッサ、携帯用電話の着信バイブレータ、制振装置などに利用されている。また、リニア振動発電機にも応用されている。リニア振動アクチュエータは駆動周波数と共振周波数とが一致しなると可動子の振幅が減少するという欠点がある。

10

【0003】

リニアコンプレッサは共振周波数で駆動すると高い効率が得られる。リニアコンプレッサでは、冷媒ガスの圧縮性に温度依存性があり、冷媒ガスの温度によって共振周波数に変化する。そこで、従来技術では図25に示したように、コンピュータ134の位相検出部135は、電圧検出装置137で検出された交流電源131の出力電圧Vと、電流検出装置133で検出された交流電源131からリニアコンプレッサ132に流れる電流Iとの位相差Dpを検出する。そして、演算・制御部136は位相差Dpに応じた値だけ交流電源131の出力電圧Vの周波数fを補正して、駆動周波数fをピストンの共振周波数に一致させていた(特許文献1参照)。また同様な手法が考案されている(特許文献2参照)

【特許文献1】特開平9-112438号公報

20

【特許文献2】特開2005-300098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、上述の方法では、駆動周波数を共振周波数に一致させているだけであり、駆動周波数を変化させた場合には効率が低下するという問題点があった。リニアコンプレッサの冷媒ガスには圧縮性があるために可動子のある一定のストローク以上で駆動する必要がある。したがって、リニアコンプレッサの出力を可変する場合には共振周波数以外の周波数で駆動する必要があり、この場合には効率が著しく低下していた。

【課題を解決するための手段】

30

【0005】

本発明は上記の課題を解決するために想到されたものであり、可動子の変位に応じた駆動力を可動子に与える事で見かけのばね定数を変化させ、それによって可動子を含む系の共振周波数を見かけの共振周波数に一致させるように制御する。

【0006】

すなわち、本発明は、
 シャフトと、
 前記シャフトに固定され、磁力を有する可動子と、
 前記可動子の周囲に配され、励磁電流が流されるコイルと、
 前記シャフトの運動方向に押すばねと、
 前記シャフトの変位量を検知する変位センサと、
 前記変位センサからの信号を増幅する第1のアンプと、
 前記変位センサからの信号を微分した信号を増幅する第2のアンプと、
 前記第1および第2のアンプの出力と基本駆動電流を加算して合成電流指令を作る加算器と、
 前記合成電流指令に基づいて前記励磁電流を出力する電流アンプを有し、
 前記第1および第2のアンプのゲインを変更することで、前記コイルに前記励磁電流が流されることによって発生する推力と前記シャフトの前記変位量との比である見かけのばね定数と、前記可動子の質量とから決定される前記可動子の見かけの共振周波数を調節可能としたことを特徴とするリニア振動アクチュエータを提供するものである。また、このリ

40

50

ニア振動アクチュエータを用いたリニアコンプレッサとリニア振動発電機を提供するものである。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、リニア振動アクチュエータの駆動周波数に一致するように見かけの共振周波数を制御できるために、従来法と比較して高効率が得られる。また、リニア振動発電機においても常に最大出力が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

(発明の実施例1)

以下本発明の実施形態について順次説明を行う。まず、最初に本発明の動作原理について図1を用いて簡単に説明する。図1は、一方を固定端に固定されたばねにおもりが付けられているばねを示している。つりあっている際のばねの長さを x_0 とする。そして、今ばねの長さが x_1 にされたとする。よく知られているように、おもりにばねの伸びによる力が作用する。その大きさは、つりあい状態からのばねの伸び $x = (x_1 - x_0)$ に比例し、方向はおもりの変位方向とは逆の方向に作用する。ばねの伸びに比例する比例定数 k をばね定数と呼ぶ。おもりに働く力は図では kx で示した。

【0009】

ここで、おもりに対して外部からおもりの変位に比例した力 K_1x を付与したとする。すると、おもりに作用する力は、ばねの力と外部から付与された力の合成力である。今外部からの力は、ばねの力同様、おもりの変位に比例した力としているので、見かけのばね定数が変化したように見える。本発明は以上の原理に基づくものである。

【0010】

次に本実施の形態のリニア駆動アクチュエータについて説明する。図2は、リニア振動アクチュエータ1(以下、LOA)の構造例である。シャフト8に固定された可動子2の可動子ヨーク3の表面に永久磁石4が配置されている。また固定子5は、固定子ヨーク6とコイル7から構成されている。さらに、可動子2のシャフト8の左側は取付けブラケット9に固定された板ばね10に、右側は負荷11に連結されている。このような構成とすることで、LOAは、ばね定数と可動子の質量から決定される共振周波数 f_0 をもっている。

【0011】

さらに、変位センサ12で検出した変位 x_{13} は、制御装置14にフィードバックされている。また、制御装置14から励磁電流 I_{15} がコイル7に流れて推力 F_{16} が発生して、可動子2に加速度 a_{17} および速度 v_{18} が発生して変位する。

【0012】

図3は本発明における制御方法の制御ブロックである。可動子2の変位 x_{13} は変位センサ12で検出されて、制御装置14にフィードバックされている。Rfアンプ19で、変位 x_{13} にゲイン K_1 (A/m)が乗算され、ばね特性を示す推力を発生させる制御信号 I_{rf} が作られる。この制御信号 I_{rf} は、加算器52で、電流指令 I_{c21} と重畳される。電流指令 I_{c21} は、駆動電流の基本となる電流であり、基本駆動電流ともいう。ここでゲイン K_1 は、Rfアンプ19に送られる共振周波数可変指令20によって大きさが可変できるようになっている。

【0013】

さらに、変位 x_{13} は微分器22によって速度推定値 v_{e23} に変換されて、Rdアンプ24で、ゲイン K_2 (As/m)と乗算され、減衰力示す推力を発生させる制御信号 I_{rd} が作られる。制御信号 I_{rd} は電流指令 I_{c21} と加算される。ここでゲイン K_2 は、Rdアンプ24に送られる減衰定数可変指令25によって大きさが可変できるようになっている。これらゲイン K_1 および K_2 を変化させる共振周波数可変指令20と減衰定数可変指令25の由来は、特に限定されることなく、制御装置14外で作られてもよいし、制御装置14内で作ってもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

電流指令 I_c 2 1 と加算されたこれらの信号は合成電流指令 I_c * 2 6 となり、インバータ（電流アンプ）2 7 に与られ、ゲイン K_i 倍されて励磁電流 I 1 5 となる。さらに、同図中の量記号は、 K_f : 推力定数 (N/A)、 F : 推力 (N)、 m : 可動子の質量 (kg)、 c : 減衰定数 (Ns/m)、 K_s : ばね定数 (N/m)、 s : ラプラス演算子、 a : 加速度 (m/s^2)、 v : 速度 (m/s) である。

【 0 0 1 5 】

図 3 に示したブロック線図に基づいて、電流指令 I_c から変位 X までの伝達関数 X/I_c は (1) 式となる。また、共振角周波数 ω と減衰係数 ξ は、それぞれ (2) 式と (3) 式となる。さらに共振周波数 f_0' は (4) 式となる。なお、本制御を行わない場合の共振周波数 f_0 は (5) 式で与えられる。

10

【数 1】

$$\begin{aligned} \frac{X}{I_c} &= \frac{K_f K_i}{m s^2 + (C + K_f K_i K_2) s + (K_s + K_f K_i K_1)} \\ &= \frac{K_f K_i}{m} \frac{1}{s^2 + 2 \xi \omega s + \omega^2} \quad (\text{m/A}) \\ &\dots\dots(1) \end{aligned}$$

20

【数 2】

$$\omega = \sqrt{\frac{K_s + K_f K_i K_1}{m}} \quad (\text{rad/s})$$

\dots\dots(2)

【数 3】

$$\xi = \frac{C + K_f K_i K_2}{2} \sqrt{\frac{1}{m (K_s + K_f K_i K_1)}}$$

\dots\dots(3)

30

【数 4】

$$f_0' = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_s + K_f K_i K_1}{m}} \quad (\text{Hz})$$

\dots\dots(4)

40

【数5】

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_s}{m}} \quad (\text{Hz})$$

.....(5)

【0016】

図3においてゲインK1とゲインK2は独立して設定可能である。そこで、まず、ゲインK1の効果について説明する。図4はK2 = 0の場合のK1をパラメータとするゲイン絶対値(X/Ic)(振幅) - 駆動周波数特性である。縦軸はゲインの絶対値を表し、横軸は周波数を表す、本発明を行わない場合の共振周波数は(5)式に示したようにf0である。(4)式に示したようにK1 > 0の場合には共振周波数f0よりも高い共振周波数f0'が得られる。逆に、K1 < 0の場合には共振周波数f0よりも低い共振周波数f0'が得られる。すなわち、K1によって共振周波数を可変することができる。

