

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4623271号
(P4623271)

(45) 発行日 平成23年2月2日(2011.2.2)

(24) 登録日 平成22年11月12日(2010.11.12)

(51) Int. Cl. F I
 HO 2 N 15/00 (2006.01) HO 2 N 15/00
 HO 1 F 7/18 (2006.01) HO 1 F 7/18 B
 HO 1 F 7/18 S

請求項の数 6 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2004-247985 (P2004-247985)	(73) 特許権者	000006622 株式会社安川電機
(22) 出願日	平成16年8月27日(2004.8.27)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(65) 公開番号	特開2006-67713 (P2006-67713A)	(72) 発明者	張 文農 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社 安川電機内
(43) 公開日	平成18年3月9日(2006.3.9)	(72) 発明者	萬羽 崇 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社 安川電機内
審査請求日	平成19年6月4日(2007.6.4)	(72) 発明者	中村 裕司 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社 安川電機内
		(72) 発明者	萩原 淳 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社 安川電機内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電磁アクチュエータの駆動制御装置およびそれを備えた電磁アクチュエータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

磁性体でできた第1コアと、
 前記第1コアとギャップを介して対向配置されると共に、磁性体でできた第2コアと前記第2コアの脚に巻かれ且つ磁気力を発生する励磁コイルを有する電磁石と、
 前記第1コアと前記第2コアとの間のギャップを検出するギャップセンサと、
 前記電磁石の励磁コイルに流れる電流を検出する電流センサと、
 を備え、
 前記第1コアと前記第2コアの何れか一方を可動子とし、他方を固定子として構成することにより相対的に移動するようにした電磁アクチュエータにおいて、
 前記ギャップセンサにより検出したギャップ信号および前記電流センサにより検出した励磁コイルの電流信号を入力することによりカフィードバック信号を出力する電流/力変換手段と、
 前記電磁石が発生する目標となる磁気力に対応する力指令と前記電流/力変換手段により出力されたカフィードバック信号の偏差に基づいて、前記電圧指令を計算する力制御部と、
 前記力制御部で得られた電圧指令を増幅することにより、前記励磁コイルに励磁電圧を与えるようにした電力増幅器とを備えたことを特徴とする電磁アクチュエータの駆動制御装置。

【請求項2】

前記電流 / 力変換手段は、

前記電磁アクチュエータが発生する力 f を下記の有限多項式 (1) によって近似したときに、

【数 1】

$$f = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n c_{ij} I^i h^j \quad (1)$$

ただし、数式 (1) で、 m および n は 2 以上の自然数であり、 I は前記励磁コイルの電流信号であり、 h は前記ギャップ信号であり、 c_{ij} ($i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n$) は最小 2 乗法により定めた係数であるとし、数式 (1) に基づいて前記励磁コイルの電流から前記力フィードバック信号へ変換するものであることを特徴とする請求項 1 記載の電磁アクチュエータの駆動制御装置

10

【請求項 3】

前記電流 / 力変換手段は、

前記電磁アクチュエータが発生する力 f を下記の分数多項式 (7) によって近似したときに、

【数 2】

$$f = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} I^i h^j / \left(1 + \sum_{k=1}^l b_k h^k \right) \quad (7)$$

ただし、数式 (7) で、 l, m および n は 2 以上の自然数であり、 I は前記励磁コイルの電流信号であり、 h は前記ギャップ信号であり、 a_{ij} ($i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n$) および b_k ($k = 1, \dots, l$) は最小 2 乗法により定めた係数であるとし、数式 (7) に基づいて前記励磁コイルの電流から前記力フィードバック信号へ変換するものであることを特徴とする請求項 1 記載の電磁アクチュエータの駆動制御装置。

