

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5873075号
(P5873075)

(45) 発行日 平成28年3月1日(2016.3.1)

(24) 登録日 平成28年1月22日(2016.1.22)

(51) Int.Cl. F I
F O 4 B 37/04 (2006.01) F O 4 B 37/04

請求項の数 55 (全 38 頁)

(21) 出願番号	特願2013-508333 (P2013-508333)	(73) 特許権者	508020638
(86) (22) 出願日	平成23年5月5日(2011.5.5)		ワールプール, ソシエダッド アノニマ
(65) 公表番号	特表2013-525688 (P2013-525688A)		ブラジル国, サン パウロ, サン パウロ
(43) 公表日	平成25年6月20日(2013.6.20)		, ブルックリン ノボ-04578-00
(86) 国際出願番号	PCT/BR2011/000131		0, トリジェシモ セグンド アンダール
(87) 国際公開番号	W02011/137501		, アベニダ ダス ナゾンイス ウニダス
(87) 国際公開日	平成23年11月10日(2011.11.10)		, 12.995
審査請求日	平成26年4月16日(2014.4.16)	(73) 特許権者	512286071
(31) 優先権主張番号	P11001388-1		フンダサンウ ウニベルシダーヂ ド エ
(32) 優先日	平成22年5月5日(2010.5.5)		スタド デ サンタ カタリーナ - ウ
(33) 優先権主張国	ブラジル (BR)		デーエエスイセ
			ブラジル国, 88035-001 サンタ
			カタリーナ-フロリアノーポリス, イタコ
			ルピ, アベニダ マードレ ベンベヌータ
			, 2007

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御システム、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法および共鳴リニアコンプレッサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

共鳴リニアコンプレッサ(100)のピストン(1)を制御するための制御システムであって、前記共鳴リニアコンプレッサ(100)は冷却回路の主要部分であり、且つ、少なくとも1個のシリンダ(2)と、少なくとも1個のヘッド(3)と、少なくとも1個の電気モータと、少なくとも1個のスプリングを備え、前記シリンダ(2)は前記ピストン(1)を動作可能に連結して収容する、前記制御システムにおいて、

前記制御システムは、互いに関連する少なくとも1個の観測電子回路(20)と少なくとも1個の制御回路(30)を備える、少なくとも1個の電子制御ユニット(15)を備えることを特徴とし、

前記電子制御ユニット(15)は前記共鳴リニアコンプレッサ(100)の電気モータに電氣的に接続され、

前記観測電子回路(20)は前記共鳴リニアコンプレッサ(100)の電気モータの少なくとも1個の電気量を測定するように構成されており、

前記観測電子回路(20)は前記共鳴リニアコンプレッサ(100)の前記モータの少なくとも1セットの電気パラメータと、前記共鳴リニアコンプレッサ(100)の少なくとも1セットの機械パラメータを推定するように構成され、

前記観測電子回路(20)は、前記測定された電気量と推定された電気および機械パラメータセットとから、前記制御回路(30)のためのシステムの少なくとも1個の制御パラメータ(Pc)を推定し提供するように構成されており、

10

20

前記制御回路(30)は、前記推定された制御パラメータ(Pc)から前記共鳴リニアコンプレッサ(100)の前記電気モータを起動するように構成されており、前記推定された制御パラメータ(Pc)は前記コンプレッサ(100)のピストン(1)の少なくとも1個の最大変位(D_{MAX})を備えることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項2】

請求項1に記載のシステムにおいて、前記推定された制御パラメータ(Pc)はさらに、前記コンプレッサ(100)のピストン速度(v_e(t))を含み、前記制御回路(30)は前記システムの前記推定された制御パラメータ(Pc)から前記共鳴リニアコンプレッサ(100)の前記モータを起動することを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサの

10

【請求項3】

請求項1または2に記載のシステムにおいて、前記電気パラメータのセットは、前記共鳴リニアコンプレッサ(100)の電気数学モデルから計算され、前記共鳴リニアコンプレッサ(100)の電気数学モデルは、電源に直列な電気回路RLに基づいて定義され、且つ、式

【数1】

$$V_{ENT}(t) = V_R(i_e(t)) + V_L(i_e(t)) + V_{MT}(v_e(t))$$

20

によって示され、ここで、

$$V_R(i_e(t)) = R \cdot i_e(t) \quad ; \text{抵抗電圧 [V]}$$

$$V_L(i_e(t)) = L \cdot \frac{di_e(t)}{dt} \quad ; \text{誘導電圧 [V]}$$

$$V_{MT}(v_e(t)) = K_{MT} \cdot v_e(t) \quad ; \text{モータまたはFC EM [V] の誘導電圧 [V]}$$

$$V_{ENT}(t) \quad ; \text{供給電圧 [V]}$$

$$R \quad ; \text{コンプレッサのモータの電気抵抗}$$

$$L \quad ; \text{コンプレッサ(100)のモータのインダクタンス}$$

$$K_{MT} \quad ; \text{モータの力および電圧定数}$$

$$v_e(t) \quad ; \text{計算ピストン速度}$$

$$i_e(t) \quad ; \text{モータの推定または計算電流、}$$

30

をそれぞれ示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項4】

請求項1または2に記載のシステムにおいて、前記機械パラメータのセットは、共鳴リニアコンプレッサ(100)の機械数学モデルから計算され、共鳴リニアコンプレッサ(100)の機械数学モデルは以下の式

40

【数 2】

$$m \cdot \frac{d^2 d_e(t)}{dt^2} = F_{MT}(i_e(t)) - F_{ML}(d_e(t)) - F_{AM}(v_e(t)) - F_G(d_e(t))$$

に従って、質量／スプリング機械システムに基づいて計算され、ここで、

$$F_{MT}(i_e(t)) = K_{MT} \cdot i_e(t) \quad ; \text{モータ力 [N]}$$

$$F_{ML}(d_e(t)) = K_{ML} \cdot d_e(t) \quad ; \text{スプリング力 [N]}$$

$$F_{AM}(v_e(t)) = K_{AM} \cdot v_e(t) \quad ; \text{減衰力 [N]}$$

$$F_G(d_e(t)) \quad ; \text{シリンダ内のガス圧力 [N]}$$

$$K_{MT} \quad ; \text{モータ定数}$$

$$K_{ML} \quad ; \text{スプリング定数}$$

$$K_{AM} \quad ; \text{第 1 減衰定数}$$

$$m \quad ; \text{可動部の質量}$$

$$v_e(t) \quad ; \text{ピストン速度}$$

$$d_e(t) \quad ; \text{ピストン変位}$$

$$i_e(t) \quad ; \text{モータの計算電流、}$$

10

20

をそれぞれ示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 5】

請求項 1 または 2 に記載のシステムにおいて、前記電気パラメータのセットと前記機械パラメータのセットは、結合された場合、以下の行列式

【数 3】

$$\dot{x}(t) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + F \cdot g(t)$$

$$y(t) = C \cdot x(t)$$

によって示される電気機械パラメータのセットを定義し、ここで、

$$x(t) = (v_e(t) \quad d_e(t) \quad i_e(t))^T \quad ; \text{状態ベクトル}$$

$$y(t) = i_e(t) \quad ; \text{システム出力} \quad 10$$

$$u(t) = V_{ENT}(t) \quad ; \text{供給電圧 [V]}$$

$$g(t) = F_G(d(t)) \quad ; \text{シリンダ内のガス圧力 [N]、}$$

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{K_{AM}}{m} & -\frac{K_{ML}}{m} & \frac{K_{MT}}{m} \\ 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_{MT}}{L} & 0 & -\frac{R}{L} \end{pmatrix} \quad ; \text{システムの動的行列} \quad 20$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{L} \end{pmatrix}^T \quad ; \text{供給入力ベクトル}$$

$$F = \begin{pmatrix} \frac{1}{m} & 0 & 0 \end{pmatrix}^T \quad ; \text{圧力入力ベクトル}$$

$$C = (0 \quad 0 \quad 1) \quad ; \text{出力ベクトル}$$

$$K_{MT} \quad ; \text{モータ定数} \quad 30$$

$$K_{ML} \quad ; \text{スプリング定数}$$

$$K_{AM} \quad ; \text{第1減衰定数}$$

$$R \quad ; \text{コンプレッサのモータの電気抵抗}$$

$$L \quad ; \text{コンプレッサ (1 0 0) のモータのインダ}$$

クタンス

$$m \quad ; \text{可動部の質量}$$

$$v_e(t) \quad ; \text{ピストン速度}$$

$$d_e(t) \quad ; \text{ピストン変位} \quad 40$$

$$i_e(t) \quad ; \text{計算モータ電流、}$$

に従う、電気機械的パラメータのセットを定義することを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のシステムにおいて、前記電気機械的パラメータのセットは、共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) の電気機械的数学モデルから計算され、このリニアコンプレッサ (1 0 0) の前記電気機械的数学モデルは前記行列式に基づいて定義され、前記制御システムには、利得ベクトル (K) が乗算された観測器の電流誤差 (i_{e0}) が再度供給され

、前記観測器の電流誤差 (i_{eo}) は測定された電流 (i_m) とモータの計算電流 ($i_e(t)$) との間の差によって計算され、前記測定された電流 (i_m) は、前記共鳴リニアコンプレッサ (100) のモータの動作電流値であり、前記共鳴リニアコンプレッサ (100) の前記電気機械的数学モデルは、以下の式、
【数 4】

$$\begin{aligned} i_{eo}(t) &= i_m(t) - i_e(t) \\ \dot{x}(t) &= A.x(t) + B.u(t) + F.g(t) + K.i_{eo}(t) \\ y(t) &= C.x(t) \end{aligned} \quad 10$$

によって示されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 7】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、共鳴リニアコンプレッサ (100) の前記電気モータは、前記リニアコンプレッサ (100) の各動作サイクル (T_R) において計算された共鳴周波数 (F_R) で、制御ユニット (15) を介して起動されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

20

【請求項 8】

請求項 7 に記載のシステムにおいて、前記動作サイクル (T_R) は測定された電流 (i_m) を介して測定され、且つ前記測定された電流 (i_m) と同じ期間を有するように計算され、前記測定された電流 (i_m) は、前記共鳴リニアコンプレッサ (100) のモータの動作電流値であることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 9】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、前記観測電子回路 (20) は、マイクロプロセッサベースの電子回路から構成されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 10】

30

請求項 7 に記載のシステムにおいて、前記リニアコンプレッサ (100) の前記モータの計算電流 ($i_e(t)$)、ピストン変位 ($d_e(t)$) およびピストン速度 ($V_e(t)$) は、前記共鳴周波数 (F_R) よりも実質的に高い離散化周波数 (F_d) で計算されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 11】

請求項 1、5 および 10 の何れか 1 項に記載のシステムにおいて、前記最大変位 (D_{MAX}) は、1 動作サイクル (T_R) 間における前記ピストン変位 ($d_e(t)$) から計算されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 12】

請求項 7 に記載のシステムにおいて、前記機械パラメータのセットは、各動作サイクル (T_R) において計算されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

40

【請求項 13】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、前記共鳴リニアコンプレッサ (100) の起動は、動作電圧 (u_e) に基づいて計算され、この動作電圧 (u_e) は、最大変位 (D_{MAX}) の計算値およびピストン (1) の変位速度 ($V_e(t)$) の計算値に基づいて計算され、これらの値は状態制御器を介して基準値と比較されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 14】