10

【0017】

次にゲインK2の効果について説明する。ゲインK1 = 0の場合のK2をパラメータとするゲイン絶対値(X/Ic)(振幅) - 駆動周波数特性を図5に示した。本発明を行わない場合と比較してK2 > 0の場合には、共振周波数f0における絶対値(X/Ic)(振幅)は小さくなり、かつ、平坦な減衰特性となる。逆にK2 < 0の場合には絶対値(X/Ic)(振幅)は大きくなり、かつ急峻な減衰特性となる。すなわち、K2によって減衰特性を制御することができる。

20

【0018】

図6は、ゲインK1とゲインK2をそれぞれ設定した場合の特性例である。同図に示したように、K1 > 0でかつK2 > 0の場合には、共振周波数が高くなり、かつ平坦な減衰特性となる。一方、K1 < 0でかつK2 < 0の場合には共振周波数が低くなり、かつ急峻な減衰特性となる。ゲインK1とゲインK2はそれぞれ独立して可変することが可能であり、ゲインK1によって共振周波数を、ゲインK2によって減衰特性を制御することができる。

30

【0019】

(3)式に示したように減衰係数は、ゲインK1にも依存している。そこで、所望の共振特性を得るためには、まず(4)式を用いて所望の共振周波数f0'となるようにゲインK1を決定して、次に(3)式を用いて所望の減衰係数となるようにゲインK2を設定すれば良い。

【0020】

なお、本発明は、ゲインK1を提供するRfアンプ19とゲインK2を提供するRdアンプ24の両者が存在する場合に限定されるものではない。すなわち、共振周波数f0'だけを制御する場合にはRfアンプ19(ゲインK1)だけを設置すればよく、また減衰係数xだけを制御する場合にはRdアンプ24(ゲインK2)だけを設置すればよい。

40

【0021】

次に、上記のリニアアクチュエータを利用したリニアコンプレッサについて説明する。図7にリニアコンプレッサ72の構成を示す。リニア振動アクチュエータ1については、図2と同じ部分には同じ符号を付与している。可動子2の可動子ヨーク3の表面に永久磁石4が配置されている。また固定子5は、固定子ヨーク6とコイル7から構成されている。さらに、可動子2のシャフト8の左側は取付けブラケット9に固定された板ばね10に、右側はシリンダ82に支持されたピストン83に連結されている。このような構成とすることで、LOAは、ばね定数と可動子の質量から決定される共振周波数f0をもっている。変位センサ12は、可動子の変位x13を検出して制御装置14にフィードバックされている。

50

【 0 0 2 2 】

制御装置 1 4 から出力された合成電流指令 $I_c * 2 6$ は電流アンプ 2 7 で増幅されて励磁電流 $I 1 5$ となる。コイル 7 に励磁電流 $I 1 5$ を流して、ガスの負荷力 $F L (x) 8 6$ 以上の推力 $F 1 6$ を発生させると、吐出バルブ 8 8 が開いて圧縮ガスを吐出させる。また、励磁電流 $I 1 5$ の流す方向を変えると可動子 2 は同図の左手方向に変位して吸入バルブ 8 9 が開いて膨張ガスを吸入することができる。これらの一連の動作によってリニアコンプレッサが実現される。

【 0 0 2 3 】

リニアコンプレッサの出力を可変させる、すなわち吐出ガスの流量を可変するためには、冷媒ガスに圧縮性があるために可動子 2 を一定のストローク以上で駆動する必要がある。共振周波数 $f 0$ 以外の周波数で駆動することとなる。従来技術では共振周波数 $f 0$ 以外の周波数で駆動すると効率が著しく低下していた。

【 0 0 2 4 】

図 8 は、本発明における高効率駆動方法の制御ブロックである。同図中において、 $K f$: 推力定数 (N / A)、 m : 可動子の質量 (kg)、 c : 減衰定数 ($N s / m$)、 $K s$: ばね定数 (N / m)、 s : ラプラス演算子、 a : 加速度 (m / s^2)、 v : 速度 (m / s) である。シリンダ内の圧力による負荷力 $F L (x) 8 6$ は、変位 $x 1 3$ の変数となっている。可動子 2 の変位 $x 1 3$ は変位センサ 1 2 で検出されて、制御装置 1 4 内のゲインコントローラ 6 4 にフィードバックされている。ゲイン決定手段 6 5 は、駆動周波数 $f 6 6$ と変位 $x 1 3$ に基づいてゲイン可変指令 2 0 を出力する。電流指令 $I c 2 1$ から変位 $x 1 3$ に $R f$ アンプ 1 9 にてゲイン K が乗じられた信号が減算されて合成電流指令 $I c * 2 6$ となる。ゲイン可変信号 2 0 によって、ゲイン K を可変させることができる。このようにすることで、駆動周波数に見かけの共振周波数を常に一致させることができ従来法よりも高効率駆動が可能となる。

【 0 0 2 5 】

図 9 は、図 8 に示した制御系におけるばね力 (推力 $F 1 6$) - 変位 ($x 1 3$) 特性である。ゲイン K が $K = 0$ の場合は、板ばね 1 0 のばね力 - 変位特性を意味しており、ばね定数 $K s$ で共振周波数 $f 0$ となる。ゲインが $K > 0$ の場合には、変位に比例する励磁電流が流れて推力 F が発生する。すると、ばね力 (推力 F) と変位 x との比、すなわち、見かけのばね定数 $K s'$ が大きくなる。したがって、見かけのばね定数 $K s'$ と可動部の質量 m から決定される見かけの共振周波数 $f 0'$ が大きくなる。逆に、ゲインが $K < 0$ の場合には、見かけのばね定数 $K s'$ が小さくなって、見かけの共振周波数 $f 0'$ が小さくなる。

【 0 0 2 6 】

図 1 0 はゲイン決定手段 6 5 の処理を示すフローチャートである。まず、駆動周波数 f を入力し ($S 1 0 2$)、駆動周波数 f と見かけの共振周波数 $f 0'$ とが一致するように見かけのばね定数 $K s'$ とゲイン K を算出して ($S 1 0 4$ 、 $S 1 0 6$)、ゲイン可変指令を出力する ($S 1 0 8$)。次に、変位 x を入力し ($S 1 1 0$)、可動子のストローク S を算出して ($S 1 1 2$)、ストロークが最大の場合には ($S 1 1 4$)、ステップ $S 1 1 0$ に戻る。ストローク S が最大ではない場合には、ゲイン K を増減して ($S 1 1 6$)、ステップ $S 1 0 8$ に戻る。このようにすることで、駆動周波数 f と見かけの共振周波数 $f 0'$ とが一致するために高効率駆動が可能となる。さらに、温度に依存して冷媒ガスの圧縮性が変化、すなわち、共振周波数 $f 0$ が変動しても常に共振状態を維持するために高効率化を実現できる。

【 0 0 2 7 】

図 1 1 に本発明における効率特性を示した。前述したようにリニアコンプレッサの出力を変化させるためには、共振周波数 $f 0$ 以外の周波数で駆動する必要がある。本発明を行わない場合 (従来法) の効率特性は、板ばね 1 0 のばね定数 $K s$ と可動部の質量 m から決定される共振周波数 $f 0$ をもっており、共振周波数を変化させることはできなかった。このために、共振周波数 $f 0$ 以外の周波数で駆動すると極端にリニアコンプレッサの効率 ($L O A$ の入力電力と圧縮ガスの仕事率との比) が低下していた。しかし、前述したように

本発明による駆動方法では、見かけの共振周波数 f_o' を駆動周波数 f に一致させるように変化させることができる。したがって、本発明の効率特性は、従来法と比較して広範囲な駆動周波数 f において、本発明による効率特性の向上が実現される。

【0028】

本発明例では磁石可動形 LOG を例に挙げて説明した。しかし、説明に用いた LOG の構造に限定されるものではなく、鉄心可動形やコイル可動形のアクチュエータとばねを組み合わせた LOG であっても良い。また、ばねと揺動形アクチュエータとを組み合わせた振動アクチュエータであっても良い。さらに、電流アンプ 27 は、アナログ方式や PWM 方式などの電流アンプであり、いずれかに限定されるものではない。変位センサ 12 は、磁気式、光学式、静電容量式などの変位センサであり、いずれかに限定されるものではない。