20

【請求項 4】

磁性体でできた第 1 コアと、

前記第 1 コアとギャップを介して対向配置されると共に、磁性体でできた第 2 コアと前記第 2 コアの脚に巻かれ且つ磁気力を発生する励磁コイルを有する電磁石と、

前記第 1 コアと前記第 2 コアとの間のギャップを検出するギャップセンサと、

30

前記電磁石の励磁コイルに流れる電流を検出する電流センサと、

前記電磁石が発生する目標となる磁気力に対応する力指令 f_r と前記ギャップセンサにより検出したギャップ信号 h を入力することにより電流指令 I_r を出力する力 / 電流変換手段と、

前記電流指令と前記電流センサにより検出した励磁コイルの電流信号 I の偏差に基づいて、電圧指令を計算する電流制御部と、

前記電流制御部で得られた電圧指令を増幅することにより、前記励磁コイルに励磁電圧を与えるようにした電力増幅器と、

を備え、

前記第 1 コアと前記第 2 コアの何れか一方を可動子とし、他方を固定子として構成することにより相対的に移動するようにした電磁アクチュエータにおいて、

40

前記力 / 電流変換手段は、

前記電磁アクチュエータが発生する力 f の前記電流信号 I および前記ギャップ信号 h に関する近似式である下記の数式 (11)

【数 3】

$$f = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^n c_{ij} I^i h^j$$

・・・ (11)

(ただし、 n は 2 以上の自然数である) に基づいて、予め最小 2 乗法によって係数 c_{ij} ($i = 0, 1, 2, j = 0, 1, \dots, n$) を定め、

50

前記力指令 f_r から前記電流指令 I_r への変換を下記の数式 (12)

【数4】

$$I_r = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A(C - f_r)}}{2A} \dots (12)$$

(ただし、 $A = c_{2n} h^n + \dots + c_{21} h + c_{20}$ 、 $B = c_{1n} h^n + \dots + c_{11} h + c_{10}$ 、 $C = c_{0n} h^n + \dots + c_{01} h + c_{00}$) によって行うものであることを特徴とする電磁アクチュエータの駆動制御装置。

【請求項5】

磁性体でできた第1コアと、

前記第1コアとギャップを介して対向配置されると共に、磁性体でできた第2コアと前記第2コアの脚に巻かれ且つ磁気力を発生する励磁コイルを有する電磁石と、

前記第1コアと前記第2コアとの間のギャップを検出するギャップセンサと、

前記電磁石の励磁コイルに流れる電流を検出する電流センサと、

前記電磁石が発生する目標となる磁気力に対応する力指令 f_r と前記ギャップセンサにより検出したギャップ信号 h を入力することにより電流指令 I_r を出力する力/電流変換手段と、

前記電流指令と前記電流センサにより検出した励磁コイルの電流信号 I の偏差に基づいて、電圧指令を計算する電流制御部と、

前記電流制御部で得られた電圧指令を増幅することにより、前記励磁コイルに励磁電圧を与えるようにした電力増幅器と、

を備え、

前記第1コアと前記第2コアの何れか一方を可動子とし、他方を固定子として構成することにより相対的に移動するようにした電磁アクチュエータにおいて、

前記力/電流変換手段は、

前記電磁アクチュエータが発生する力 f の前記電流信号 I および前記ギャップ信号 h に関する近似式である下記の数式 (13)

【数5】

$$f = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^n a_{ij} I^i h^j \left/ \left(1 + \sum_{k=1}^l b_k h^k \right) \right. \dots (13)$$

(ただし、 l および n は2以上の自然数である) に基づいて、予め最小2乗法によって係数 a_{ij} ($i = 0, 1, 2, j = 0, 1, \dots, n$) および b_k ($k = 1, 2, \dots, l$) を定め、

前記力指令 f_r から前記電流指令 I_r への変換を下記の数式 (14)

【数6】

$$I_r = \frac{-A_1 + \sqrt{A_1^2 - 4A_2(A_0 - Df_r)}}{2A_2} \dots (14)$$

(ただし、 $A_0 = a_{00} + a_{01} h + \dots + a_{0n} h^n$ 、 $A_1 = a_{10} + a_{11} h + \dots + a_{1n} h^n$ 、 $A_2 = a_{20} + a_{21} h + \dots + a_{2n} h^n$ 、 $D = 1 + b_1 h + \dots + b_l h^l$) によって行うものであることを特徴とする電磁アクチュエータの駆動制御装置。