請求項 6 に記載のシステムにおいて、前記電気機械パラメータのセットは前記シリンダ

50

内のガス圧力 $F_G d(t)$ を含み、このガス圧力 $F_G d(t)$ は、式
【数 5】

$$F_G(t) = K_{AMEq} \cdot v_e(t) + K_{MLEq} \cdot d_e(t) + F_{Cont}$$

によって計算され、ここで、

K_{MLEq} = 第 2 のスプリング定数

K_{AMEq} = 第 2 の減衰定数

F_{Cont} = 等価連続力、

10

をそれぞれ示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 15】

請求項 14 に記載のシステムにおいて、合計スプリング係数 (K_{MLT}) は、スプリング定数と第 2 のスプリング定数の和、

【数 6】

$$K_{MLT} = K_{ML} + K_{MLEq}$$

20

として定義されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム

。

【請求項 16】

請求項 15 に記載のシステムにおいて、前記合計スプリング係数 (K_{MLT}) は、式

【数 7】

$$K_{MLT} = m \cdot 4 \cdot (\pi \cdot F_R)^2$$

30

を通して計算され、ここで

F_R = 共鳴周波数を示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 17】

請求項 4 または 15 に記載のシステムにおいて、スプリング力は、式

【数 8】

$$F_{ML}(d_e(t)) = K_{MLT} \cdot d_e(t)$$

40

を通して計算されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 18】

請求項 14 に記載のシステムにおいて、合計減衰係数 (K_{AMT}) は、減衰係数と第 2 の減衰定数の和、

【数 9】

$$K_{AMT} = K_{AM} + K_{AMEq}$$

として定義されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム

【請求項 19】

請求項 18 に記載のシステムにおいて、前記合計減衰係数 (K_{AMT}) は、

m) 計算された入力電力 (P_e) が、合計減衰 (P_{AMT}) によって消費された電力と消費電力 (P_R) との和よりも大きい場合、合計減衰係数 (K_{AMT}) の値を次の動作サイクル (T_R) まで増加させ、

n) 計算された入力電力 (P_e) が、合計減衰 (P_{AMT}) によって消費された電力と消費電力 (P_R) との和よりも小さい場合、合計減衰係数 (K_{AMT}) の値を次の動作サイクル (T_R) まで減少させることにより、計算されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 20】

請求項 18 に記載のシステムにおいて、前記合計減衰係数 (K_{AMT}) は、式、

【数 10】

$$P_{AMT} = P_E - P_R$$

$$K_{AMT} = \frac{2 \cdot P_{AMT}}{(2 \cdot \pi \cdot F_R \cdot D_{MAX})^2}$$

を通して計算され、ここで、

P_E = 実際の入力電力、

P_R = モータの抵抗において消費された電力

D_{MAX} = 最大ピストン変位、をそれぞれ示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 21】

請求項 4 または 18 に記載のシステムにおいて、減衰力は、式

【数 11】

$$F_{AM}(v_e(t)) = K_{AMT} \cdot v_e(t)$$

を通して計算されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 22】

請求項 5、6、17 および 18 の何れか 1 項に記載のシステムにおいて、前記システムの動的行列式 A は、式、

【数 1 2】

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{K_{AMT}}{m} & -\frac{K_{MLT}}{m} & \frac{K_{MT}}{m} \\ 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_{MT}}{L} & 0 & -\frac{R}{L} \end{pmatrix}$$

を通して計算されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。 10

【請求項 2 3】

請求項 1 5 または 1 8 に記載のシステムにおいて、第 1 の係数行列 (A)、第 2 の係数行列 (B)、第 3 の係数行列 (F) および利得ベクトル (K) は、共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) の 1 動作サイクル (T_R) において、合計スプリング係数 (K_{MLT}) および合計減衰係数 (K_{AMT}) から調整されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。

【請求項 2 4】

請求項 1 4 に記載のシステムにおいて、等価連続力 (F_{Cont}) は、前記電気モータ上の実際の入力電力 (P_e) の関数としてさらに動作サイクル (T_R) の関数として計算されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストン制御システム。 20

【請求項 2 5】

共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法であって、少なくとも 1 個の電気モータを含み、当該電気モータは周波数インバータによって起動される共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) を制御するために、

a) 共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) の各動作サイクル (T_R) において、離散化周波数 (F_d) で、電気モータの測定電流 (i_m) を測定し、

b) 電気モータの測定電流 (i_m) から共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) の動作サイクル (T_R) を計算し、そして、計算された動作サイクル (T_R) に基づいて、共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) の共鳴周波数 (F_R) を計算し、 30

c) 共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) の各動作サイクル (T_R) で、かつ、離散化周波数 (F_d) で、モータの計算電流 (i_e(t))、ピストン変位 (d_e(t)) 及びピストン速度 (V_e(t)) を計算し、

d) 共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) の各動作サイクル (T_R) で、且つ、離散化周波数 (F_d) で、モータの測定電流 (i_m) と計算電流 (i_e(t)) 間の相違によって計算される観測器の電流誤差 (i_{e0}) を計算し、

e) ステップ c) で計算されたピストン変位 (d_e(t)) に基づいて、共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) のピストン (1) の最大変位 (D_{MAX}) を計算し、

f) 測定電流 (i_m) と電気モータのインバータによって印加された動作電圧 (u_c) から、1 動作サイクル (T_R) における電気モータへの実際の入力電力 (P_e) を計算し、 40

g) 測定電流 (i_m) から、1 動作サイクル (T_R) においてモータの電気抵抗 (R) で消費された電力 (P_R) を計算し、

h) 1 動作サイクル (T_R) で生成された合計減衰力 (F_{AMT}) を、合計減衰係数 (K_{AMT}) とステップ c) で計算されたピストン速度 (V_e(t)) から計算し、

i) 先行するステップで計算された合計減衰力 (F_{AMT}) と、ステップ c) で計算されたピストン速度 (V_e(t)) から、合計減衰 (P_{AMT}) によって消費された電力を計算し、

j) ステップ f) において計算された電気モータにおける実際の入力電力 (P_e) の関数として、および、ステップ b) で計算された動作サイクル (T_R) の関数として、 50

等価連続力 (F_{Cont}) を計算し、

k) 最大ピストン変位 (D_{MAX}) およびピストン速度 ($V_e(t)$) から、および測定電流 (i_m) から、リニアコンプレッサ (100) の電気モータに印加される動作電圧値 (u_c) を計算し、さらに、

1) ステップ k) で計算された動作電圧値 (u_c) を共鳴リニアコンプレッサ (100) の電気モータに印加する、各ステップを備える、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 26】

請求項 25 に記載の方法において、ステップ b) で計算された共鳴周波数 (F_R) から、共鳴リニアコンプレッサ (100) の合計スプリング係数 (K_{MLT}) を計算するためのステップを含むことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

10

【請求項 27】

請求項 25 に記載の方法において、合計スプリング係数 (K_{MLT}) は、式

【数 13】

$$K_{MLT} = m \cdot 4 \cdot (\pi \cdot F_R)^2$$

によって計算され、ここで

F_R = 共鳴周波数

20

であることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 28】

請求項 25 に記載の方法において、共鳴リニアコンプレッサ (100) の合計減衰係数 (K_{AMT}) を、実際の入力電力 (P_e) と消費電力 (P_R) と合計減衰 (P_{AMT}) によって消費された電力とから計算するステップをさらに含むことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 29】

請求項 25 に記載の方法において、

m) 計算された入力電力 (P_e) が、合計減衰 (P_{AMT}) によって消費された電力と消費電力 (P_R) の合計よりも大きい場合、合計減衰係数 (K_{AMT}) の値を次の動作サイクル (T_R) に増加させ、

30

n) 計算された入力電力 (P_e) が、合計減衰 (P_{AMT}) によって消費された電力と消費電力 (P_R) の合計よりも小さい場合、合計減衰係数 (K_{AMT}) の値を次の動作サイクル (T_R) に減少させる、各ステップをさらに含むことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 30】

請求項 25 に記載の方法において、前記合計減衰係数 (K_{AMT}) は、式、

【数 14】

$$P_{AMT} = P_E - P_R$$

$$K_{AMT} = \frac{2 \cdot P_{AMT}}{(2 \cdot \pi \cdot F_R \cdot D_{MAX})^2}$$

40

を通して計算されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 31】

請求項 25 乃至 30 のいずれか 1 項に記載の方法において、第 1 の係数行列 (A)、第 2 の係数行列 (B)、第 3 の係数行列 (F) および利得ベクトル (K) は、共鳴リニアコ

50

ンプレッサ (1 0 0) の 1 動作サイクル (T_R) において、合計スプリング係数 (K_{MLT}) および合計減衰係数 (K_{AMT}) から調整されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 3 2】

請求項 2 5 に記載の方法において、前記共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) の電気数学モデルは、電源に直列な電気回路 R L に基づいて定義され、且つ、式

【数 1 5】

$$V_{ENT}(t) = V_R(i_e(t)) + V_L(i_e(t)) + V_{MT}(v_e(t)) \quad 10$$

によって示され、ここで、

$$V_R(i_e(t)) = R \cdot i_e(t) \quad ; \text{抵抗電圧 [V]}$$

$$V_L(i_e(t)) = L \cdot \frac{di_e(t)}{dt} \quad ; \text{誘導電圧 [V]}$$

$$V_{MT}(v_e(t)) = K_{MT} \cdot v_e(t) \quad ; \text{モータまたは FCEM における誘導電圧 [V]}$$

$$V_{ENT}(t) \quad ; \text{供給電圧 [V]}$$

$$R \quad ; \text{コンプレッサモータの電気抵抗} \quad 20$$

$$L \quad ; \text{コンプレッサ (1 0 0) のモータのインダクタンス}$$

$$K_{MT} \quad ; \text{モータの力および電圧定数}$$

$$v_e(t) \quad ; \text{計算ピストン速度}$$

$$i_e(t) \quad ; \text{モータの計算電流、}$$

をそれぞれ示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 3 3】

請求項 2 5 に記載の方法において、リニアコンプレッサ (1 0 0) の機械数学モデルは式

30

【数 1 6】

$$m \cdot \frac{d^2 d_e(t)}{dt^2} = F_{MT}(i_e(t)) - F_{ML}(d_e(t)) - F_{AM}(v_e(t)) - F_G(d_e(t))$$

に従って示される、質量／スプリング機械システムに基づいて計算され、ここで、

$$F_{MT}(i_e(t)) = K_{MT} \cdot i_e(t) \quad ; \text{モータ力 [N]}$$

$$F_{ML}(d_e(t)) = K_{ML} \cdot d_e(t) \quad ; \text{スプリング力 [N]}$$

$$F_{AM}(v_e(t)) = K_{AM} \cdot v_e(t) \quad ; \text{減衰力 [N]}$$

$$F_G(d_e(t)) \quad ; \text{シリンダ内のガス圧力 [N]}$$

$$K_{MT} \quad ; \text{モータ定数}$$

$$K_{ML} \quad ; \text{スプリング定数}$$

$$K_{AM} \quad ; \text{第1減衰定数}$$

$$m \quad ; \text{可動部の質量}$$

$$v_e(t) \quad ; \text{ピストン速度}$$

$$d_e(t) \quad ; \text{ピストン変位}$$

$$i_e(t) \quad ; \text{計算モータ電流、}$$

10

20

をそれぞれ示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 3 4】

請求項 2 5 に記載の方法において、式、

【数 1 7】

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + F \cdot g(t)$$

$$y(t) = C \cdot x(t)$$

30

によって示される電気機械数学モデルを含み、ここで、

$$x(t) = \begin{pmatrix} v_e(t) \\ d_e(t) \\ i_e(t) \end{pmatrix} \quad y_e(t) = i_e(t) \quad u(t) = V_{ENT}(t) \quad g(t) = F_G(t)$$