10

【0029】

次に本発明のリニア振動アクチュエータを利用したリニア信号発電機について説明する。図 12 にリニア振動発電機 (LOG) 55 の構造例であり、基本的には図 7 に示したリニア振動アクチュエータと同様であるが、コイルは制御コイル 58 と発電コイル 59 から構成されている。またシャフト 8 にはおもり 60 が取り付けられている。LOG には外部振動 63 が作用しており、可動子 2 が変位することで発電コイル 59 に速度起電力が発生して、整流回路 (バッテリー) 61 を通して外部に電力を供給することができる。また、変位センサ 12 で検出した可動子 2 の変位 x_{13} と加速度センサ 34 で検出した加速度 a_{17} は制御装置 14 にフィードバックされている。制御装置 14 から出力された電流指令 I_{c21} は電流アンプ 27 によって増幅されて励磁電流 I_{15} となり、制御コイル 58 に供給される。リニア振動アクチュエータで説明したように制御コイル 58 に励磁電流 I_{15} を流して推力を発生させることで、見かけのばね定数 K_s' を可変して、見かけの共振周波数 f_o' を制御できる。

20

【0030】

図 13 は LOG の制御ブロックであり、同図中において K_e は速度起電力定数 (Vs/m) である。可動子 2 の速度 v と K_e とを乗じた値が速度起電力となり、整流回路 (バッテリー) 61 に繋がっている。制御装置 14 には、変位センサ 12 で検出された変位 x_{13} と加速度センサ 34 で検出された外部振動の加速度 a_{17} が入力されている。変位 x はゲイン K が乗じられて電流指令 I_{c21} となり、電流アンプ 27 に入力される。ゲインコントローラ 68 内のゲイン決定手段 69 は、変位 x_{13} と加速度 a_{17} に基づいてゲイン可変指令 20 を出力してゲイン K の大きさを変化させることができる。図 9 に示したように、ゲイン K の大きさによって見かけのばね定数 K_s' を可変することができる。すなわち、見かけの共振周波数 f_o' を制御することができる。このように制御することで、常に外部振動の周波数 f に見かけの共振周波数 f_o' を一致させることができるために、最大電力の発電が可能となる。

30

【0031】

図 14 はゲイン決定手段 69 のフローチャートである。まず、加速度 a_{17} を入力し (S202) 加速度 a の周波数 f を算出して (S204)、周波数 f と見かけの共振周波数 f_o' とが一致するように見かけのばね定数 K_s' を算出する (S206)。さらにゲイン K を算出し (S208) てゲイン可変指令 70 を出力する (S210)。次に、変位 x_{13} を入力し (S212)、可動子 2 のストローク S を算出して (S214)、ストロークが最大の場合 (S216) には、ステップ S202 に戻る。ストローク S が最大ではない場合には、ゲイン K を増減して (S218)、ステップ S210 に戻る。このようにすることで、外部振動の周波数 f が変化しても常に共振状態を維持できるため最大電力の発電が可能となる。

40

【0032】

本発明例では磁石可動形 LOG を例に挙げて説明した。しかし、説明に用いた LOG の構造に限定されるものではなく、鉄心可動形やコイル可動形のアクチュエータとばねを組み合わせた LOG であっても良い。また、ばねと揺動形アクチュエータとを組み合わせた

50

振動発電機であっても良い。さらに、電流アンプ27は、アナログ方式やPWM方式などの電流アンプであり、いずれかに限定されるものではない。変位センサ12は、磁気式、光学式、静電容量式などの変位センサであり、いずれかに限定されるものではない。加速度センサ34も歪ゲージ式や圧電素子式のセンサであり、いずれかに限定されるものではない。

【0033】

(実施の形態2)

図15は本実施の形態のリニア振動アクチュエータの制御ブロックである。励磁電流を電流検出部28で検出した検出電流I29が変位推定部30に入力されている。さらに、LOAの駆動電圧を電圧検出部31で検出した検出電圧V32も変位推定部30に入力されている。変位推定部30は、検出電流I29と検出電圧V32に基づいて変位推定値xe33を出力する。LOAの運動法方程式に基づいて変位推定値xe33は速度起電力定数Ke(Vs/m)、コイルの抵抗R()、コイルのインダクタンスL(H)を用いて(6)式のように表わされる。

10

【数6】

$$x_e = \frac{1}{K_e s} V - \frac{(R + Ls)}{K_e s} I \quad (m)$$

.....(6)

20

【0034】

変位推定値xe33はゲインK1(A/m)と乗算されてばね特性を示す推力を発生させる制御信号Irfとなり電流指令Ic21にフィードバックされている。さらに、変位推定値xe33は微分器22によって速度推定値ve23に変換され、ゲインK2(As/m)と乗算されて減衰力を示す推力を発生させる制御信号Irdとなり加算器52を介して電流指令Ic21にフィードバックされる。

【0035】

図15に示した制御ブロックにおいて、Rfアンプ19のゲインK1とRdアンプ24のゲインK2を可変することによって前述した図4乃至6に示した特性が得られる。本実施例では、高価な変位センサを用いなくともよい利点がある。

30

【0036】

本発明は、ゲインK1とゲインK2の両者が存在する場合に限定されるものではない。すなわち、共振周波数f0'だけを制御する場合にはゲインK1だけを設置すればよく、また減衰係数だけを制御する場合にはゲインK2だけを設置すればよい。

【0037】

(実施の形態3)

図16に本実施の形態に係るリニア振動アクチュエータの制御ブロックを示す。加速度センサ34によって検出した可動子2の加速度a17が制御装置14にフィードバックされている。加速度a17はRfアンプ19でゲインK1(As²/m)と乗算されて見かけの質量を制御する制御信号Irfとなり電流指令Ic21に加算器52を介してフィードバックされている。さらに、加速度a17は積分器35によって速度推定値ve23に変換され、Rdアンプ24でゲインK2(As/m)と乗算されて減衰力を示す推力を発生させる制御信号Irdとなり加算器52を介して電流指令Ic21にフィードバックされる。

40

【0038】

図16に示した本実施の形態の制御ブロックにおいて、ゲインK1とゲインK2を可変することによって前述した図4乃至図6に示した特性が得られる。本発明は、ゲインK1とゲインK2の両者が存在する場合に限定されるものではない。すなわち、共振周波数f0'だけを制御する場合にはゲインK1だけを設置すればよく、また減衰係数だけを制

50

御する場合にはゲイン K 2 だけを設置すればよい。

【 0 0 3 9 】

(実施の形態 4)

図 1 7 に本実施の形態に係るリニア振動アクチュエータの制御ブロックを示す。L O A にはインバータ (電圧アンプ) 3 6 によって駆動電圧 V 3 7 が印加されており、速度起電力 E 3 8 がフィードバックされている。さらに、変位センサ 1 2 によって検出された変位 x 1 3 が制御装置 1 4 にフィードバックされている。

【 0 0 4 0 】

変位 x 1 3 は、変換部 A 3 9 と微分器 2 2 に入力されている。変換部 A 3 9 に入力された変位 x 1 3 は、ばね特性を示す推力を発生させる信号 V x 4 0 に変換されて、R f アンプ 1 9 でゲイン K 1 (A / m) と乗算され加算器 5 2 を介して電圧指令 V c 4 1 にフィードバックされている。電圧指令は基本駆動電圧である。一方、微分器 2 2 に入力された変位 x 1 3 は、速度推定値 v e 2 3 に変換されて、次に変換部 B 4 2 によって減衰力を示す推力を発生させる信号 V d 4 3 となる。さらに、R d アンプ 2 4 でゲイン K 2 (A s / m) と乗算され加算器 5 2 を介して電圧指令 V c 4 1 にフィードバックされている。L O A の運動方程式と回路方程式に基づいて変換部 A 3 9 と変換部 B 4 2 は、それぞれ (7) 式と (8) 式で表わされる。

【数 7】

$$V_x = (Ls + R) x \quad (\Omega m)$$

.....(7)

【数 8】

$$V_d = (Ls + R) v_e \quad (\Omega m/s)$$

.....(8)

ここで、R はコイルの抵抗 ()、L はコイルのインダクタンス L、s はラプラス演算子、x は変位、v e は速度推定値である。

【 0 0 4 1 】

図 1 7 に示した本実施の形態の制御ブロックにおいて、ゲイン K 1 とゲイン K 2 を可変することによって前述した図 4 乃至図 6 に示した特性が得られる。また、本発明は、ゲイン K 1 とゲイン K 2 の両者が存在する場合に限定されるものではない。すなわち、共振周波数 f 0 ' だけを制御する場合にはゲイン K 1 だけを設置すればよく、また減衰係数 だけを制御する場合にはゲイン K 2 だけを設置すればよい。

【 0 0 4 2 】

(実施の形態 5)