【請求項6】

請求項1～5のいずれか1項に記載の電磁アクチュエータの駆動制御装置を備えたことを特徴とする電磁アクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ギャップセンサおよび電流センサを用いて高性能に電磁アクチュエータを駆動制御する装置およびそれを備えた電磁アクチュエータに関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

従来の電磁アクチュエータの駆動制御装置は、電流センサおよびギャップセンサを用いて制御系を構成している（例えば、特許文献1参照）。

図2は従来技術の電磁アクチュエータの駆動制御装置の構成を示すブロック図である。

図2において、1は減算器、4は電力増幅器、5は電流センサ、7は励磁コイル、8は第1コア、9は第2コア、10はギャップセンサ、11は力/電流変換手段、12は電流制御部である。

電磁アクチュエータは磁性体でできた第1コア8を備えた可動子と、第1コア8とギャップを介して対向配置されると共に、磁性体でできたE形断面状の第2コア9と該第2コア9の脚に巻かれ且つ磁気力を発生する励磁コイル7を有する電磁石を備えた固定子とで構成されており、第1コア8、第2コア9間に働く磁気力で可動子を駆動するようになっている。なお、一般に、図中の第1コア（可動子）は移動ステージなどに固定され、電磁石（固定子）は固定ベースなどに固定されるが、ここでは図示を省略する。

次に、動作について説明する。

ギャップセンサ10が第1コア8、第2コア9間のギャップ h を検出し、力/電流変換手段11は電磁石が発生する目標となる磁気力に対応する力指令 f_r とギャップセンサにより検出したギャップ信号 h に基づいて電磁アクチュエータの磁気回路モデルを用いて電流指令 I_r を計算する。減算器1は電流指令 I_r と電流センサ5が検出したコイルの電流 I との偏差を計算し、電流制御部12は電流指令 I_r と電流センサ5が検出したコイルの電流 I との偏差に基づいて電圧指令 u_r を計算する。電力増幅器4は電圧指令 u_r を増幅して電磁石のコイルに励磁電圧を与える。

なお、アクチュエータにおいて、磁気飽和がなく漏れ磁束が少ない場合は、磁気回路モデルを用いて正確に力と電流およびギャップとの関数を求めることができ、電磁アクチュエータの力を力指令と一致させることができる。

このように、従来技術の電磁アクチュエータの駆動制御装置は、磁気回路モデルを用いて力指令から電流指令に変換して制御系を構成するものである。

【特許文献1】特公昭59-4330号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

従来の電磁アクチュエータの駆動制御装置は、磁気飽和があり、漏れ磁束が多い場合に、力と電流およびギャップとの関数を正確に与えることが困難であるため、指令通りの力を発生することができないという問題があった。

本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、磁気飽和があり、漏れ磁束が多い場合でも力と電流およびギャップとの関数を正確に導出すると共に、この関数を利用して力と電流を相互変換することにより、指令通りの力を発生することができる電磁アクチュエータの駆動制御装置およびそれを備えた電磁アクチュエータ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】

【0004】

上記問題を解決するため、本発明は、次のように構成したのである。

【0005】

請求項1の発明は、電磁アクチュエータの駆動制御装置に関するものであり、磁性体でできた第1コアと、

前記第1コアとギャップを介して対向配置されると共に、磁性体でできた第2コアと前記第2コアの脚に巻かれ且つ磁気力を発生する励磁コイルを有する電磁石と、

前記第1コアと前記第2コアとの間のギャップを検出するギャップセンサと、

前記電磁石の励磁コイルに流れる電流を検出する電流センサと、

を備え、前記第1コアと前記第2コアの何れか一方を可動子とし、他方を固定子として構

10

20

30

40

50

成することにより相対的に移動するようにした電磁アクチュエータにおいて、

前記ギャップセンサにより検出したギャップ信号および前記電流センサにより検出した励磁コイルの電流信号を入力することにより力フィードバック信号を出力する電流/力変換手段と、