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{K_{AM}}{m} & -\frac{K_{ML}}{m} & \frac{K_{FMT}}{m} \\ 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_{VMT}}{L} & 0 & -\frac{R}{L} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{pmatrix}, \quad F = \begin{pmatrix} \frac{1}{m} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad C = (0 \ 0 \ 1)$$

40

をそれぞれ示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 3 5】

請求項 2 5 に記載の方法において、共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) の電気機械的数学モデルには、利得ベクトル (K) が乗算された観測器の電流誤差 (i_{e0}) が再度供給され、前記観測器の電流誤差 (i_{e0}) は測定電流 (i_m) とモータの計算電流 (i_e(t)) との間の差によって計算され、共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) の前記電気機械的数学

50

モデルは、以下の式、

【数 1 8】

$$\begin{aligned} i_{eo}(t) &= i_m(t) - i_e(t) \\ \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + F \cdot g(t) + K \cdot i_{eo}(t) \\ y(t) &= C \cdot x(t) \end{aligned}$$

10

によって示されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 3 6】

請求項 3 3 乃至 3 5 の何れか 1 項に記載の方法において、シリンダ内のガス圧力 $F_G(d(t))$ は、式

【数 1 9】

$$F_G(t) = K_{AMEq} \cdot v_e(t) + K_{MLEq} \cdot d_e(t) + F_{Cont}$$

によって計算され、ここで、

K_{MLEq} = 第 2 スプリング定数

K_{AMEq} = 第 2 減衰定数

F_{Cont} = 等価連続力、

をそれぞれ示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 3 7】

請求項 2 7 に記載の方法において、合計減衰係数 (K_{MLT}) は、スプリング定数と第 2 スプリング定数の和として定義され、式

【数 2 0】

$$K_{MLT} = K_{ML} + K_{MLEq}$$

20

30

によって計算されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 3 8】

請求項 3 3 または 3 7 に記載の方法において、スプリング力は、式

【数 2 1】

$$F_{ML}(d_e(t)) = K_{MLT} \cdot d_e(t)$$

40

に従って計算されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 3 9】

請求項 2 5 に記載の方法において、合計減衰係数 (K_{AMT}) は、減衰定数と第 2 の減衰定数の和として定義され、式

【数 2 2】

$$K_{AMT} = K_{AM} + K_{AMEq}$$

に従って計算されることを特徴とする、共鳴リアコンプレッサのピストンの制御方法

【請求項 4 0】

請求項 3 3 または 3 9 に記載の方法において、合計減衰力は式

【数 2 3】

$$F_{AM}(d_e(t)) = K_{AMT} \cdot d_e(t)$$

に従って計算されることを特徴とする、共鳴リアコンプレッサのピストンの制御方法

【請求項 4 1】

請求項 3 3、3 7、3 8 および 3 9 の何れか 1 項に記載の方法において、前記システムの動的行列 (A) は、式

【数 2 4】

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{K_{AMT}}{m} & -\frac{K_{MLT}}{m} & \frac{K_{MT}}{m} \\ 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_{MT}}{L} & 0 & -\frac{R}{L} \end{pmatrix}$$

に従って計算されることを特徴とする、共鳴リアコンプレッサのピストンの制御方法

【請求項 4 2】

請求項 2 5 または 2 9 に記載の方法において、

o) ステップ e) で計算されたピストンの最大変位 (D_{MAX}) をプログラムされた基準変位 (D_{REF}) と比較することによって、第 1 基準電流 (I_{1ref}) を調整し、

p) ステップ c) で計算されたピストン速度 ($V_e(t)$) を、第 1 の調整された基準電流 (I_{1ref}) に掛け合わせることにによって、第 2 の基準電流 (i_{2ref}) を調整し、

q) 第 2 の基準電流 (i_{2ref}) と測定電流 (i_m) 間の相違によって、制御電流誤差 (i_{ce}) を調整し、

r) 先行するステップにおいて計算された制御電流誤差 (i_{ce}) から電気モータの周波数インバータに印加される動作電圧 (u_c) を調整する、各ステップをさらに含むことを特徴とする、共鳴リアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 4 3】

請求項 4 2 に記載の方法において、第 1 の基準電流 (I_{1ref}) は、第 1 の比例および積分状態制御器 (P_{I1}) または微分比例積分状態制御器の出力において生成されることを特徴とする、共鳴リアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 4 4】

請求項 4 2 に記載の方法において、電気モータのインバータに印加される動作電圧 (u_c) は、第 2 の比例および積分状態制御器 (P_{I2}) または微分比例積分状態制御器の出力において生成されることを特徴とする、共鳴リアコンプレッサのピストンの制御方法

10

20

30

40

50

。【請求項 4 5】

周波数インバータによって電氣的に起動される少なくとも 1 個の電気モータを含む、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法において、

i) マイクロプロセッサベースの電子回路と、共鳴リニアコンプレッサ (100) の動作サイクル (T_R) から、離散化周波数で、電気モータの測定電流 (i_m) を測定し、

ii) 測定電流 (i_m) と電気モータのインバータに印加された動作電圧 (u_c) とに基づいて、前記モータの電気パラメータの少なくとも 1 セットと、リニアコンプレッサ (100) の機械パラメータの少なくとも 1 セットとを計算し、

iii) ステップ i) および ii) において測定され計算された値に基づいて、共鳴リニアコンプレッサ (100) の最大変位 (D_{MAX}) とピストン速度 ($V_e(t)$) を計算し、

iv) ステップ iii) で得られた最大変位 (D_{MAX}) とピストン速度 ($V_e(t)$) から、リニアコンプレッサ (100) の電気モータのインバータに印加されるべき動作電圧 (u_c) の新しい値を調整し、さらに、

v) 共鳴リニアコンプレッサ (100) の電気モータのインバータに、ステップ iv) で調整された動作電圧 (u_c) を印加する、各ステップを含むことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 4 6】

請求項 4 5 に記載の方法において、動作電圧 (u_c) の値は共鳴リニアコンプレッサ (100) の 1 動作サイクル (T_R) において計算され、前記動作サイクル (T_R) は共鳴周波数 (R_F) において前記共鳴リニアコンプレッサ (100) の動作を定義することを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 4 7】

請求項 4 5 に記載の方法において、電気パラメータのセットは共鳴リニアコンプレッサ (100) の電気数学モデルから計算されること特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 4 8】

請求項 4 5 に記載の方法において、機械パラメータのセットは共鳴リニアコンプレッサ (100) の機械数学モデルから計算されること特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 4 9】

請求項 4 5 に記載の方法において、共鳴リニアコンプレッサ (100) の数学的電気機械モデルは電気および機械パラメータセットに基づいて定義されること特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 5 0】

請求項 4 5 に記載の方法において、共鳴リニアコンプレッサ (100) の数学的電気モデルは、電源に直列な電気回路 RL に基づいて定義され、式

10

20

30

【数 2 5】

$$V_{ENT}(t) = V_R(i_e(t)) + V_L(i_e(t)) + V_{MT}(v_e(t))$$

によって示され、ここで、

$$V_R(i_e(t)) = R \cdot i_e(t) \quad ; \text{抵抗電圧 [V]}$$

$$V_L(i_e(t)) = L \cdot \frac{di_e(t)}{dt} \quad ; \text{誘導電圧 [V]}$$

$$V_{MT}(v_e(t)) = K_{MT} \cdot v_e(t) \quad ; \text{モータまたはFCEMにおける誘導電圧 [V]}$$

$$V_{ENT}(t) \quad ; \text{供給電圧 [V]}$$

$$R \quad ; \text{コンプレッサモータの電気抵抗}$$

$$L \quad ; \text{コンプレッサ (100) モータのインダクタンス}$$

$$K_{MT} \quad ; \text{モータの力および電圧定数}$$

$$v_e(t) \quad ; \text{計算ピストン速度}$$

$$i_e(t) \quad ; \text{計算モータ電流、}$$

10

20

をそれぞれ示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 5 1】

請求項 4 5 に記載の方法において、リニアコンプレッサ (100) の前記機械数学モデルは、質量 / スプリング機械システムに基づいて定義され、当該システムは、式

【数 2 6】

$$m \cdot \frac{d^2 d_e(t)}{dt^2} = F_{MT}(i_e(t)) - F_{ML}(d_e(t)) - F_{AM}(v_e(t)) - F_G(d_e(t))$$

30

に従って示され、ここで、

$$F_{MT}(i_e(t)) = K_{MT} \cdot i_e(t) \quad ; \text{モータ力 [N]}$$

$$F_{ML}(d_e(t)) = K_{ML} \cdot d_e(t) \quad ; \text{スプリング力 [N]}$$

$$F_{AM}(v_e(t)) = K_{AM} \cdot v_e(t) \quad ; \text{減衰力 [N]}$$

$$F_G(d_e(t)) \quad ; \text{シリンダ内のガス圧力 [N]}$$

$$K_{MT} \quad ; \text{モータ定数}$$

$$K_{ML} \quad ; \text{スプリング定数}$$

$$K_{AM} \quad ; \text{第 1 減衰定数}$$

$$m \quad ; \text{可動部の質量}$$

$$v_e(t) \quad ; \text{ピストン速度}$$

$$d_e(t) \quad ; \text{ピストン変位}$$

$$i_e(t) \quad ; \text{計算モータ電流、}$$

40

をそれぞれ示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

50

【請求項 5 2】

請求項 4 9 に記載の方法において、リニアコンプレッサ (1 0 0) の電気機械的数学モデルは、電気機械システムに基づいて定義され、当該システムは、行列式

【数 2 7】

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + F \cdot g(t) \\ y(t) &= C \cdot x(t) \end{aligned}$$

に従って示され、ここで、

$$x(t) = \begin{pmatrix} v_e(t) \\ d_e(t) \\ i_e(t) \end{pmatrix}, \quad y(t) = i_e(t), \quad u(t) = V_{ENT}(t), \quad g(t) = F_G(t)$$

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{K_{AM}}{m} & -\frac{K_{ML}}{m} & \frac{K_{FMT}}{m} \\ 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_{VMT}}{L} & 0 & -\frac{R}{L} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{pmatrix}, \quad F = \begin{pmatrix} \frac{1}{m} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad C = (0 \ 0 \ 1)$$

10

20

をそれぞれ示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 5 3】

請求項 4 9 に記載の方法において、リニアコンプレッサ (1 0 0) の電気機械的数学モデルには、利得ベクトル (K) を乗算した観測器の電流誤差 (i_{eo}) が再び供給され、当該観測器の電流誤差 (i_{eo}) は測定電流 (i_m) と計算モータ電流 ($i_e(t)$) との間の差によって計算され、共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) の電気機械的数学モデルは、式

【数 2 8】

$$\begin{aligned} i_{eo}(t) &= i_m(t) - i_e(t) \\ \dot{x}(t) &= A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + F \cdot g(t) + K \cdot i_{eo}(t) \\ y(t) &= C \cdot x(t) \end{aligned}$$