図 1 8 に本実施の形態のリニア振動アクチュエータの制御ブロックを示す。L O A はインバータ (電圧アンプ) 3 6 で駆動され、かつ変位センサや加速度センサを用いていないために安価なシステムを構築することができる。励磁電流を電流検出部 2 8 で検出して、検出電流 I 2 9 が変位推定部 3 0 に入力される。さらに、L O A の駆動電圧を電圧検出部 3 1 で検出した検出電圧 V 3 2 も変位推定部 3 0 に入力されている。変位推定部 3 0 は、検出電流 I 2 9 と検出電圧 V 3 2 に基づいて変位推定値 x e 3 3 を出力する。変位推定値 x e 3 3 は前述の (6) 式で表わされる。

【 0 0 4 3 】

変位推定値 x e 3 3 は、変換部 A 3 9 と微分器 2 2 に入力されている。変換部 A 3 9 に入力された変位推定値 x e 3 3 は、ばね特性を示す推力を発生させる信号 V x 4 0 に変換されて、R f アンプ 1 9 でゲイン K 1 (A / m) と乗算されて加算器 5 2 を介して電圧指令 V c 4 1 にフィードバックされている。

【 0 0 4 4 】

一方、微分器 2 2 に入力された変位推定値 x_e 3 3 は、速度推定値 v_e 2 3 に変換されて、次に変換部 B 4 2 によって減衰力を示す推力を発生させる信号 V_d 4 3 となる。さらに、R d アンプ 2 4 でゲイン K_2 (A s / m) と乗算されて加算器 5 2 を介して電圧指令 V_c 4 1 にフィードバックされる。変換部 A 3 9 と変換部 B 4 2 は、それぞれ下述の (9) 式と (1 0) 式で表わされる。

【数 9】

$$V_x = (Ls + R) x_e \quad (\Omega m) \dots \dots \dots (9)$$

10

【数 1 0】

$$V_d = (Ls + R) v_e \quad (\Omega m/s) \dots \dots \dots (10)$$

ここで、R はコイルの抵抗 ()、L はコイルのインダクタンス L、s はラプラス演算子、 x_e は (6) 式で求められる変位推定値、 v_e は速度推定値である。

【 0 0 4 5 】

20

図 9 に示した本実施の形態の制御ブロックにおいて、ゲイン K_1 とゲイン K_2 を可変することによって前述した図 4 乃至 6 に示した特性が得られる。また、本発明は、ゲイン K_1 とゲイン K_2 の両者が存在する場合に限定されるものではない。すなわち、共振周波数 f_0 ' だけを制御する場合にはゲイン K_1 だけを設置すればよく、また減衰係数 だけを制御する場合にはゲイン K_2 だけを設置すればよい。

【 0 0 4 6 】

(実施の形態 6)

図 1 9 に本実施の形態に係るリニア振動アクチュエータの制御ブロックを示す。L O A はインバータ (電圧アンプ) 2 7 で駆動され、L O A に外乱が作用せずに安定した振動が得られる場合に特に有用である。すなわち、変位センサや加速度センサおよび駆動電圧や励磁電流などの検出部を必要としないために安価なシステムを構築することができる。電流指令 I_c 2 1 は、変位計算部 A 4 5 に入力されており、変位計算値 x_c 4 6 が出力されている。L O A の運動方程式に基づいて変位計算値 x_c 4 6 は (1 1) 式で表わされる。

30

【数 1 1】

$$x_c = \frac{K_f K_i}{ms^2 + (C + K_f K_i K_2)s + (K_s + K_f K_i K_1)} I_c \quad (m) \dots \dots \dots (11)$$

40

ここで、 K_f は推力定数 (N / A)、 K_i は電圧アンプ 2 7 のゲイン、m は可動子の質量 (k g)、s はラプラス演算子、C は定数、 K_1 は R f アンプのゲイン、 K_2 は R d アンプのゲイン、 I_c は電流指令である。

【 0 0 4 7 】

変位計算値 x_c 4 6 は R f アンプ 1 9 でゲイン K_1 (A / m) と乗算されてばね特性を示す推力を発生させる制御信号 $I_r f$ となり電流指令 I_c 2 1 に加算器 5 2 を介してフィードバックされている。さらに、変位計算値 x_c 4 6 は微分器 2 2 によって速度推定値 v_e 2 3 に変換され、R d アンプ 2 4 でゲイン K_2 (A s / m) と乗算されて減衰力を示す推力を発生させる制御信号となり、加算器 5 2 を介して電流指令 I_c 2 1 にフィードバックされる。

50

【 0 0 4 8 】

図 1 9 に示した実施例 6 の制御ブロックにおいて、ゲイン K 1 とゲイン K 2 を可変することによって前述した図 4 乃至 6 に示した特性が得られる。また、本発明は、ゲイン K 1 とゲイン K 2 の両者が存在する場合に限定されるものではない。すなわち、共振周波数 f 0 ' だけを制御する場合にはゲイン K 1 だけを設置すればよく、また減衰係数 だけを制御する場合にはゲイン K 2 だけを設置すればよい。

【 0 0 4 9 】

(実施の形態 7)

図 2 0 に本実施の形態のリニア振動アクチュエータの制御ブロックを示す。L O A はインバータ (電圧アンプ) 3 6 で駆動されており、L O A に外乱が作用せずに安定した振動が得られる場合に特に有用である。すなわち、変位センサや加速度センサおよび駆動電圧や励磁電流などの検出部を必要としなために安価なシステムを構築することができる。電圧指令 V c は、変位計算部 B 4 7 に入力されており、変位計算値 x c 4 6 が出力されている。L O A の運動方程式と回路方程式に基づいて変位計算値 x c 4 6 は (1 2) 式で表わされる。

10

【 数 1 2 】

$$x_c = \frac{K_f K_i}{ms^2 + (C + K_f K_i K_2)s + (K_s + K_f K_i K_1)} \times \frac{1}{Ls + R} V_c \quad (m)$$

20

..... (12)

【 0 0 5 0 】

ここで、K f は推力定数 (N / A)、K i は電流アンプ 2 7 のゲイン、m は可動子の質量 (k g)、s はラプラス演算子、C は定数、K 1 は R f アンプのゲイン、K 2 は R d アンプのゲイン、L はインダクタンス (H)、R は抵抗 ()、V c は電圧指令である。

【 0 0 5 1 】

変位計算値 x c 4 6 は変換部 A 3 9 と微分器 2 2 に入力される。変換部 A 3 9 の出力である、ばね特性を示す推力を発生させる信号 V x 4 0 は、R f アンプ 1 9 でゲイン K 1 (A / m) と乗算されて加算器 5 2 を介して電圧指令 V c 4 1 にフィードバックされている。一方、微分器 2 2 に入力された変位計算値 x c 4 6 は速度推定値 v e 2 3 となり、さらに変換部 B 4 2 によって、減衰力を示す推力を発生させる信号 V d 4 3 となる。次に、R d アンプ 2 4 でゲイン K 2 (A s / m) と乗算されて加算器 5 2 を介して電圧指令 V c 4 1 にフィードバックされる。変換部 A 3 9 と変換部 B 4 2 は、それぞれ下述の数 1 3 と数 1 4 で表される。

30

【 数 1 3 】

$$V_x = (Ls + R) x_c \quad (\Omega m)$$

..... (13)

【 数 1 4 】

$$V_d = (Ls + R) v_e \quad (\Omega m/s)$$

..... (14)

40

ここで、R はコイルの抵抗 ()、L はコイルのインダクタンス L、s はラプラス演算子、x c は変位計算値、v e は速度推定値である。

【 0 0 5 2 】

図 2 0 に示した本実施の形態の制御ブロックにおいて、ゲイン K 1 とゲイン K 2 を可変することによって前述した図 4 乃至 6 に示した特性が得られる。また、本発明は、ゲイン

50

K 1 とゲイン K 2 の両者が存在する場合に限定されるものではない。すなわち、共振周波数 f_0' だけを制御する場合にはゲイン K 1 だけを設置すればよく、また減衰係数 だけを制御する場合にはゲイン K 2 だけを設置すればよい。

【 0 0 5 3 】

(実施の形態 8)

図 2 1 に本実施の形態にかかわるリニア振動アクチュエータの制御ブロックである。L O A はインバータ (電流アンプ) 2 7 で駆動されており、L O A に外乱が作用せずに安定した振動が得られる場合に特に有用である。すなわち、変位センサや加速度センサおよび駆動電圧や励磁電流などの検出部を必要としないために安価なシステムを構築することができる。

10

【 0 0 5 4 】

変位および速度データテーブル 4 8 には図 2 2 に示したように電流指令 I_{c21} に対応した変位データ x_{d49} と速度データ v_{d50} が格納されている。また、各データは 1 周期分が n 当分されている。さらに電流指令 I_{c21} 対応した変位データ x_{d49} と速度データ v_{d50} が出力される。