前記電磁石が発生する目標となる磁気力に対応する力指令と前記電流/力変換手段により出力された力フィードバック信号の偏差に基づいて、前記電圧指令を計算する力制御部と、

前記力制御部で得られた電圧指令を増幅することにより、前記励磁コイルに励磁電圧を与えるようにした電力増幅器とを備えたものである。

【0006】

また、請求項2の発明は、請求項1記載の電磁アクチュエータの駆動制御装置において、前記電流/力変換手段は、

前記電磁アクチュエータが発生する力 f を下記の有限多項式(1)によって近似したときに、

【0007】

【数1】

$$f = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n c_{ij} I^i h^j$$

(1)

【0008】

ただし、数式(1)で、 m および n は2以上の自然数であり、 I は前記励磁コイルの電流信号であり、 h は前記ギャップ信号であり、 c_{ij} ($i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n$)は最小2乗法により定めた係数として、数式(1)に基づいて前記励磁コイルの電流から前記力フィードバック信号へ変換するものである。

【0009】

また、請求項3の発明は、請求項1記載の電磁アクチュエータの駆動制御装置において、前記電流/力変換手段は、

前記電磁アクチュエータが発生する力 f を下記の分数多項式(7)によって近似したときに、

【0010】

【数2】

$$f = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} I^i h^j \left/ \left(1 + \sum_{k=1}^l b_k h^k \right) \right.$$

(7)

【0011】

ただし、数式(7)で、 l, m および n は2以上の自然数であり、 I は前記励磁コイルの電流信号であり、 h は前記ギャップ信号であり、 a_{ij} ($i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n$)および b_k ($k = 1, \dots, l$)は最小2乗法により定めた係数として、数式(7)に基づいて前記励磁コイルの電流から前記力フィードバック信号へ変換するものである。

【0012】

また、請求項4の発明は、電磁アクチュエータの駆動制御装置に関するものであり、磁性体でできた第1コアと、

前記第1コアとギャップを介して対向配置されると共に、磁性体でできた第2コアと前記第2コアの脚に巻かれ且つ磁気力を発生する励磁コイルを有する電磁石と、

前記第1コアと前記第2コアとの間のギャップを検出するギャップセンサと、

前記電磁石の励磁コイルに流れる電流を検出する電流センサと、

前記電磁石が発生する目標となる磁気力に対応する力指令 f_r と前記ギャップセンサにより検出したギャップ信号 h を入力することにより電流指令 I_r を出力する力/電流変換

10

20

30

40

50

手段と、

前記電流指令と前記電流センサにより検出した励磁コイルの電流信号 I の偏差に基づいて、電圧指令を計算する電流制御部と、

前記電流制御部で得られた電圧指令を増幅することにより、前記励磁コイルに励磁電圧を与えるようにした電力増幅器と、

を備え、前記第1コアと前記第2コアの何れか一方を可動子とし、他方を固定子として構成することにより相対的に移動するようにした電磁アクチュエータにおいて、

前記力 / 電流変換手段は、

前記電磁アクチュエータが発生する力 f の前記電流信号 I および前記ギャップ信号 h に関する近似式である下記の数式 (1 1)

【 0 0 1 3 】

【数 3】

$$f = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^n c_{ij} I^i h^j$$

(1 1)

【 0 0 1 4 】

(ただし、 n は 2 以上の自然数である) に基づいて、予め最小 2 乗法によって係数 c_{ij} ($i = 0, 1, 2, j = 0, 1, \dots, n$) を定め、

前記力指令 f_r から前記電流指令 I_r への変換を下記の数式 (1 2)

【 0 0 1 5 】

【数 4】

$$I_r = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A(C - f_r)}}{2A}$$

(1 2)