30

によって示され、ここで、

$$x(t) = \begin{pmatrix} v_e(t) \\ d_e(t) \\ i_e(t) \end{pmatrix}, \quad y(t) = i_e(t), \quad u(t) = V_{ENT}(t), \quad g(t) = F_G(t)$$

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{K_{AM}}{m} & -\frac{K_{ML}}{m} & \frac{K_{FMT}}{m} \\ 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_{VMT}}{L} & 0 & -\frac{R}{L} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{pmatrix}, \quad F = \begin{pmatrix} \frac{1}{m} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

40

を、それぞれ示すことを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法。

【請求項 5 4】

請求項 5 1 乃至 5 3 の何れか 1 項に記載の方法において、前記シリンダ内のガス - 圧力 $F_G(d(t))$ は、式

【数 2 9】

$$F_G(t) = K_{AMEq} \cdot v_e(t) + K_{MLEq} \cdot d_e(t) + F_{Cont}$$

によって計算されることを特徴とする、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法

【請求項 5 5】

請求項 2 5 乃至 5 3 の何れか 1 項または請求項 4 5 乃至 5 4 の何れか 1 項に記載の方法において定義されるピストンの制御方法を含む、共鳴リニアコンプレッサ (1 0 0) 。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本発明は、特に最大効率で動作するように設計された、共鳴リニアコンプレッサのピストンのための制御システムに関し、このようなシステムでは、機械的数量即ち変数を測定するセンサを用いることなく、コンプレッサを起動することが可能である。

本発明はさらに、共鳴リニアコンプレッサのピストンの制御方法に関し、その制御ステップは、コンプレッサモータを効率的に制御するために、このピストンの速度および変位の推定を可能とする。

さらに本発明は、特許請求の範囲において提案するように、制御システムを備えた共鳴リニアコンプレッサに関する。

20

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

オルタネートピストンコンプレッサは、低圧側、即ち吸引または蒸発圧力側のガスが吸引バルブを通してシリンダ内に入るように、シリンダ内のガスをピストンの軸方向の動きを通して圧縮することによって、圧力を生成する。このガスは次にピストンの動きによってシリンダ内で圧縮され、圧縮された後、排出バルブを通してそのシリンダから出て、高圧側、即ち排出圧力または圧縮側に向う。

【 0 0 0 3 】

特に共鳴リニアコンプレッサにおいて、ピストンはリニアアクチュエータによって起動され、このリニアアクチュエータは、支持体および 1 個またはそれ以上のコイルによって起動される磁石によって形成される。リニアコンプレッサはさらに 1 個またはそれ以上のスプリングを備えており、このスプリングは可動部 (ピストン、支持磁石) を固定部に接続する。固定部はシリンダ、ステータ、コイルヘッドおよびフレームによって形成される。可動部とスプリングはコンプレッサの共鳴アセンブリを形成する。

30

【 0 0 0 4 】

リニアモータによって駆動されるこのような共鳴アセンブリは線形の交互運動を展開する機能を備え、これにより、ガスが排出バルブを介して高圧側に排出される限りにおいて、シリンダ内のピストンの動きが排出バルブを介して運ばれたガスに圧縮行動を発揮するようにしている。

40

【 0 0 0 5 】

リニアコンプレッサの動作振幅は、モータによって生成された電力と、このプロセスにおいて生成された損失に加えて圧縮機構によって消費される電力とのバランスによって、調節される。最大の熱力学的効率と最大の冷却能力を達成するために、ピストンの最大変位は、ストロークの終端に可能な限り接近するべきであり、それによって圧縮プロセスにおけるガスの死容積 (デッドボリューム) を削減する。

【 0 0 0 6 】

このプロセスを実現するために、ピストンのストロークを非常に高い精度で知って、機器ヘッド上のストロークの終端におけるピストン衝撃のリスクを防止することが必要である。この衝撃は、音響ノイズ、装置の効率損失あるいはコンプレッサの破損を生成するこ

50

とがある。

【0007】

このように、ピストン力の推定/測定における誤差が大きくなれば成る程、コンプレッサを安全に動作させるために最大変位とストロークエンド間に必要とされる安全係数が大きくなり、その結果、製品の性能損失を招く。

【0008】

一方、冷却システムの使用の必要性が小さいためにコンプレッサの冷却能力を削減する必要性があれば、最大のピストン動作ストロークを減少させてコンプレッサによって供給されるパワーを削減することが可能であり、かつ、コンプレッサの冷却容量を制御することが可能で、それにより変動容量を獲得する。

10

【0009】

共鳴リニアコンプレッサを動作させるに当たっての重要な更なる特徴は、その起動周波数である。2、3の従来技術が、コンプレッサをその共鳴周波数で起動することで、最大の効率で機器を動作させることができることを示している。

【0010】

しかしながら、このような技術は通常、システムを動作させるためにピストンおよび/または速度センサを使用しており、その結果、製品の最終的なコストをかなり増加させる。

【0011】

以降、コンプレッサ - ピストンストロークを知るために現在使用されている、従来技術による解決方法を簡単に説明する。以下に引用されている文献、例えばブラジルケースPI0001404-4では、位置センサを使用している。この文献はさらに、遮蔽の困難さと電気接触ノイズと言う不利益を有している。

20

【0012】

文献PI0203724-6は、液体ポンプおよび液体移動プレートに関係している。このような要素は、個々のピストンの位置を検出し、コンプレッサの動作状態における変動或いは供給電圧における変動によって、ピストンが液体移動プレート又はバルブプレートによって冷却されることを防止するために、リニアコンプレッサに特に適用される。このような技術は、ピストンのトップにおけるピストン/プレート距離を直接測定するために、バルブプレート上にマウントされた誘導センサを使用する。これは、高精度の解決方法であるが、しかし、バルブプレート上にセンサを設置する空間を必要とし、且つ、較正を必要とするのに加えてさらに高価である。

30

【0013】

文献US5,897,296、JP1336661およびUS5,897,269に記載されているもの等の、その他の従来技術による解決方法では、位置センサを使用している。従って、このような応用では、さらに高いコストに加えて、実施および/または保守におけるより大きな困難性を有する。これらの場合には、多数のワイヤおよびコンプレッサへの外部接続が必要となり、温度および気圧が大きく変化する環境下での使用を困難にしていることが指摘される。

【0014】

一方、文献KR96-79125、KR96-15062、WO00079671およびWO03044365に加えて文献US5,342,176、US5,496,153、US4,642,547およびUS6,176,683のような、位置センサを使用しない幾つかの従来技術では、優れた正確性または動作安定性を示さない。この理由によって、正しく機能させるための性能要求を考慮してコンプレッサのためのより高価なサイズに加えて、例えば衝撃を検出するための温度計または加速度計のような他のタイプのセンサを使用することが必要である。

40

【0015】

上記事項に基づいて、本発明は、機械的数量または変量を測定するセンサを使用することなく、コンプレッサをその最大の効率で起動するように特に設計された、共鳴リニアコ

50

ンプレッサを制御するためのシステムおよび方法を、予見する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

本発明の第1の目的は、冷却システムにおいて機器の最大効率を得るためにコンプレッサを共鳴周波数で起動することが可能な、共鳴リニアコンプレッサのピストンを制御するための制御システムを提供することである。

【0017】

本発明の第2の目的は、共鳴リニアコンプレッサのピストンの変位と速度を、コンプレッサモータの質量/スプリングモデルと電気モデルから、このモータ上で測定された電気数量のみを用いて推定することが可能な方法を提供することである。

10

【0018】

本発明の第3の目的は、通常機械的数量または変量を測定するための、例えば位置、速度、温度および圧力センサのようなセンサを取り除き、さらに、共鳴リニアコンプレッサを機能させるために必要なワイヤ数および接続数におけるその後の削減によって、コンプレッサのコストを削減することである。

【0019】

本発明の更なる目的は、製品の信頼性および安全性を減じることなくコンプレッサの最大効率を得ることに加えて、機器の機能を最適化するために、ピストンの最大変位とストロークエンドとの間の安全性係数を減少させた共鳴リニアコンプレッサの起動を提供することである。

20

【0020】

最後に、本発明の他の目的は、大量生産のための従来技術に関して、実質的に簡単な解決方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0021】

本発明の目的を達成する一つの方法は、共鳴リニアコンプレッサのピストンを制御するための制御システムを提供することである。この共鳴リニアコンプレッサは冷却回路の不可欠部分であり、少なくとも1個のシリンダと、少なくとも1個のコンプレッサヘッドと、少なくとも1個の電気モータと少なくとも1個のスプリングを備え、このシリンダはピストンを連結的に収納し、制御システムは、少なくとも1個の電子制御ユニットを備え、この電子制御ユニットは互いに電氣的に関連した少なくとも1個の観察用電子回路と少なくとも1個の制御回路を備え、この電子制御ユニットは共鳴リニアコンプレッサの電気モータに電氣的に関連しており、観察用電子回路は共鳴リニアコンプレッサの電気モータの少なくとも1個の電気量を測定するように構成されており、観察用電子回路は共鳴リニアコンプレッサの少なくとも1セットの電氣的パラメータと共鳴リニアコンプレッサの少なくとも1セットの機械的パラメータを推定するように構成されており、観察用電子回路は、測定電気量および推定電気および機械パラメータセットから、制御回路のシステムの少なくとも1個の制御パラメータを推定し提供するように構成されており、制御回路は推定制御パラメータから共鳴リニアコンプレッサの電気モータを起動するように構成されており、推定制御パラメータはコンプレッサピストンの少なくとも1個の最大変位を含み、制御回路は推定制御パラメータから共鳴リニアコンプレッサのモータを起動する。

30

40

【0022】

本発明の目的を達成する第2の方法は、共鳴リニアコンプレッサのピストンを制御するための制御方法を提供することである。この共鳴リニアコンプレッサは少なくとも1個の電気モータを備え、この電気モータは周波数インバータによって起動され、この制御は以下のステップを備える。

a) 共鳴リニアコンプレッサの各動作サイクルにおいて、離散化周波数で、電気モータの測定電流を測定し、

b) 電気モータの測定電流から共鳴リニアコンプレッサの動作サイクルを計算し、

50

そして、計算された動作サイクルに基づいて、共鳴リニアコンプレッサの共鳴周波数を計算し、

c) 共鳴リニアコンプレッサの各動作サイクルで、離散化周波数で、モータの計算電流、ピストン変位及びピストン速度を計算し、

d) 共鳴リニアコンプレッサの各動作サイクルで、離散化周波数で、モータの測定電流と計算電流間の相違によって計算される電流誤差を計算し、

e) ステップc)で計算されたピストン変位に基づいて、共鳴リニアコンプレッサの1動作サイクルにおける最大ピストン変位を計算し、

f) 測定電流と電気モータのインバータによって印加された動作電圧から、1動作サイクル中の電気モータの実際の入力電力を計算し、

g) 測定電流から、1動作サイクル中のモータの電気抵抗において消費された電力を計算し、

h) ステップc)で計算されたピストン速度から合計減衰力を計算し、

i) 先行するステップに計算された合計減衰力から、および、ステップc)で計算されたピストン速度から、合計減衰によって消費された電力を計算し、

j) ステップf)において計算された電気モータにおける実際の入力電力の関数として、および、ステップb)で計算された動作サイクルの関数として、等価連続力を計算し、

k) 最大ピストン変位および速度からおよび測定電流から、リニアコンプレッサの電気モータ上に印加されるべき動作 - 電圧値を計算し、さらに、

l) ステップk)で計算された動作 - 電圧値を共鳴リニアコンプレッサ電気モータに印加する、各ステップ。

【0023】

上述の方法はさらに、ステップb)で計算された共鳴周波数と、パワーバランスから計算された共鳴リニアコンプレッサの合計減衰係数から、共鳴リニアコンプレッサの合計スプリング係数を計算するステップを備えることに言及する必要がある。