【 0 0 5 5 】

変位データ x_{d49} は R f アンプ 1 9 でゲイン K 1 (A / m) と乗算されてばね特性を示す推力を発生させる制御信号 I_{rf} となり加算器 5 2 を介して電流指令 I_{c21} にフィードバックされている。さらに、速度データ v_{d50} は R d アンプ 2 4 でゲイン K 2 (A s / m) と乗算されて減衰力を示す推力を発生する制御信号 I_{rd} となり加算器 5 2 を介して電流指令 I_{c21} にフィードバックされる。

20

【 0 0 5 6 】

図 2 1 に示した本実施の形態の制御ブロックにおいて、ゲイン K 1 とゲイン K 2 を可変することによって前述した図 4 乃至 6 に示した特性が得られる。また、本発明は、ゲイン K 1 とゲイン K 2 の両者が存在する場合に限定されるものではない。すなわち、共振周波数 f_0' だけを制御する場合にはゲイン K 1 だけを設置すればよく、また減衰係数 だけを制御する場合にはゲイン K 2 だけを設置すればよい。

【 0 0 5 7 】

(実施の形態 9)

図 2 3 に本実施の形態に係るリニア振動アクチュエータの制御ブロックを示す。L O A はインバータ (電圧アンプ) 3 6 で駆動されており、L O A に外乱が作用せずに安定した振動が得られる場合に特に有用である。すなわち、変位センサや加速度センサおよび駆動電圧や励磁電流などの検出部を必要としないために安価なシステムを構築することができる。

30

【 0 0 5 8 】

ばね特性および減衰力を示す推力を発生させる信号テーブル 5 1 には図 2 4 に示したように電圧指令 V_{c41} に対応したばね特性を示す推力を発生させる信号 V_{x40} と減衰力を示す推力を発生させる信号 V_{c43} が格納されている。また、各データは 1 周期分が n 当分されている。さらに電圧指令 V_{c41} に対応して、ばね特性を示す推力を発生させる信号 V_{x40} と減衰力を示す推力を発生させる信号 V_{d43} が出力される。

40

【 0 0 5 9 】

ばね特性を示す推力を発生させる信号 V_{x40} は R f アンプ 1 9 でゲイン K 1 (V) と乗算されて加算器 5 2 を介して電圧指令 V_{c41} にフィードバックされている。さらに、減衰力を示す推力を発生させる信号 V_{c43} は R d アンプ 2 4 でゲイン K 2 (V) と乗算されて加算器 5 2 を介して電圧指令 V_{c41} にフィードバックされる。

【 0 0 6 0 】

図 2 3 に示した本実施の形態の制御ブロックにおいて、ゲイン K 1 とゲイン K 2 を可変することによって前述した図 4 乃至 6 に示した特性が得られる。また、本発明は、ゲイン K 1 とゲイン K 2 の両者が存在する場合に限定されるものではない。すなわち、共振周波数 f_0' だけを制御する場合にはゲイン K 1 だけを設置すればよく、また減衰係数 だけ

50

を制御する場合にはゲイン K 2 だけを設置すればよい。

【 0 0 6 1 】

本発明の実施の形態 1 乃至 9 では磁石可動形 L O A を例に挙げて説明した。しかし、説明に用いた L O A の構造に限定されるものではなく、鉄心可動形やコイル可動形アクチュエータおよび永久磁石を内蔵しない電磁アクチュエータとばねを組み合わせた L O A であっても良い。さらに、圧電アクチュエータや超磁歪アクチュエータ、静電アクチュエータであってもよい。また、ばねは、板ばねに限定されるものではなく、コイルばねや弾性体を用いたばねなどであってもよい。さらに、ばねと揺動形アクチュエータとを組み合わせた振動アクチュエータであっても良い。インバータ（電流アンプ）27 とインバータ（電圧アンプ）36 は、アナログ方式や P W M 方式などの方式であって、いずれかに限定されるものではない。

10

【 0 0 6 2 】

また、変位センサ 12 は、磁気式、光学式、渦電流式、差動トランス式、静電容量式などの変位センサであり、いずれかに限定されるものではない。また、加速度センサは、歪ゲージ式、半導体式、圧電式などの方式であって、いずれかに限定されるものではない。また、微分器 32、変位変換部 30、変換部 A 39、変換部 B 42 は、プロパーでない伝達関数で示したが、適宜、フィルタを挿入してプロパーとすることで実現可能とすることができる。さらに、本実施例では変位センサ 12 や加速度センサ 34 を用いた実施例について説明したが、可動子 2 の速度を検出して、L O A の運動方程式と回路方程式に基づいて制御系を構成することも可能である。

20

【産業上の利用可能性】

【 0 0 6 3 】

本発明は、パーツフィーダ、リニアコンプレッサ、携帯電話の着信バイブレータ、制振装置などに利用することができる。また、リニア振動発電機にも応用することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 4 】

【図 1】本発明の原理を説明する図である。

【図 2】本発明の実施の形態 1 におけるリニア振動アクチュエータの構造である。

【図 3】本発明の実施の形態 1 における制御ブロックである。

30

【図 4】本発明のリニア振動アクチュエータにおける共振周波数の制御効果である。

【図 5】本発明のリニア振動アクチュエータにおける減衰特性の制御効果である。

【図 6】本発明のリニア振動アクチュエータにおける共振周波数と減衰特性の制御効果である。

【図 7】本発明のリニア振動アクチュエータを利用した円筒状リニア振動アクチュエータの構造である。

【図 8】円筒状リニア振動アクチュエータにおける高効率駆動方法の制御ブロックである。

【図 9】円筒状リニア振動アクチュエータにおけるばね力 - 変位特性である。

【図 10】円筒状リニア振動アクチュエータにおけるゲイン決定手段のフローチャートである。

40

【図 11】円筒状リニア振動アクチュエータにおける効率特性である。

【図 12】本発明のリニア振動アクチュエータを利用したリニア振動発電機の構造である。

【図 13】リニア振動発電機におけるリニア振動発電機の制御ブロックである。

【図 14】リニア振動発電機におけるゲイン決定手段のフローチャートである。

【図 15】本発明の実施の形態 2 における制御ブロックである。

【図 16】本発明の実施の形態 3 における制御ブロックである。

【図 17】本発明の実施の形態 4 における制御ブロックである。

【図 18】本発明の実施の形態 5 における制御ブロックである。

50

- 【図 19】本発明の実施の形態 6 における制御ブロックである。
 【図 20】本発明の実施の形態 7 における制御ブロックである。
 【図 21】本発明の実施の形態 8 における制御ブロックである。
 【図 22】本発明の実施の形態 8 における変位データと速度データテーブルである。
 【図 23】本発明の実施の形態 9 における制御ブロックである。
 【図 24】本発明の実施の形態 9 におけるばね特性および減衰力を示す推力を発生させる信号テーブルである。
 【図 25】従来例のブロック線図である。