【 0 0 1 6 】

(ただし、 $A = c_{2n} h^n + \dots + c_{21} h + c_{20}$ 、 $B = c_{1n} h^n + \dots + c_{11} h + c_{10}$ 、 $C = c_{0n} h^n + \dots + c_{01} h + c_{00}$) によって行うものである。

【 0 0 1 7 】

また、請求項 5 の発明は、電磁アクチュエータの駆動制御装置に関するものであり、磁性体でできた第 1 コアと、

前記第1コアとギャップを介して対向配置されると共に、磁性体でできた第 2 コアと前記第 2 コアの脚に巻かれ且つ磁気力を発生する励磁コイルを有する電磁石と、

前記第 1 コアと前記第 2 コアとの間のギャップを検出するギャップセンサと、

前記電磁石の励磁コイルに流れる電流を検出する電流センサと、

前記電磁石が発生する目標となる磁気力に対応する力指令 f_r と前記ギャップセンサにより検出したギャップ信号 h を入力することにより電流指令 I_r を出力する力 / 電流変換手段と、

前記電流指令と前記電流センサにより検出した励磁コイルの電流信号 I の偏差に基づいて、電圧指令を計算する電流制御部と、

前記電流制御部で得られた電圧指令を増幅することにより、前記励磁コイルに励磁電圧を与えるようにした電力増幅器と、

を備え、前記第1コアと前記第2コアの何れか一方を可動子とし、他方を固定子として構成することにより相対的に移動するようにした電磁アクチュエータにおいて、

前記力 / 電流変換手段は、

前記電磁アクチュエータが発生する力 f の前記電流信号 I および前記ギャップ信号 h に関する近似式である下記の数式 (1 3)

【 0 0 1 8 】

【数 5】

$$f = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^n a_{ij} I^i h^j \left/ \left(1 + \sum_{k=1}^l b_k h^k \right) \right.$$

10

20

30

40

50

(1 3)

【 0 0 1 9 】

(ただし、 l および n は 2 以上の自然数である) に基づいて、予め最小 2 乗法によって係数 a_{ij} ($i = 0, 1, 2, j = 0, 1, \dots, n$) および b_k ($k = 1, 2, \dots, l$) を定め、

前記力指令 f_r から前記電流指令 I_r への変換を下記の数式 (1 4)

【 0 0 2 0 】

【数 6】

$$I_r = \frac{-A_1 + \sqrt{A_1^2 - 4A_2(A_0 - Df_r)}}{2A_2}$$

10

(1 4)

【 0 0 2 1 】

(ただし、 $A_0 = a_{00} + a_{01}h + \dots + a_{0n}h^n$ 、 $A_1 = a_{10} + a_{11}h + \dots + a_{1n}h^n$ 、 $A_2 = a_{20} + a_{21}h + \dots + a_{2n}h^n$ 、 $D = 1 + b_1h + \dots + b_lh^l$) によって行うものである。

【 0 0 2 2 】

また、請求項 6 の発明は、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の電磁アクチュエータの駆動制御装置を備えた電磁アクチュエータであることを特徴としている。

20

【発明の効果】

【 0 0 2 3 】

請求項 1 ~ 請求項 3 に記載の発明によると、複雑な磁気回路を用いず簡単な有限多項式または分数多項式を利用して、実験または C A E 解析のデータに基づいて有限多項式または分数多項式の各係数を最小 2 乗法で定め、精度良く力と電流およびギャップとの関数を求めることができるので、この関数に基づいて電流信号を力信号へ変換することで指令通りの力を発生するように制御することができる。

請求項 4 および請求項 5 に記載の発明によると、複雑な磁気回路を用いず簡単な有限多項式または分数多項式を用いて、実験または C A E 解析のデータに基づいて 2 次多項式または 2 次分数多項式の各係数を最小 2 乗法で定め、精度良く力と電流およびギャップとの関数を求めることができるので、この関数に基づいて力指令を電流指令へ変換することで指令通りの力を発生するように制御することができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 4 】