【0024】

他の実施形態において、本発明の目的は、共鳴リニアコンプレッサのピストンを制御するための制御方法を提供することによって達成される。この共鳴リニアコンプレッサは、少なくとも1個の電気モータを含み、この電気モータは周波数インバータによって電氣的に起動されるものであり、さらに、この制御方法は以下のステップを備える。

i) マイクロプロセッサベースの電子回路からかつ共鳴リニアコンプレッサの1動作サイクルにおいて、電気モータの測定電流を測定し、

ii) 測定電流と電気モータのインバータに印加された動作電圧とに基づいて、モータの少なくとも1セットの電気パラメータとリニアコンプレッサの少なくとも1セットの機械的パラメータとを計算し、

iii) ステップi)およびii)において測定され計算された値に基づいて、共鳴リニアコンプレッサのピストンの最大変位と速度を計算し、

iv) ステップiii)で獲得されたピストンの最大変位と速度から、リニアコンプレッサの電気モータのインバータに印加すべき動作電圧に対する新しい値を調整し、さらに、

v) 共鳴リニアコンプレッサの電気モータのインバータにステップiv)で調整された動作電圧を印加する、各ステップ。

【0025】

最後に、本発明の目的は、特許請求の範囲において定義するピストン - 制御方法を備えた共鳴リニアコンプレッサを提供することによって達成される。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】共鳴リニアコンプレッサの概略図を示す図。

【図2】本発明に使用される共鳴リニアコンプレッサの機械モデルの概略図。

10

20

30

40

50

【図 3】本発明の共鳴リニアコンプレッサの電気モデルの概略図。

【図 4】共鳴リニアコンプレッサのモデルのブロック図。

【図 5】本発明の共鳴リニアコンプレッサの状態観測器のモデルのブロック図。

【図 6】本発明に係る制御を簡略化したブロック図。

【図 7】本発明の制御およびインバータのブロック図。

【図 8】本発明の好ましい実施形態に係る、電流および速度の値を使用したピストン制御システムのブロック図。

【図 9】本発明の第 2 の実施形態における、電圧および周波数の値を使用するピストン制御システムのブロック図。

【図 10】本発明で予見されるステップに従った制御方法のフローチャート。

10

【図 11】本発明のリニアコンプレッサにおいて測定された電流のプロファイルを、他の数量から切り離れたグラフ。

【図 12】ガス圧力のグラフ。

【図 13】等価スプリング力、等価減衰力および等価連続力（オフセット）のグラフ。

【図 14】本発明に係る合成力（3 個の等価力の合計）のグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0027】

図 1 は、本発明において使用される共鳴リニアコンプレッサ 100 の概略図を示す。このような一つの機器において、ピストンは、支持体 4 と、1 個またはそれ以上のコイル 6 によって起動される磁石 5 とによって形成される、リニアアクチュエータによって起動される。この図は、さらに、1 個またはそれ以上のスプリング 7 a および 7 b が可動部分（ピストン 1、支持体 4 および磁石 5）を、シリンダ 2、ステータ 12、コイル 6、ヘッド 3 およびフレーム 13 によって形成される固定部分に接続することを示している。この可動部分とスプリングは本コンプレッサ 100 の共鳴アセンブリを形成する。

20

【0028】

このように、リニアモータによって起動された共鳴アセンブリは、直線的な（リニア）交互運動を展開する機能を備え、シリンダ内のピストンの運動によってガス圧縮力を生じさせる。このガス圧縮力は、吸引バルブ 3 a を介して導入されたガスを、それが排出バルブ 3 b を介して高圧側に排出されるようになるまで、圧縮する。

【0029】

30

リニアコンプレッサ 100 の動作振幅は、このプロセスによって生成される損失に加えて、モータによって生成されるパワーと圧縮機構によって消費されるパワーのバランスによって調整される。最大の熱力学的効率と最大の冷却能力を達成するためには、ピストンの変位がそのエンドストロークに可能な限り接近して、圧縮プロセスにおけるガスのデッドボリュームを減少させねばならない。

【0030】

このプロセスを可能とするために、ピストンのストロークを正確に知って、エンドストローク（ヘッド）におけるピストンの衝撃のリスクを避けることが必要である。何故なら、この衝撃は音響ノイズと効率損失を生じ、さらにはコンプレッサを破壊することがあるために。このように、ピストン位置の推定 / 測定誤差が大きくなれば成る程、コンプレッサを安全に動作させるために最大変位とエンドストローク間に必要とされる安全係数が大きくなり、これは最終機器の性能損失に繋がる。

40

【0031】

上述の問題に対して、本発明は、コンプレッサの多くの機能パラメータから簡易化されかつ効率的な方法でピストンの速度と変位を正確に推定することが可能な、リニアコンプレッサのピストンを制御するためのシステムおよび方法を提供する。このようなコンプレッサは冷却回路の不可欠な部分であり、既に述べたように、このコンプレッサは、シリンダ 2 がピストン 1 を連結的（動作可能）に収容するように、少なくとも 1 個のスプリング 7 a / 7 b に加えて、少なくとも 1 個のシリンダ 2 と、少なくとも 1 個のヘッド 3 と、少なくとも 1 個の電気モータとを備えている。

50

【 0 0 3 2 】

本発明に従って現在提案されている制御システムは、少なくとも1個の電子制御ユニット15を備え、このユニットは互いに関連する少なくとも1個の観測電子回路20と少なくとも1個の制御回路30によって形成されている。電子制御ユニット15は、共鳴リニアコンプレッサ100の電気モータに電氣的に結合されている。

【 0 0 3 3 】

図6は、本発明の制御システムのための簡略化されたブロック図を示す。

【 0 0 3 4 】

一般に、観測電子回路20は共鳴リニアコンプレッサ100の電気モータの少なくとも1個の電氣量を測定するように構成されているが、この観測回路20は共鳴リニアコンプレッサ100の少なくとも1セットの電氣パラメータと共鳴リニアコンプレッサ100の少なくとも1セットの機械パラメータを推定するように構成されている。

10

【 0 0 3 5 】

観測電子回路20は、マイクロプロセッサベースの電子回路またはその等価物から構成され実現されることが好ましい。

【 0 0 3 6 】

図6から図10は、電氣的および機械的パラメータを推定するためのブロック図を示す。言い換えると、観測電子回路20は、測定した電氣量および電氣的および機械的パラメータセットから、制御回路30のために、少なくとも1個のシステムの制御パラメータ P_c を推定しかつ提供するように構成されている。

20

【 0 0 3 7 】

制御回路30は次に、推定された制御パラメータ P_c から、共鳴リニアコンプレッサ100の電気モータを起動するように構成されている。このような推定制御パラメータ P_c は、コンプレッサ100のピストン1の少なくとも1個の最大変位 D_{max} を含んでいる。

【 0 0 3 8 】

制御パラメータ P_c はさらにコンプレッサ100のピストン速度 $V_e(t)$ を含んでいることが好ましく、それによって、ピストン速度 $V_e(t)$ と推定最大変位 D_{max} から制御回路30が共鳴リニアコンプレッサ100のモータを起動させる。

【 0 0 3 9 】

さらに好ましくは、測定電氣量は、動作電流値 i_{m1} または共鳴リニアコンプレッサ100の単純に測定された電流 i_m から構成されている。

30

【 0 0 4 0 】

本制御システムの非常に革新的な特徴は、リニアコンプレッサ100の電氣的および機械的モデルから形成された、提案した数学的モデリングプロセスを参照する。

【 0 0 4 1 】

図2は、リニアコンプレッサ100の機械的モデルを示し、一方、図3は同じ機器の電氣的モデルを示す。

【 0 0 4 2 】

より詳細には、電氣パラメータセットは共鳴リニアコンプレッサ100の電氣数学モデルから計算され、このようなモデルは、以下の方程式に従って、電源に直列なRL電氣素子に基づいて定義される。

40

【数 1】

$$V_{ENT}(t) = V_R(i_e(t)) + V_L(i_e(t)) + V_{MT}(v_e(t)) \quad (1)$$

ここで、

$$V_R(i_e(t)) = R \cdot i_e(t) \quad ; \text{ 抵抗電圧 [V] ;}$$

$$V_L(i_e(t)) = L \cdot \frac{di_e(t)}{dt} \quad ; \text{ 誘導電圧 [V] ;} \quad 10$$

$$V_{MT}(v_e(t)) = K_{MT} \cdot v_e(t) \quad ; \text{ モータまたはFC EM [V] の誘導電圧 [V] ;}$$

$$V_{ENT}(t) \quad ; \text{ 供給電圧 [V]}$$

$$R \quad ; \text{ コンプレッサのモータの電気抵抗}$$

$$L \quad ; \text{ コンプレッサ (100) のモータのインダクタンス}$$

$$K_{MT} \quad ; \text{ モータの力および電圧定数}$$

$$v_e(t) \quad ; \text{ 計算ピストン速度} \quad 20$$

$$i_e(t) \quad ; \text{ モータの推定または計算電流、をそれぞれ示す。}$$

【0043】

コンプレッサの機械モデルに関して、このモデルが以下の方程式に従って質量/スプリング機械システムに基づいて定義できるように、セットオフ機械パラメータを共鳴リニアコンプレッサ100の機械数学モデルから計算する。

【数 2】

$$m \cdot \frac{d^2 d_e(t)}{dt^2} = F_{MT}(i_e(t)) - F_{ML}(d_e(t)) - F_{AM}(v_e(t)) - F_G(d_e(t)) \quad (2)$$

ここで、

$F_{MT}(i_e(t)) = K_{MT} \cdot i_e(t)$; モータカ [N]	
$F_{ML}(d_e(t)) = K_{ML} \cdot d_e(t)$; スプリングカ [N]	10
$F_{AM}(v_e(t)) = K_{AM} \cdot v_e(t)$; 減衰力 [N]	
$F_G(d_e(t))$; シリンダ内のガス圧力 [N]	
K_{MT}	; モータ定数	
K_{ML}	; スプリング定数	
K_{AM}	; 第1減衰定数	20
m	; 可動部の質量	
$d_e(t)$; コンプレッサのピストンの計算変位、をそれぞれ示す。	

【0044】

より包括的な方法においてかつ本発明に従って、電気パラメータセットと機械パラメータセットが、それらが組み合わされた場合、電気機械的パラメータセットを定義することが可能である。この電気機械パラメータは、以下の方程式に従った行列式を有する。