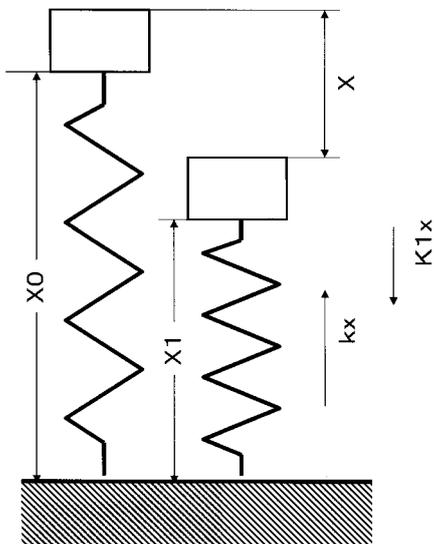
【符号の説明】

【 0 0 6 5 】

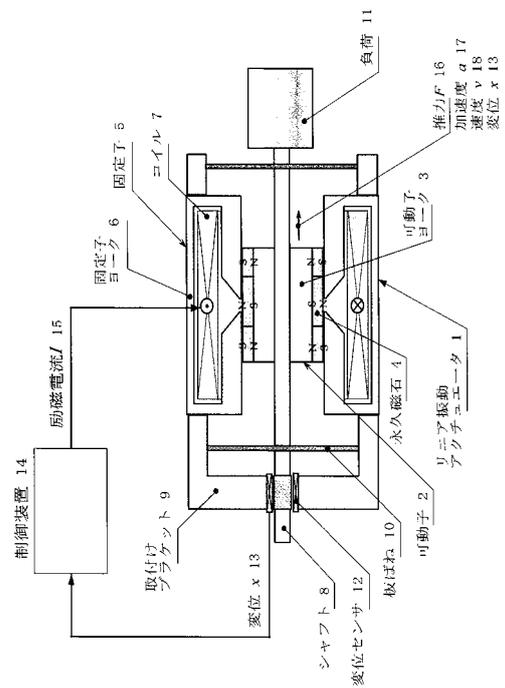
- | | | |
|----|-------------------|----|
| 1 | リニア振動アクチュエータ | |
| 2 | 可動子 | |
| 3 | 可動子ヨーク | |
| 4 | 永久磁石 | |
| 5 | 固定子 | |
| 6 | 固定子ヨーク | |
| 7 | コイル | |
| 8 | シャフト | |
| 9 | 取付けブラケット | |
| 10 | 板ばね | 20 |
| 11 | 負荷 | |
| 12 | 変位センサ | |
| 13 | 変位 | |
| 14 | 制御装置 | |
| 15 | 励磁電流 | |
| 16 | 推力 | |
| 17 | 加速度 | |
| 18 | 速度 | |
| 19 | アンプ (ゲイン K 1) | |
| 20 | 共振周波数可変指令 | 30 |
| 21 | 電流指令 | |
| 22 | 微分器 | |
| 23 | 速度推定値 | |
| 24 | アンプ (ゲイン K 2) | |
| 25 | 減衰定数可変指令 | |
| 26 | 合成電流指令 | |
| 27 | インバータ (電流アンプ) | |
| 28 | 電流検出部 | |
| 29 | 検出電流 | |
| 30 | 変位推定部 | 40 |
| 31 | 電圧検出部 | |
| 32 | 検出電圧 | |
| 33 | 変位推定値 | |
| 34 | 加速度センサ | |
| 35 | 積分器 | |
| 36 | インバータ (電圧アンプ) | |
| 37 | 駆動電圧 | |
| 38 | 速度起電力 | |
| 39 | 変換部 A | |
| 40 | ばね特性を示す推力を発生させる信号 | 50 |

- 4 1 電圧指令
- 4 2 変換部 B
- 4 3 減衰力を示す推力を発生させる信号
- 4 4 合成電圧指令
- 4 5 変位計算部 A
- 4 6 変位計算値
- 4 7 変位計算部 B
- 4 8 変位および速度データテーブル
- 4 9 変位データ
- 5 0 速度データ
- 5 1 ばね特性および減衰力を示す推力を発生させる信号テーブル