以下、本発明の実施の形態について図を参照して説明する。なお、本発明の構成要素が従来技術と同じものについてはその説明を省略し、異なる点について説明する。

【実施例 1】

【 0 0 2 5 】

図 1 は、本発明の第 1 実施例および第 2 実施例に共通な電磁アクチュエータの駆動制御装置のブロック図である。

40

最初に、第 1 実施例について述べる。

図において、2 は電流 / 力変換手段、3 は力制御部である。

本発明が従来技術と異なる点は以下のとおりである。

すなわち、ギャップセンサ 10 により検出したギャップ信号 h および電流センサ 5 により検出した励磁コイル 7 の電流信号 I を入力することにより力フィードバック信号 f_f を出力する電流 / 力変換手段 2 と、電磁石が発生する目標磁気力に対応する力指令 f_r と電流 / 力変換手段 2 により出力された力フィードバック信号 f_f の偏差を演算する減算器 1 と、力指令 f_r と力フィードバック信号 f_f の偏差に基づいて、電圧指令 u_r を計算する力制御部 3 と、前記力制御部 3 で得られた電圧指令 u_r を増幅することにより、励磁コイル 7 に励磁電圧を与えるようにした電力増幅器 4 とを備えた点である。言い換えると、従

50

来技術との根本的な違いは、電流制御ループを構成せず、ギャップ信号および電流信号に基づいて力フィードバック信号を計算して直接力制御ループを構成することである。

以下、電流/力変換手段について詳細に説明する。

ギャップが h 、コイルの電流が I である時、電磁アクチュエータが発生する力 f は次式のような有限多項式 (1) で表せるものとする。

【0026】

【数7】

$$f = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n c_{ij} I^i h^j \quad \dots (1)$$

【0027】

ただし、 m および n は 2 以上の自然数、 c_{ij} ($i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n$) は未定係数である。 m と n は大きければ大きいほどモデルの精度が高くなるが、あまり大きくなり過ぎると、計算量が増えるので、モデルの精度と計算量のトレードオフを取って m と n を決める。また、 c_{ij} は以下で説明するように最小 2 乗法を用いて求める。

まず、係数ベクトルを

$$p = [c_{00} \dots c_{0n} \ c_{10} \dots c_{1n} \dots c_{m0} \dots c_{mn}]^T \quad \dots (2)$$

とし、状態ベクトルを

$$q = [h \dots h^n \ I h \dots I h^n \dots I^m h \dots I^m h^n]^T \quad \dots (3)$$

とすると、式 (1) より、

$$f = p^T \cdot q \quad \dots (4)$$

となる。

次に、実験または CAE 解析で N 組データを用いて評価関数を次式 (5) で与える。

【0028】

【数8】

$$V = \sum_{k=0}^N \{f(k) - p^T \cdot q(k)\}^2 \quad \dots (5)$$

【0029】

最後に、 V が最小となるように係数ベクトルは次式で与えられる。

【0030】

【数9】

$$p = \left[\sum_{k=0}^N \{q^T(k) q^T(k)\} \right]^{-1} \sum_{k=0}^N \{f(k) q(k)\} \quad \dots (6)$$

【0031】

第 1 実施例は上記構成にしたため、実験または CAE 解析のデータに基づいて有限多項式の係数は最小 2 乗法を用いて決められ、精度良く力と電流およびギャップとの関数を求めることができることから、この有限多項式を用いて電流信号を力信号へ変換することで指令通りの力を発生するように制御することができる。

【実施例 2】

【0032】

次に本発明の第 2 実施例について説明する。

第 2 実施例が第 1 実施例 1 と異なる点は、電流/力変換手段に用いられる力と電流およびギャップとの関数を分数多項式により表した点である。

ギャップが h 、コイルの電流が I である時、電磁アクチュエータが発生する力 f は次式のような分数多項式 (7) で表せるものとする。

【0033】

【数10】

$$f = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} I^i h^j \left/ \left(1 + \sum_{k=1}^l b_k h^k \right) \right.$$