【数3】

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + F \cdot g(t) \\ y(t) &= C \cdot x(t) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、

$$x(t) = (v_e(t) \quad d_e(t) \quad i_e(t))^T \quad ; \text{状態ベクトル} \quad 10$$

$$y(t) = i_e(t) \quad ; \text{システム出力} \quad 10$$

$$u(t) = V_{ENT}(t) \quad ; \text{供給電圧 [V]}$$

$$g(t) = F_G(d(t)) \quad ; \text{シリンダ内のガス圧力 [N]、}$$

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{K_{AM}}{m} & -\frac{K_{ML}}{m} & \frac{K_{MT}}{m} \\ 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_{MT}}{L} & 0 & -\frac{R}{L} \end{pmatrix} \quad ; \text{システムの動的行列} \quad 20$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{L} \end{pmatrix}^T \quad ; \text{供給入力ベクトル}$$

$$F = \begin{pmatrix} \frac{1}{m} & 0 & 0 \end{pmatrix}^T \quad ; \text{圧力入力ベクトル}$$

$$C = (0 \quad 0 \quad 1) \quad ; \text{出力ベクトル}$$

$$K_{MT} \quad ; \text{モータ定数} \quad 30$$

$$K_{ML} \quad ; \text{スプリング定数}$$

$$K_{AM} \quad ; \text{第1減衰定数}$$

$$R \quad ; \text{コンプレッサの電気抵抗}$$

$$L \quad ; \text{コンプレッサ (1 0 0) のモータのインダクタンス}$$

クタンズ

$$m \quad ; \text{可動部の質量}$$

$$d_e(t) \quad ; \text{コンプレッサのピストンの計算変位} \quad 40$$

$$v_e(t) \quad ; \text{計算ピストン速度}$$

$$i_e(t) \quad ; \text{モータ電流、をそれぞれ示す。}$$

【0045】

本発明において提案された行列式に基づいて、さらに図4のブロック図に示すように、システムの出力はコンプレッサ100のモータの電流のみである。何故なら、展開されたモデル化は、電気量の測定のみを考慮に入れているので。

【0046】

上述の行列式のガス圧力 $F_G(d(t))$ は、図12に示すように、システムの他のリ 50

ニアおよびノンリニア量の中で、ピストン 1 の変位と同様、吸気圧と排気圧と共に変化する事、即ち、本発明の目的において提案されているモデル化においてその適用を正当化する事、さもなければ、重大な誤差によって、リニアコンプレッサ 100 を制御するに当たって望ましくない影響が生成される、ことを指摘しておく必要がある。

【0047】

従って、ガス圧力は機器内に少なくとも 3 つの重要な影響をもたらすので、本発明では、システム中に生成されたこの影響をガス圧力によって補償（相殺）している。これら 3 つの影響とは、

- 1) 共鳴周波数における変化、
- 2) ガスに伝搬されるエネルギー消費、および
- 3) ピストンの 1 振動の中間点の変位（変位におけるオフセット（ずれ））、で

ある。

【0048】

上述の影響を克服するために、本発明は、ガス圧力 $F_G(d(t))$ を、この圧力の影響を相殺する別の 3 つの線形力、即ち、図 13 および 14 に示すように、等価スプリング力、等価減衰力および等価連続力、によって置き換える。

【0049】

次の方程式はガス圧力とその各減衰力の計算を示している。

【数 4】

$$F_G(t) = K_{AMEq} \cdot Vd + K_{MLEq} \cdot d + F_{Cont} \quad (4)$$

【0050】

等価スプリング力は共鳴周波数における変化の影響を相殺するように調整され、他方、等価減衰力は電力消費を相殺するように調整される。一方、等価連続力はピストン振動の中間点の変位を補償するように調整される。

【0051】

スプリング力を加えることは、前記力の線形的な性質に、力学方程式における第 2 のスプリング定数 K_{MLEq} を追加することと等価である、ことを指摘しておくべきである。同じ原理が力学方程式の第 2 の減衰定数 K_{AMEq} に対しても適用される。本発明によれば、ガス圧力は連続力 F_{Const} によって置き換えられる。

【0052】

従って、本提案のシステムは、このモデルにおいて、マトリックス A が K_{MLEq} e K_{AMEq} の関数として変化し、かつ、入力 $g(t)$ が連続するように、以下の方程式

10

20

30

【数5】

$$\begin{pmatrix} \dot{v}(t) \\ \dot{d}(t) \\ \dot{i}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{K_{AM}+K_{AMEq}}{m} & \frac{K_{ML}+K_{MLEq}}{m} & \frac{K_{FMT}}{m} \\ 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_{VMT}}{L} & 0 & -\frac{R}{L} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v(t) \\ d(t) \\ i(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{pmatrix} \cdot V_{ENT}(t) + \begin{pmatrix} \frac{1}{m} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot F_{Cont}$$

(5)

10

または、

$$\dot{x}(t) = A(K_{MLEq}, K_{AMEq})x(t) + B.u(t) + F.g(t)$$

$$y(t) = C.x(t)$$

によって表すことができる。ここで、

$$x(t) = \begin{pmatrix} v(t) \\ d(t) \\ i(t) \end{pmatrix}$$

20

$$y(t) = i(t),$$

$$u(t) = V_{ENT}(t),$$

$$g(t) = F_{Cont}$$

$$A = \begin{pmatrix} \frac{K_{AM}+K_{AMEq}}{m} & \frac{K_{ML}+K_{MLEq}}{m} & \frac{K_{FMT}}{m} \\ 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_{VMT}}{L} & 0 & -\frac{R}{L} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{pmatrix}, \quad F = \begin{pmatrix} \frac{1}{m} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad C = (0 \ 0 \ 1)$$

である。

30

【0053】

後者の表現において重要なのは、 K_{ML} e K_{MLEq} の個々の値またはそれぞれの定数部分ではなく、むしろ $K_{ML} + K_{MLEq}$ の合計値であることを指摘しておくべきである。このことは、この合計を、合計スプリング係数 K_{MLT} と呼ばれる単一の係数によって置き換えることが可能であることを意味している。

【数6】

40

$$K_{MLT} = K_{ML} + K_{MLEq} \quad (6)$$

【0054】

このような合計スプリング係数 K_{MLT} は、以下の方程式7に示すように、システムの共鳴周波数 F_R に従って、リニアモータのそれぞれのサイクルに対して調整される。共鳴周波数は、モータの実際の、即ち測定電流 i_m のその期間の読み出しによって、各サイクルに対して調整される。図1は、このタイプの応用に特徴的なモータの測定電流 i_m のプロファイルと共鳴周波数期間を示している。

【数 7】

$$F_R = \frac{1}{T_R} K_{MLT} = m \cdot 4 \cdot (\pi \cdot F_R)^2 \quad (7)$$

【0055】

ここで、

F_R - 共鳴周波数T_R - 共鳴周波数期間、である。

10

【0056】

同様に、減衰定数の合計値 (K_{AM} + K_{AMEq}) を知ることが重要である。従って、これを、ここでは合計減衰係数 K_{AMT} と呼ばれる単一の係数によって置換することが可能となる。この合計減衰係数 K_{AMT} はリアモータのそれぞれのサイクルに対して調整される。

【数 8】

$$K_{AMT} = K_{AM} + K_{AMEq} \quad (8)$$

20

【0057】

本発明の重要な構成は、システムの電力バランスの調整に関係する。このような調整は、システムの入口で測定された電力が、観測回路 20 の合計減衰力によって消費される電力に観測回路 20 のいわゆる抵抗における損失を加算したものよりも大きい場合、このような調整が展開される。従って、この場合、合計減衰係数 K_{AMT} を増加させることが必要となる。さもなければ、合計減衰係数 K_{AMT} を減少させなければならない。

【0058】

以下の方程式は、本発明の制御システムの電力に関係する主な量の計算を示している。

【数 9】

30

$$a = \frac{T_R}{\Delta t} \quad (9)$$

$$P_e = \frac{1}{T_R} \sum_{n=0}^a u_C[n] \cdot i_M[n] \cdot \Delta t \quad (10)$$

$$P_R = \frac{1}{T_R} \sum_{n=0}^a R \cdot i[n]^2 \cdot \Delta t \quad (11)$$

$$F_{AMT}[k] = K_{AMT} \cdot v[k] \quad (12)$$

40

$$P_{AM} = \frac{1}{T_R} \sum_{n=0}^a F_{AMT}[n] \cdot v[n] \cdot \Delta t \quad (13)$$

【0059】

ここで、

a - 共鳴周波数期間におけるサンプル数

P_e - モータの入口で測定された電力P_R - 推定器によって計算された、抵抗における電力

50

F_{AM} - 推定器によって計算された、合計減衰によって生成される力

P_{AM} - 推定器によって計算された、合計減衰によって消費される電力

T_R - 共鳴周波数期間または1起動サイクル期間

t - サンプル期間、即ち2個の連続するサンプル間の期間、である。

【0060】

図7は、本発明に基づく、ピストン1に対する制御システムの主な機能ブロックの詳細を示す。

【0061】

図8は、特許請求の範囲に記載した制御システムの、好ましい実施形態のブロック図を示す。

10

【0062】

上述した電子パラメータセットに基づくこのようなシステムには、さらに、利得ベクトル K を掛け合わせた観測器20の電流誤差 i_{eo} が供給され、この電流誤差 i_{eo} はモータ $i_e(t)$ の測定電流 i_m と計算電流との間の差として計算される。

【0063】

数学的に、共鳴リニアコンプレッサ100のステート観測器の電気機械モデルは、以下の行列式として表される。

【数10】

$$\begin{aligned} i_{eo}(t) &= i_m(t) - i_e(t) \\ \dot{x}(t) &= A.x(t) + B.u(t) + F.g(t) + K.i_{eo}(t) \\ y(t) &= C.x(t) \end{aligned} \quad (14)$$

20

【0064】

さらに、共鳴リニアコンプレッサ100の電気モータは、制御ユニット15を通して、リニアコンプレッサ100の各動作サイクル T_R において計算された共鳴周波数 F_R で起動されることを、指摘しておく必要がある。この動作サイクル T_R は、測定電流 i_m を通して計算され、かつ、測定電流 i_m の期間を有するように計算される。本発明のシステムに対して既に述べたように、図11は測定電流 i_m のプロファイルを示し、電流 i_m がゼロを通過する時点を観測することによってその動作期間を得ることが可能である。

30

【0065】

コンプレッサ100を共鳴周波数 F_R で動作させることによって、最終的な機器の信頼性および安全性を損なうことなく、システム全体の最大効率を達成することが可能となることを指摘しておくべきである。

【0066】

リニアコンプレッサ100のモータの計算電流 $i_e(t)$ 、ピストンの変位 $d_e(t)$ およびピストンの速度 $v_e(t)$ は、離散化周波数 F_d において計算するのが最も好ましい。この離散化周波数 F_d は共鳴周波数 F_R よりもかなり高く、このような離散化周波数 F_d は共鳴周波数 F_R の10倍以上で動作可能である。

40

【0067】

最大変位 D_{MAX} は、1動作サイクル T_R の間のピストン変位 $d_e(t)$ から計算される。同様に、機械パラメータセットは各動作サイクル T_R において計算される。

【0068】

図8において、共鳴リニアコンプレッサ100の起動は動作電圧 U_c に基づいて提供されることが理解される。この電圧 U_c は、最大変位 D_{MAX} の計算値とピストン変位速度 $v_e(t)$ に基づいて計算される。このような状態値は、PID(proportional, integralおよびderivative)のPI(proportionalおよびintegral)のような状態制御器を通して、基準値と比較される。

50

【0069】

上述したように、本発明は、共鳴リニアコンプレッサ100のピストンの制御のための新規な方法を提供する。このような方法は、電気モータを備えるコンプレッサを予見し、この電気モータは周波数インバータによって起動される。