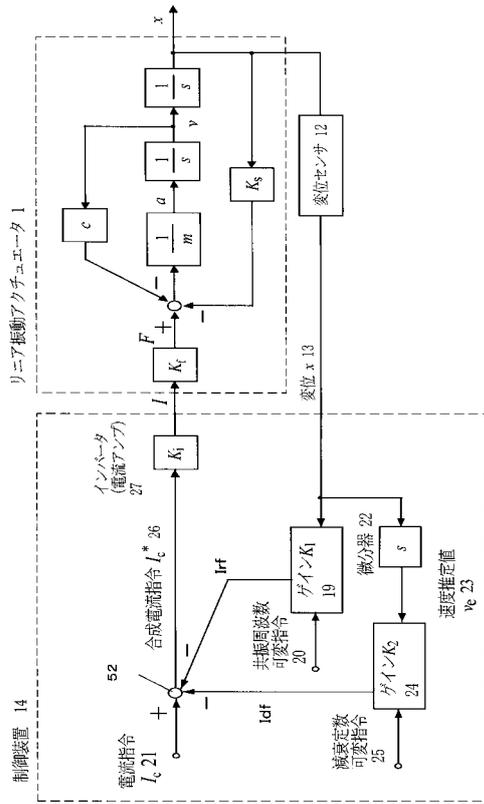
【図 1】



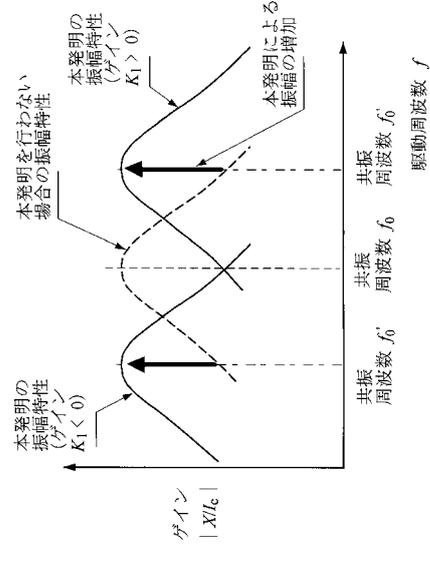
【図 2】



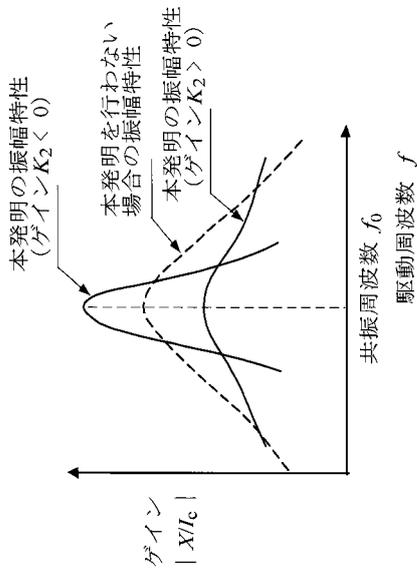
【 図 3 】



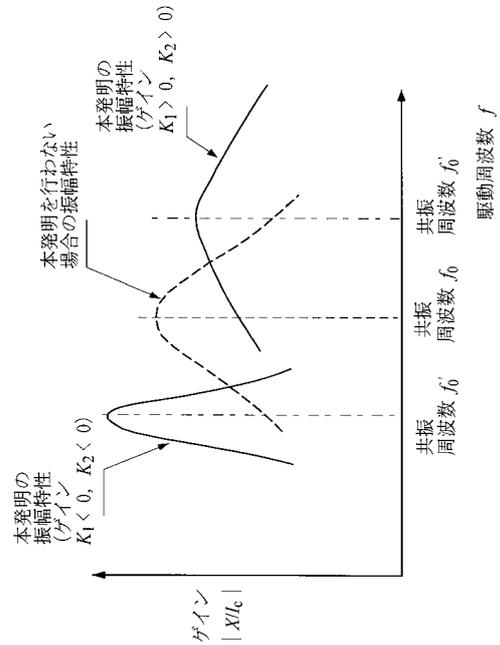
【 図 4 】



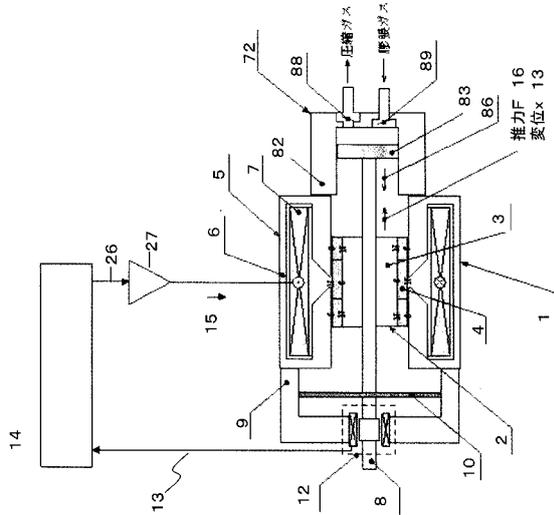
【 図 5 】



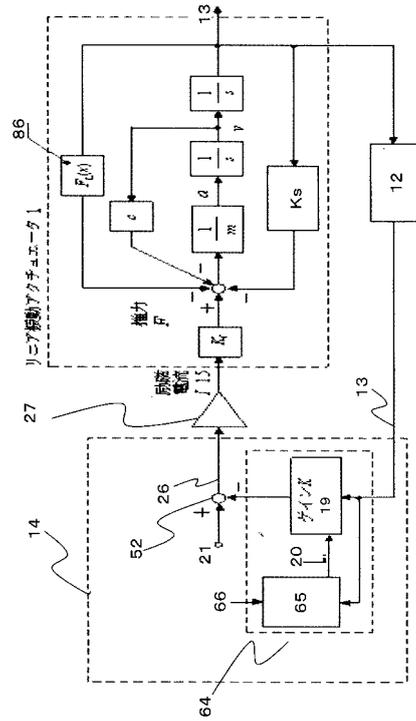
【 図 6 】



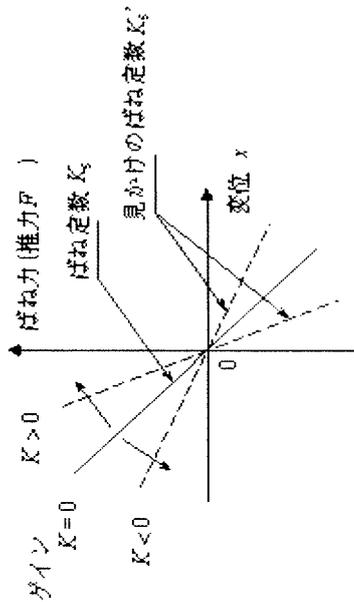
【図7】



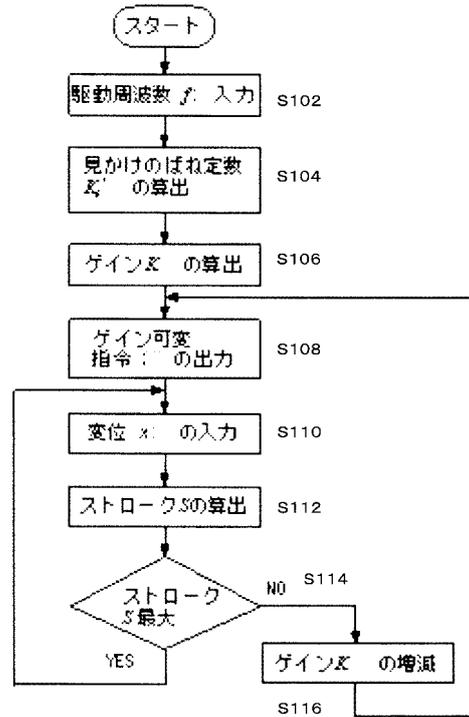
【図8】



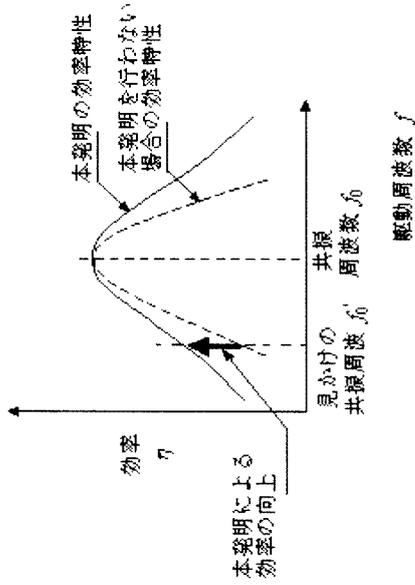
【図9】



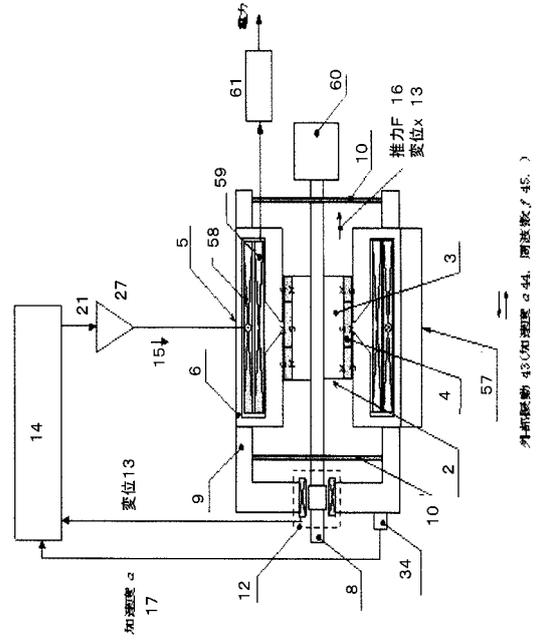
【図10】



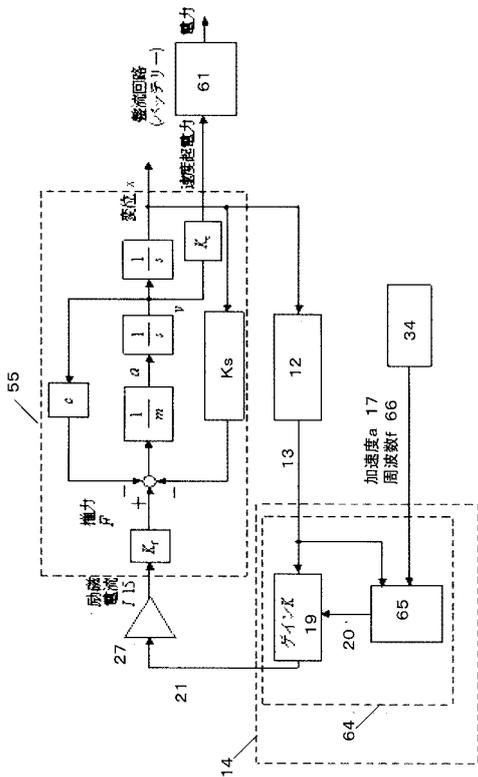
【図11】



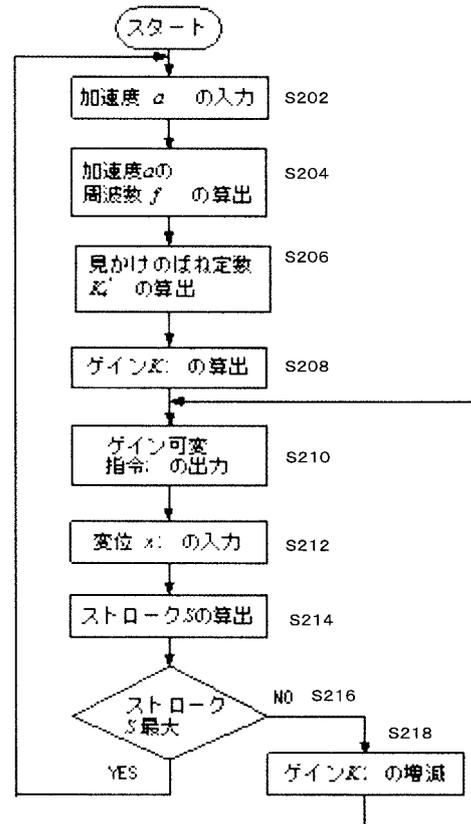
【図12】



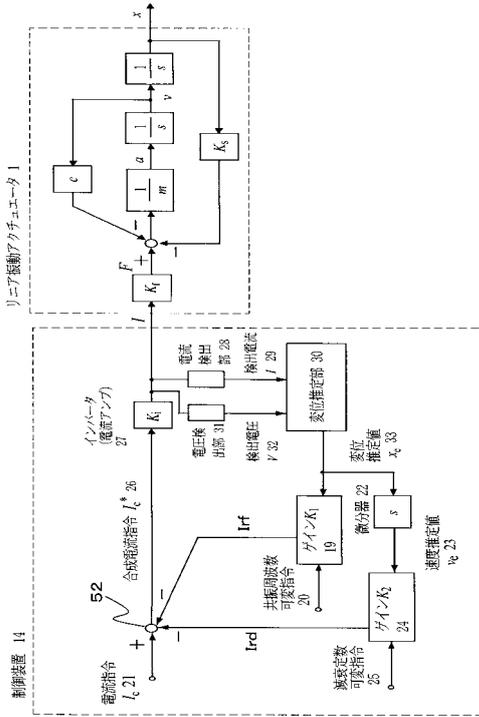
【図13】



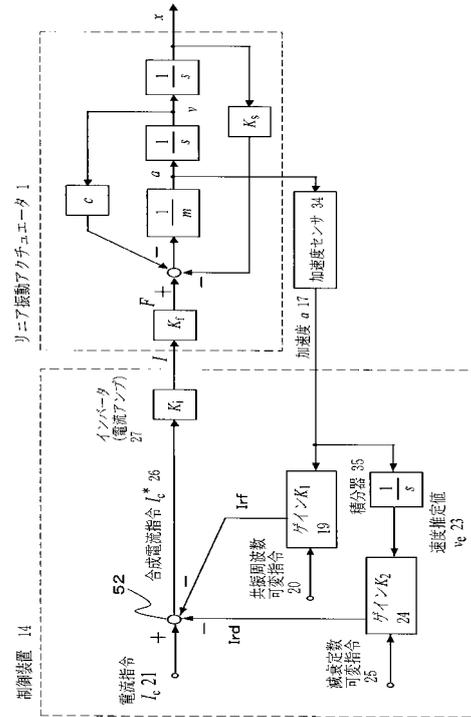
【図14】



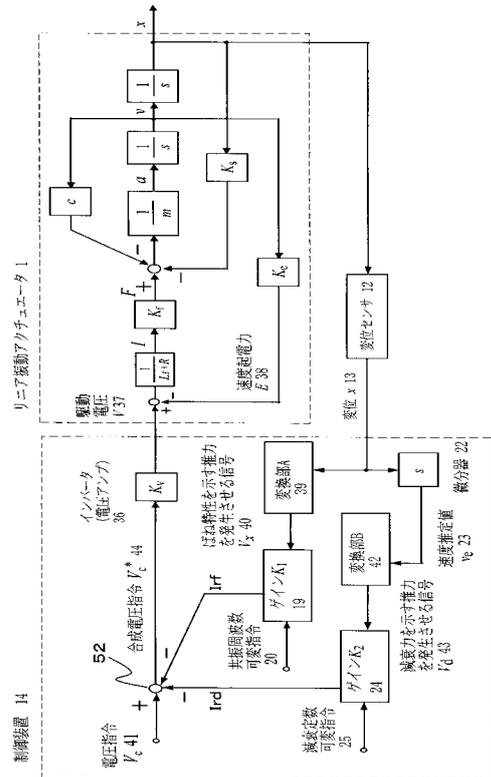
【図15】



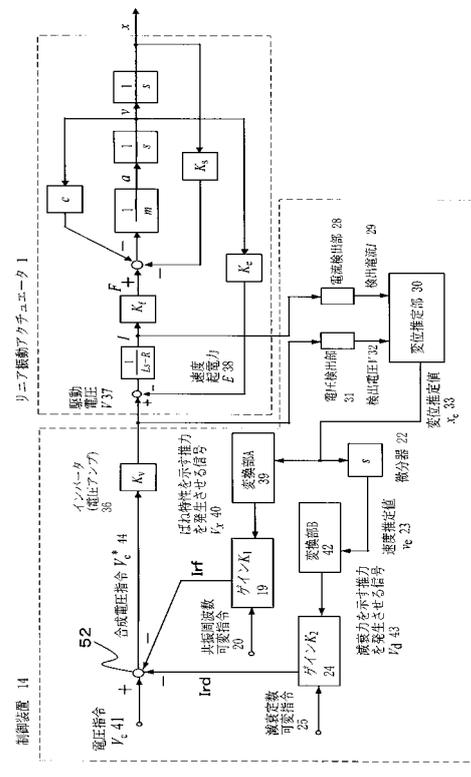
【図16】