10

20

30

40

50

・・・(7)

【0034】

ただし、 l 、 m および n は2以上の自然数であり、 a_{ij} ($i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n$)および b_k ($k = 1, \dots, n$)は未定係数で、以下で説明するように最小2乗法を用いて求める。

まず、式(7)を変形すると、

【0035】

【数11】

$$f = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} I^i h^j - \sum_{k=1}^n b_k h^k$$

10

・・・(8)

【0036】

となる。

次に、係数ベクトルを

$$p = [a_{00} \dots a_{0n} \quad a_{10} \dots a_{1n} \quad \dots \quad a_{m0} \dots a_{mn} \quad b_1 \quad b_2 \quad \dots \quad b_n]^T$$

・・・(9)

とし、状態ベクトルを

$$q = [h \dots h^n \quad I h \dots I h^n \quad \dots \quad I^m h \dots I^m h^n \quad -f h \quad -f h^2 \dots -f h^n]^T$$

・・・(10)

とする。

20

最後に、実施例1と同じように最小2乗法を用いて係数ベクトル p を求める。

【0037】

第2実施例は上記構成にしたため、理想的な物理モデル(2次分数多項式)に近い形で電磁アクチュエータのモデルを表すことによって、低い次数で精度良く力と電流およびギャップとの関数を求めることができ、計算量を減らすことができる。

【実施例3】

【0038】

次に本発明の第3実施例について説明する。

第3実施例は基本的には図2に示す従来技術と同じ構造を持つが、力/電流変換手段の実施方法が異なる。以下、本実施例の実施方法について説明する。

30

まず、ギャップが h 、コイルの電流が I である時、電磁アクチュエータが発生する力 f は次式のような電流の2次多項式(11)で表せるものとする。

【0039】

【数12】

$$f = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^n c_{ij} I^i h^j$$

・・・(11)

【0040】

ただし、 c_{ij} ($i = 0, 1, 2, j = 0, 1, \dots, n$)は未定係数である。

次に、係数 c_{ij} を実施例1と同じように求める。

40

最後に、 $A = c_{2n} h^n + \dots + c_{21} h + c_{20}$ 、 $B = c_{1n} h^n + \dots + c_{11} h + c_{10}$ 、 $C = c_{0n} h^n + \dots + c_{01} h + c_{00}$ とし、力指令から電流指令への変換は次式のように行う。

【0041】

【数13】

$$I_r = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A(C - f_r)}}{2A} \quad \dots (12)$$

【0042】

ただし、(12)式の根号の中が負であれば、根号の項を0とする。

50

【 0 0 4 3 】

第3実施例は上記構成にしたため、2次多項式の係数は最小2乗法を用いて決められることから、従来技術と比較して、精度良く力と電流およびギャップとの関数を求めることができ、この2次多項式を用いて力指令を電流指令へ変換することで指令通りの力を発生するように制御することができる。

また、第3実施例は、モデルを電流の2次以上の多項式で表し、力閉ループを構成する第1実施例に対し、本実施例はモデルを電流の2次多項式で表し、電流閉ループを構成することである。一方、力閉ループは非線形系であり、電流閉ループは線形系である。よって、第1実施例と較べ、本実施例はモデルの精度が落ちるが、フィードバック制御系のゲインを上げられ、電圧など電流閉ループ内の外乱に対して抑圧特性が良くなる。

10

【実施例4】

【 0 0 4 4 】

次に本発明の第4実施例について説明する。

第4実施例は第3実施例と基本的な構成は同じであるが、以下の点で異なる。電流/力変換手段に用いられる力と電流およびギャップとの関数を電流の2次分数多項式で表す。これについて以下詳細に説明する。