【0070】

上記方法は、主に、以下のステップを備えている。

- a) 離散化周波数 F_d 、電気モータの測定電流 i_m で、共鳴リニアコンプレッサ100の各動作サイクル T_R を測定し、
- b) 電気モータの測定電流値 i_m から共鳴リニアコンプレッサ100の動作サイクル T_R を計算し、計算された動作サイクル T_R に基づいて共鳴リニアコンプレッサ100の共鳴周波数 R_F を計算し、
- c) 離散化周波数 F_d 、モータの計算電流 $i_e(t)$ 、ピストン変位 $d_e(t)$ およびピストン速度 $v_e(t)$ における、共鳴リニアコンプレッサ100の各動作サイクル T_R を計算し、
- d) 離散化周波数 R_F 、モータの測定電流 i_m と計算電流 $i_e(t)$ 間の相違によって計算される電流誤差 i_{e0} で、共鳴リニアコンプレッサ100の各動作サイクル T_R を計算し、
- e) ステップc) で計算されたピストン変位 $d_e(t)$ に基づいて、共鳴リニアコンプレッサ100のピストンの最大変位 D_{MAX} を計算し、
- f) 測定電流 i_m と電気モータのインバータによって印加された動作電圧 U_c とから電気モータ上の実際の P_e の入力電力を動作サイクル T_R において計算し、
- g) 測定電流 i_m からモータの電気抵抗 R として消費電力 P_R を、動作サイクル T_R において計算し、
- h) 合計減衰係数 K_{AMT} とステップc) で計算されたピストン速度 $v_e(t)$ とから、動作サイクル T_R において生成された合計減衰力 F_{AMT} を計算し、
- i) 先行するステップにおいて計算された合計減衰力 F_{AMT} とステップc) において計算されたピストン速度 $v_e(t)$ とから、合計減衰 P_{AMT} によって消費された電力を計算し、
- j) ステップf) で計算された電気モータの実際の入力電力 P_e の関数として、かつステップb) で計算された動作サイクル T_R の関数として、等価連続力 F_{Cont} を計算し、
- k) 最大変位 D_{MAX} からおよびピストン速度 $v_e(t)$ と測定電流 i_m とから、リニアコンプレッサ100の電気モータに印加されるべき動作電圧値 u_c を計算し、さらに
- i) ステップk) で計算された動作電 u_c を、共鳴リニアコンプレッサ100の電気モータに印加する、各ステップ。

【0071】

本発明はさらに、ステップb) で計算された共鳴周波数 R_F から、共鳴リニアコンプレッサ100の合計スプリング係数 K_{MLT} を計算するためのステップを有する。

【0072】

さらに、現在提案されている方法は、実際の電力 P_e 、消費電力 P_R および合計減衰 P_{AMT} によって消費される電力から、共鳴リニアコンプレッサ100の合計減衰係数 K_{AMT} を計算するステップを予見する。

【0073】

合計減衰係数 K_{AMT} の修正に関して、サイクルごとに、以下のステップによって調整される。

- m) 計算された実際の入力電力 P_e が、合計減衰 P_{AMT} によって消費された電力と消費電力 P_R との合計よりも大きい場合、合計減衰係数 K_{AMT} の値を次の動作サイクル T_R に増加させ、さらに
- n) 計算された実際の入力電力 P_e が、合計減衰 P_{AMT} によって消費された電力と消費電力 P_R との合計よりも小さい場合、合計減衰係数 K_{AMT} の値を次の動作サイクル T_R

に減少させる。

【 0 0 7 4 】

さもなければ、減衰係数 K_{AMT} は、次の方程式に従って計算される。

【 数 1 1 】

$$P_{AMT} = P_e - P_R$$

$$K_{AMT} = \frac{2 \cdot P_{AMT}}{(2 \cdot \pi \cdot F_R \cdot D_{MAX})^2} \quad (15)$$

10

【 0 0 7 5 】

合計スプリング係数 K_{AMT} は、次の方程式に基づいて計算される。

【 数 1 2 】

$$K_{MLT} = m \cdot 4 \cdot (\pi \cdot F_R)^2 \quad (16)$$

【 0 0 7 6 】

ここで、 F_R = 共鳴周波数である。

【 0 0 7 7 】

合計スプリング係数 K_{MLT} と合計減衰係数 K_{AMT} とから、吸引および排出圧力における変化を補償するように、観測器モデルを計算し調整することができる（適応システムの獲得）。連続モデルに対して、この調整は利得ベクトル K の設計上のダイナミック行列 A のみ影響する。実際、離散（離散化）システムに対して、離散化のプロセスと、合計スプリング係数 K_{MLT} と合計減衰係数 K_{AMT} における差異はさらに、行列 B および F における差異をもたらす。

20

【 0 0 7 8 】

従って、合計スプリング係数 K_{MLT} と合計減衰係数 K_{AMT} とから、利得ベクトル K を設計するために、行列 A 、 B および F のセットを計算することができる。言い換えると、共鳴リニアコンプレッサ 100 の 1 動作サイクル T_R において、第 1 の係数行列 A 、第 2 の係数行列 B 、第 3 の係数行列 F および利得ベクトル K は、合計スプリング係数 K_{MLT} と合計減衰係数 K_{AMT} とから計算される。この場合、本システムは同様に、コンプレッサ 100 の各動作サイクルに対して調整された、適応型システムと呼ばれる、可変係数モデルを生成する。

30

【 0 0 7 9 】

本出願の特許請求の範囲に記載された方法は、現在提案する制御システムに対して既に述べたように、リニアコンプレッサ 100 の数学的モデルをもたらす。

【 0 0 8 0 】

本方法はまず、ピストン 1 の制御システムに対して既に詳細に述べたように方程式 1 を通して示される、電圧源に対して直列な電気回路 RL に基づいて定義された、コンプレッサ 100 の電氣的数学モデルの使用を予見する。理解しやすいように、次に、方程式 1 を再度記載する。

40

【 数 1 3 】

$$V_{ENT}(t) = V_R(i_e(t)) + V_L(i_e(t)) + V_{MT}(v_e(t)) \quad (1)$$

50

【 0 0 8 1 】

上述の方程式で言及するパラメータと値は、本発明の制御システムに対して以前に示したものと同一である。

【 0 0 8 2 】

同様に、本発明に係るピストンの制御方法は、リニアコンプレッサ 1 0 0 の機械数学モデルを考慮に入れており、これは、既に示した以下の方程式 2 に従った質量 / スプリング機械システムに基づいて定義される。

【 数 1 4 】

$$m \cdot \frac{d^2 d(t)}{dt^2} = F_{MT}(i_e(t)) - F_{ML}(d_e(t)) - F_{AM}(v(t)) - F_G(d_e(t)) \quad (2)$$

10

【 0 0 8 3 】

上述の方程式の機械パラメータは、本発明のピストン 1 制御システムに対して定義されたものである。既に説明したように、シリンダにおけるガス圧力 $F_G(d(t))$ は、方程式 4 によって計算される。理解を容易にするために、この方程式 4 を以下に再度記載する。

【 数 1 5 】

$$F_G(t) = K_{AMEq} \cdot Vd + K_{MLEq} \cdot d + F_{Cont} \quad (4)$$

20

【 0 0 8 4 】

その他の実施形態において、提案した制御方法は、リニアコンプレッサ 1 0 0 の電気数学モデルを備えており、このモデルは、制御システムに対して提案したように、以前に定義した方程式 3 からの同様の行列式において、式化されている。

【 数 1 6 】

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + F \cdot g(t) \\ y(t) &= C \cdot x(t) \end{aligned} \quad (3)$$

30

【 0 0 8 5 】

従って、上述の方程式のパラメータは、本発明の制御システムのモデル化に対して既に定義されたものである。

【 0 0 8 6 】

予見された方法において、リニアコンプレッサ 1 0 の電気数学モデルには、このシステムに対して展開されたものと同様に、再び、利得ベクトル K を乗じた観測器の電流誤差 i_{e0} が供給される。この観測器の電流誤差 i_{e0} は、測定電流 i_m とモータの計算電流 $i_e(t)$ との相違によって計算され、共鳴リニアコンプレッサ 1 0 0 の電子数学モデルは方程式 1 4 に基づく。以下に再記載する方程式 1 4 は制御システムに対して既に定義しているものである。

40

【数 17】

$$\begin{aligned}
 i_{eo}(t) &= i_m(t) - i_e(t) \\
 \dot{x}(t) &= A.x(t) + B.u(t) + F.g(t) + K.i_{eo}(t) \\
 y(t) &= C.x(t)
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

【0087】

図8は、既に述べたように、提案した制御システムと方法のための好ましい実施形態を示す。このような構成に対して、以下の追加のステップが予見される。 10

o) ステップeで計算されたピストンの最大変位 D_{MAX} とプログラムされた基準変位 D_{REF} 間の比較から、第1基準電流 I_{1ref} を調整し、

p) ステップcで計算されたピストン速度 $V_e(t)$ によって調整された第2の基準電流 i_{1ref} を調整し、

q) 基準電流(i_{2ref})と測定電流(i_m)間の相違によって制御電流誤差(i_{ce})を調整し、

r) 先行するステップにおいて計算された制御電流誤差(i_{ce})から電気モータの周波数インバータに印加される動作電圧(u_c)を調整する。 20

【0088】

図8に示すように、第1の基準電流 I_{1ref} は、第1の比例および積分状態制御器 P_{i1} の出力において生成される。この制御器を、さらに、微分比例積分制御器によって形成しても良い。 20

【0089】

同じ図8は、電気モータのインバータに印加される動作電圧 u_c が、第2の比例および積分状態制御器 P_{i2} または微分比例積分制御器の出力において生成されることを示している。

【0090】

さらに包括的に、リニアコンプレッサピストンのための本制御方法は、以下のステップから構成される。 30

i) 微小加工された電子回路と、離散化周波数 F_d を有する共鳴リニアコンプレッサ100の動作サイクル T_R から、電気モータの測定電流 i_m を測定し、

ii) 測定電流 i_m と電気モータのインバータに印加された動作電圧 u_c とに基づいて、モータの電気パラメータの少なくとも1セットと、リニアコンプレッサ100の機械パラメータの少なくとも1セットとを計算し、

iii) ステップi)およびii)において測定され計算された値に基づいて、共鳴リニアコンプレッサ100の最大変位 D_{MAX} とピストン速度 $V_e(t)$ を計算し、

iv) ステップiii)で得られた最大変位 D_{MAX} とピストン速度 $V_e(t)$ から、リニアコンプレッサ100の電気モータのインバータに印加されるべき動作電圧 u_c の新しい値を調整し、さらに、 40

v) 共鳴リニアコンプレッサ100の電気モータのインバータに、ステップiv)で調整された動作電圧 u_c を印加する。

【0091】

さらに、動作電圧 u_c は、動作サイクル T_R が共鳴周波数 R_F においてリニアコンプレッサ100の動作を定義するように、共鳴リニアコンプレッサ100の動作サイクル T_R 期間中で計算されることを、指摘しておく必要がある。

【0092】

上述の方法は、電気パラメータセットが、共鳴リニアコンプレッサ100の電気数学モデルから計算されることを同様に考慮に入れている。既に説明したように、機械パラメータセットは、共鳴リニアコンプレッサ100の機械数学モデル、またはさらに、電気的お 50

よび機械的パラメータのセットに基づいて定義される、共鳴リニアコンプレッサ 100 の電気機械的数学モデルから、計算される。

【0093】

本発明で定義された方程式 1 および 2 は、上述のより包括的な方法論、即ち R L 直列回路としてモデル化されるコンプレッサ 100 の電気モータに、および、質量 / スプリング機械システムとしてモデル化される同じコンプレッサ 100 に、同様に適用される。