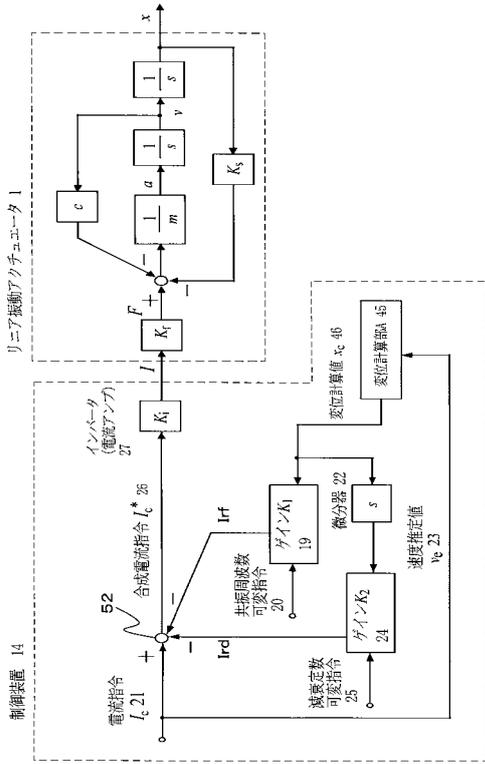
【図17】



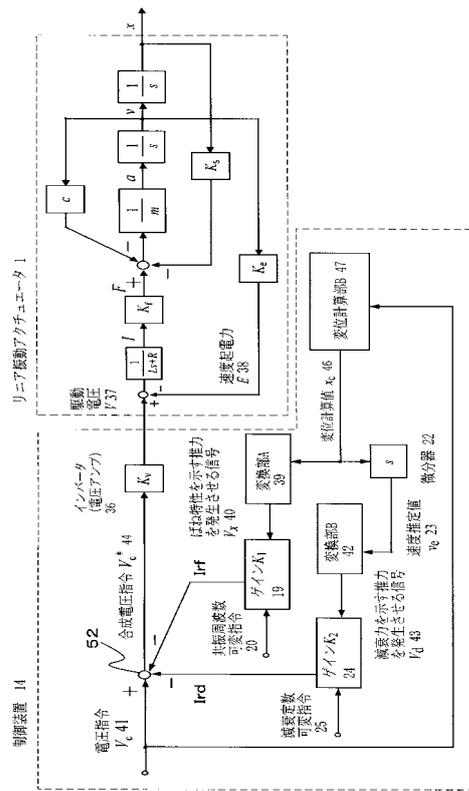
【図18】



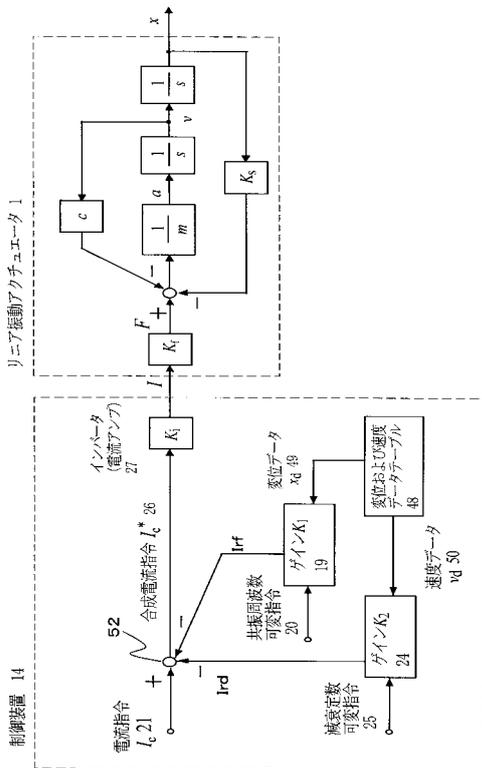
【図 19】



【図 20】



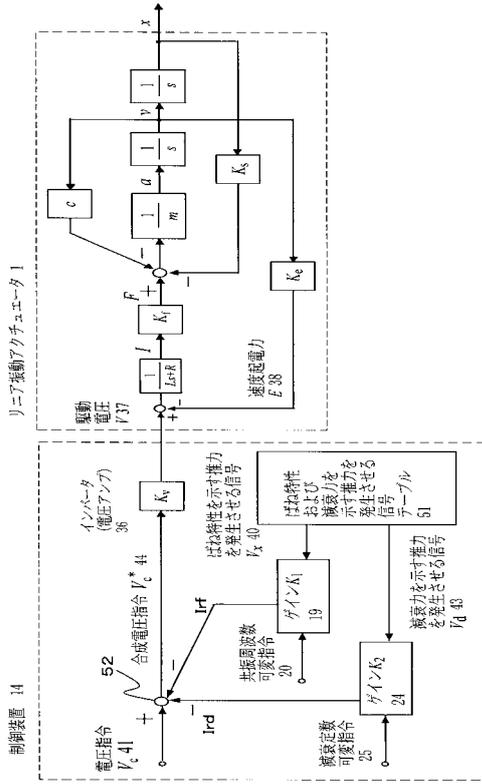
【図 21】



【図 22】

電流指令 I_c 21	変位データ x_d 49	速度データ v_d 50
I_{c1}	x_{d1}	v_{d1}
I_{c2}	x_{d2}	v_{d2}
I_{c3}	x_{d3}	v_{d3}
\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots
I_{cn}	x_{dn}	v_{dn}

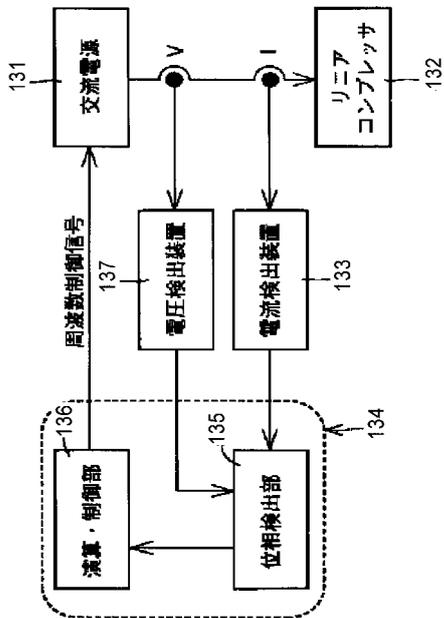
【図 2 3】



【図 2 4】

電圧指令 V_c 41	ばね特性を示す推力を発生させる信号 V_x 40	減衰力を示す推力を発生させる信号 V_d 43
V_{c1}	V_{x1}	V_{d1}
V_{c2}	V_{x2}	V_{d2}
V_{c3}	V_{x3}	V_{d3}
...
V_{cn}	V_{xn}	V_{dn}

【図 2 5】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-339188(JP,A)
特開2001-136767(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P	25/06
B06B	1/04
F04B	35/04
H02K	33/02
H02P	9/00