まず、ギャップが h 、コイルの電流が I である時、電磁アクチュエータが発生する力 f は次式のような電流の2次分数多項式(13)で表せるものとする。

【 0 0 4 5 】

【数14】

$$f = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^n a_{ij} I^i h^j \left/ \left(1 + \sum_{k=1}^l b_k h^k \right) \right.$$

・・・(13)

20

【 0 0 4 6 】

ただし、 l および n は2以上の自然数であり、 a_{ij} ($i = 0, 1, 2, j = 0, 1, \dots, n$) および b_k ($k = 1, 2, \dots, l$) は未定係数である。

次に、係数 a_{ij} ($i = 0, 1, 2, j = 0, 1, \dots, n$) および b_k ($k = 1, 2, \dots, l$) を実施例2と同じように求める。

最後に、 $A_0 = a_{00} + a_{01}h + \dots + a_{0n}h^n$ 、 $A_1 = a_{10} + a_{11}h + \dots + a_{1n}h^n$ 、 $A_2 = a_{20} + a_{21}h + \dots + a_{2n}h^n$ 、 $D = 1 + b_1h + \dots + b_lh^l$ とし、力指令から電流指令への変換は次式のように行う。

30

【 0 0 4 7 】

【数15】

$$I_r = \frac{-A_1 + \sqrt{A_1^2 - 4A_2(A_0 - Df_r)}}{2A_2}$$

・・・(14)

【 0 0 4 8 】

ただし、ルートの中が負であれば、ルートの項を0とする。

【 0 0 4 9 】

第4実施例は上記構成にしたため、第3実施例と比較して、理想的な物理モデル(2次分数多項式)に近い形で電磁アクチュエータのモデルを表すことによって、低い次数で精度良く力と電流およびギャップとの関数を求めることができ、計算量を減らすことができる。

40

なお、各実施例の電磁アクチュエータは、第1コアを可動子とし、第2コアと励磁コイルを有する電磁石を固定子とする例を示したが、電磁石の第2コアを可動子とし、第1コアを固定子として構成するようにしても構わない。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 5 0 】

本発明の技術は、オフラインで測定したデータに基づいて最小2乗法を用いることによ

50

って、精度良く複雑な制御対象のモデルを決定することができ、所謂制御対象のモデルを利用して制御を行うシステムの制御にも適応できる。

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】本発明の第1実施例および第2実施例に共通な電磁アクチュエータの駆動制御装置のブロック図

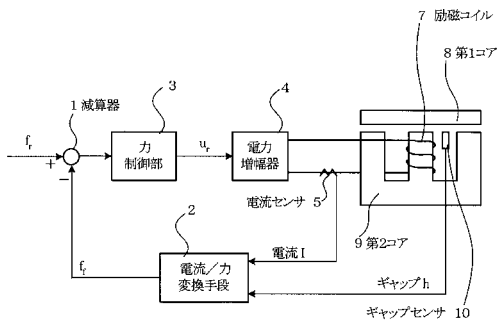
【図2】従来技術を示す電磁アクチュエータの駆動制御装置のブロック図

【符号の説明】

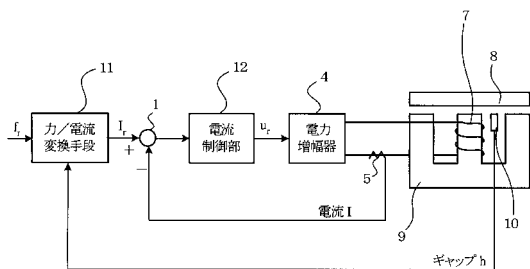
【0052】

- 1 減算器 10
- 2 電流/力変換手段
- 3 力制御部
- 4 電力増幅器
- 5 電流センサ
- 7 励磁コイル
- 8 第1コア
- 9 第2コア
- 10 ギャップセンサ
- 11 力/電流変換手段
- 12 電流制御部 20

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 富永 竜一郎

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社 安川電機内

審査官 大山 広人

(56)参考文献 特公昭59-4330(JP, B2)

特開平5-338840(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02N 15/00

H01F 7/18