【0094】

方程式 3 によって定義される行列式は、電気機械システム の概念から、後者の制御方法に同様に適用される。

【0095】

従って、共鳴リニアコンプレッサ 100 のピストン 1 を制御するためのシステムおよび方法は、本発明で記載するように、機械的な量または変数を測定するように構成されたセンサを使用することなく、推定パラメータセットがコンプレッサ 100 の動作をその最大効率で達成させる場合に、それらの目的を達成する。

【0096】

一方、図 8 に示す好ましい実施形態は、特許請求の範囲に記載したシステムに対して、観測電子回路 20 によって推定されたピストン 1 の変位および速度を使用して、コンプレッサ 100 に対する単純でかつ効率的な制御をもたらす。一方、図 9 に示す別の実施形態は、前記の速度に同期した正弦波によってその速度信号を置き換えることが可能な制御を可能とする。

【0097】

この両方の解決方法は、補助的な測定装置を使用することなく、コンプレッサの効率を最適化することができ、さらに、ピストン 1 の最大変位 D M A X の推定を考慮することが可能であり、これは、設置におけるエンジニアリング時間を大幅に減少させることに貢献し、部品の削減および必要な接続数の削減、および特に最終製品のメンテナンスに対して生産プロセスを単純化する。このような解決方法は、本システムを安全に動作させ、それによって、ピストン 1 がコンプレッサヘッドと衝突することなく、最大のコースで動作することが可能となる。

【0098】

最終的に、特許請求の範囲に記載された発明において定義されているように、本発明は、ピストン制御方法を備える共鳴リニアコンプレッサ 100 を提供する。

【0099】

好ましい実施形態について記載したけれども、本発明の範囲は、他の可能な変形を包含し、可能な等価物を含む、添付の特許請求の範囲の内容によってのみ限定されるべきであることを理解すべきである。

10

20

30

【 図 1 】

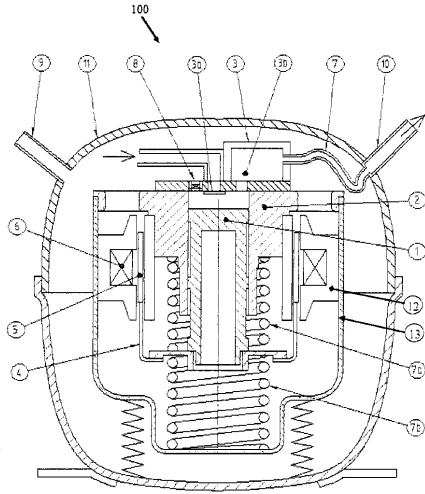


FIG. 1

【 図 2 】

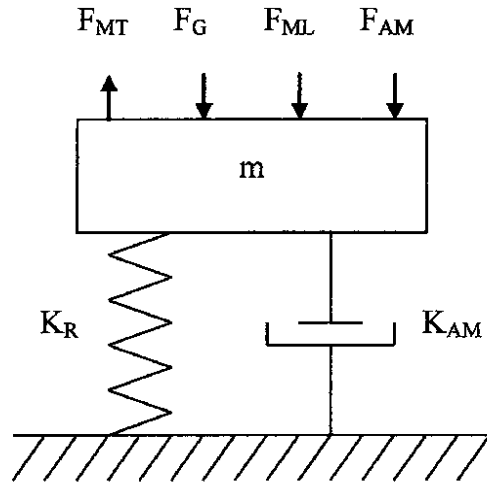


FIG. 2

【 図 3 】

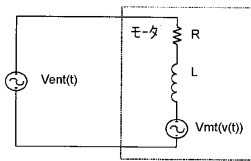


FIG. 3

【 図 5 】

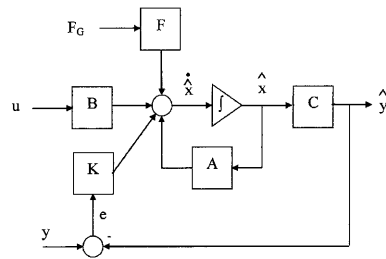


FIG. 5

【 図 4 】

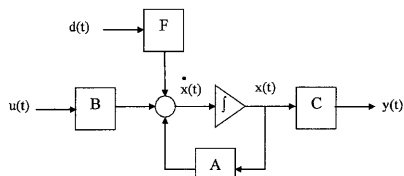


FIG. 4

【 図 6 】

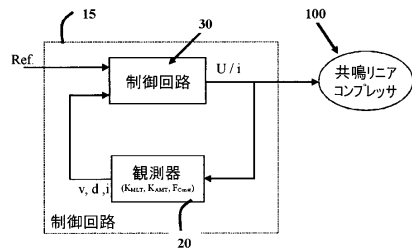


FIG. 6

【図7】

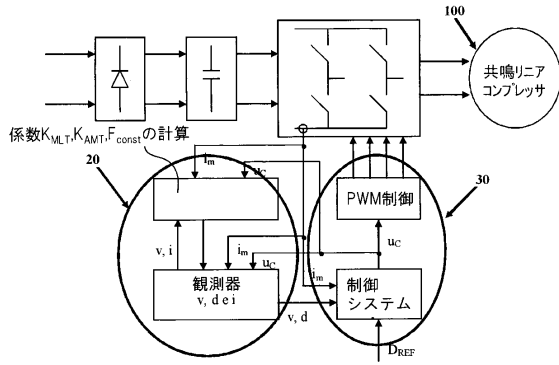


FIG. 7

【図8】

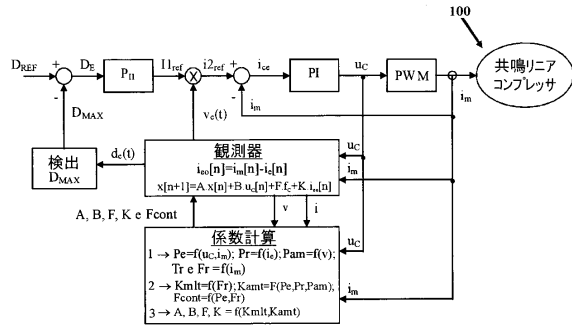


FIG. 8

【図9】

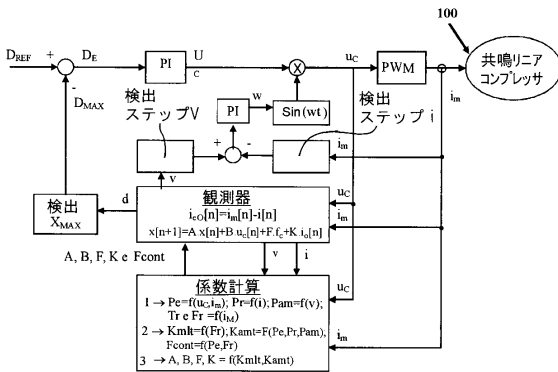


FIG. 9

【図10】

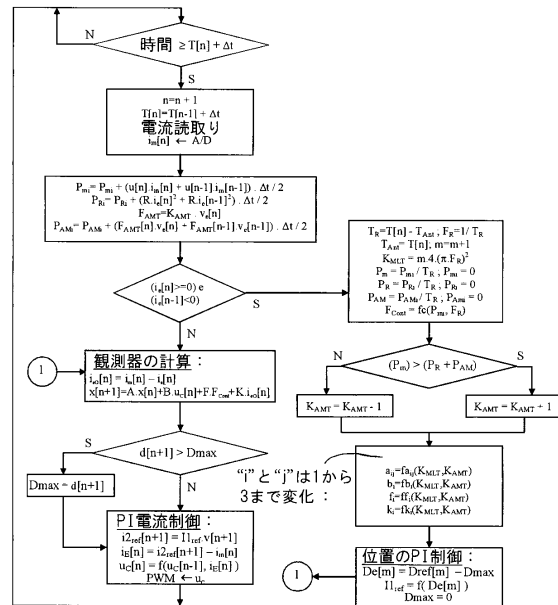


FIG. 10

【図11】

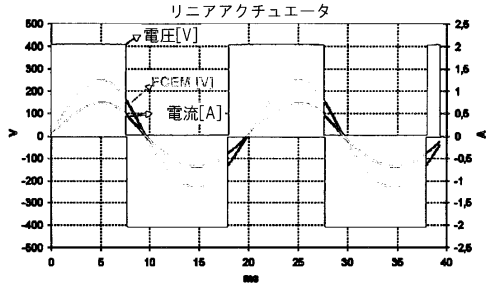


FIG. 11

【図13】

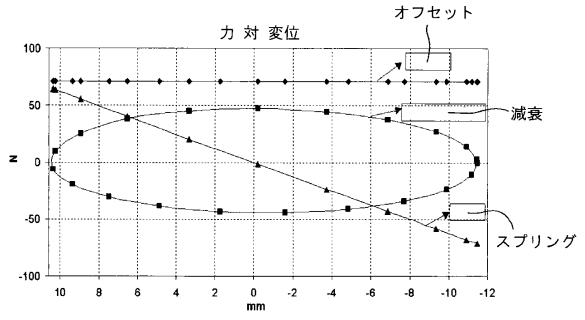


FIG. 13

【図12】

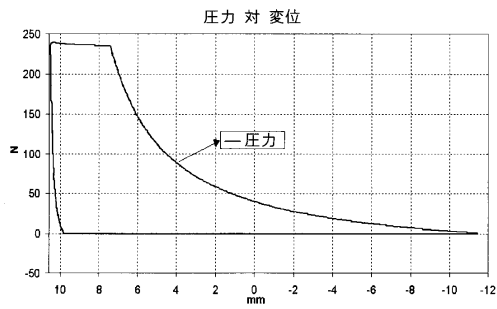


FIG. 12

【図14】

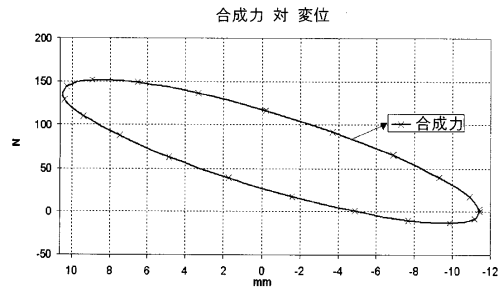


FIG. 14

フロントページの続き

- (74)代理人 100099759
弁理士 青木 篤
- (74)代理人 100092624
弁理士 鶴田 準一
- (74)代理人 100122965
弁理士 水谷 好男
- (74)代理人 100141162
弁理士 森 啓
- (72)発明者 パウロ セルジオ ダイネス
ブラジル国, サンタカタリーナ - ジョインビレ, ファイ バルボサ 1431, ベエリ . 1,
アパルタメント 302
- (72)発明者 ジョゼ デ オリベイラ
ブラジル国, 8920 - 060 サンタカタリーナ - ジョインビレ, ファオ オレステス ギマラン
イス 422, アパルタメント 101
- (72)発明者 アデミル ニード
ブラジル国, 89201 - 480 サンタカタリーナ - ジョインビレ, ファオ コンセレイロー マ
フラ 125, アパルタメント 504

審査官 所村 陽一

- (56)参考文献 特開2009 - 062853 (JP, A)
特開2004 - 336988 (JP, A)
特開2006 - 312929 (JP, A)
特表2011 - 513614 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F04B 37/04