

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5604097号
(P5604097)

(45) 発行日 平成26年10月8日(2014.10.8)

(24) 登録日 平成26年8月29日(2014.8.29)

(51) Int.Cl. F I
HO2K 41/03 (2006.01) HO2K 41/03 A
HO2K 33/16 (2006.01) HO2K 33/16 A

請求項の数 8 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2009-293915 (P2009-293915)	(73) 特許権者	390029805 T H K株式会社 東京都品川区西五反田3丁目11番6号
(22) 出願日	平成21年12月25日(2009.12.25)	(74) 代理人	100112140 弁理士 塩島 利之
(65) 公開番号	特開2010-268672 (P2010-268672A)	(72) 発明者	岩城 純一郎 東京都品川区西五反田3丁目11番6号 T H K株式会社内
(43) 公開日	平成22年11月25日(2010.11.25)		
審査請求日	平成24年12月19日(2012.12.19)	審査官	服部 俊樹
(31) 優先権主張番号	特願2009-98601 (P2009-98601)		
(32) 優先日	平成21年4月15日(2009.4.15)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リニアモータアクチュエータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

軸線方向にN極及びS極が着磁される少なくとも一つの永久磁石を有する可動子及び固定子の一方と、

前記可動子及び前記固定子の一方を囲む第一及び第二のコイルが軸線方向に配列される前記可動子及び前記固定子の他方と、を備えるリニアモータアクチュエータにおいて、

前記第一のコイルに発生する推力と前記第二のコイルに発生する推力の位相がずれるように、前記第一及び前記第二のコイルに同一の位相の交流を流し、かつ前記第一及び前記第二のコイルの軸線方向の中心を結んだコイル中心間ピッチと前記可動子及び前記固定子の一方の磁極間ピッチとを異ならせることを特徴とするリニアモータアクチュエータ。

10

【請求項2】

前記可動子及び前記固定子の一方は、前記少なくとも一つの永久磁石として、軸線方向に配列され、同極同士が対向する第一及び第二の永久磁石を有し、

前記第一及び前記第二の永久磁石の外側の磁極の磁極間ピッチ、又は前記第一及び前記第二の永久磁石の内側の磁極の磁極間ピッチを、前記第一及び前記第二のコイルの前記コイル中心間ピッチと異ならせることを特徴とする請求項1に記載のリニアモータアクチュエータ。

【請求項3】

前記第一及び前記第二の永久磁石の外側の磁極の磁極間ピッチを前記第一及び前記第二のコイルの前記コイル中心間ピッチと異ならせ、

20

前記第一及び前記第二の永久磁石の外側には、前記第一及び前記第二の永久磁石の外側の磁極を強めるように、軸線方向にN極及びS極が着磁される第三及び第四の永久磁石が配列されることを特徴とする請求項2に記載のリニアモータアクチュエータ。

【請求項4】

前記可動子及び前記固定子の他方には、前記第一及び前記第二のコイルに電流を流していない時に、前記可動子をストロークの中心に復帰させる復帰用永久磁石が設けられることを特徴とする請求項2又は3に記載のリニアモータアクチュエータ。

【請求項5】

前記復帰用永久磁石は、前記第一及び前記第二のコイルの内側に配置され、前記第一及び前記第二の永久磁石を囲む一对のリング磁石を有し、

前記一对のリング磁石それぞれは、軸線方向にN極及びS極が着磁されることを特徴とする請求項4に記載のリニアモータアクチュエータ。

【請求項6】

前記可動子及び前記固定子の他方には、前記一对のリング磁石が同極同士が向かい合うように配置され、

前記一对のリング磁石の間には、第三のコイルが配置されることを特徴とする請求項5に記載のリニアモータアクチュエータ。

【請求項7】

前記可動子及び前記固定子の一方には、前記第一及び前記第二の永久磁石の間に中央部永久磁石が配置され、

前記中央部永久磁石の軸線方向の一方の磁極から他方の磁極までの磁極間ピッチが前記第一及び前記第二のコイルの内法よりも短く、

可動子が軸線方向の一端までストロークすると、中央部永久磁石の一方の磁極が第一及び第二のコイルの一方に入り、可動子が軸線方向の他端までストロークすると、中央部永久磁石の他方の磁極が第一及び第二のコイルの他方に入ることを特徴とする請求項2に記載のリニアモータアクチュエータ。

【請求項8】

前記可動子及び前記固定子の一方は、前記第少なくとも一つの永久磁石として、軸線方向にN極及びS極が着磁されると共に、前記第一及び前記第二のコイルの間に配置される中央部永久磁石を有し、

前記中央部永久磁石の軸線方向の一方の磁極から他方の磁極までの磁極間ピッチが前記第一及び前記第二のコイルの内法よりも短いことを特徴とする請求項1に記載のリニアモータアクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、固定子に対して可動子が一軸方向に相対的に移動するリニアアクチュエータに関し、特に、固定子に対して軸線方向の一方向に相対的に移動し、その後、移動方向を反転させて軸線方向の他方向に移動するストローク式のリニアモータアクチュエータに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、この種のストローク式のリニアモータアクチュエータとして、永久磁石及びコイルを備えるボイスコイルモータが知られている（例えば特許文献1参照）。ボイスコイルモータの作動原理は、フレミングの左手の法則、すなわち、永久磁石が作る磁界の中でコイルに電流を流したときに推力が発生する性質を利用している。コイルに交流の電流を流せば、永久磁石の磁界の範囲内でコイルが一軸方向にストロークする。ボイスコイルモータは、高速運動でできかつ安価であるという特徴を有するために、スピーカ、磁気ディスクのヘッド駆動、サーボ弁のスプール駆動等様々な用途に応用されている。

【先行技術文献】

10

20

30

40

50

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2003-154314号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、ボイスコイルモータには、永久磁石が作る磁界の範囲からボイスコイルが飛び出したとき、ボイスコイルを制御できなくなるという本質的な問題がある。永久磁石に対してボイスコイルを高速で移動させたときや、ボイスコイルのストロークを大きくとったとき、慣性によってボイスコイルが永久磁石の磁界の範囲から飛び出すことがある。ボイスコイルが永久磁石から半分以上飛び出すと、ボイスコイルに元に戻るような電流を流しても、ボイスコイルを制御することが困難になる。

10

【0005】

この問題を解決するために、従来のボイスコイルモータにおいては、ボイスコイルにばねやコーン紙等の弾性体を取り付け、弾性体の復元力を利用してボイスコイルが永久磁石の磁界の範囲に戻るようしていた。

【0006】

しかし、機械的な弾性体の復元力を利用して戻す場合、ボイスコイルの振動周波数が弾性体の固有振動数に近づき、共振すると、ボイスコイルの振動が不安定になる。このため、弾性体が共振しない周波数で振動させる必要があり、使用できる周波数が限られるという問題がある。また、固定子と可動子を弾性体で連結すると、振動方向以外の力に対しても弾性体がたわむので脆弱な構造にならざるをえないという問題もある。

20

【0007】

本発明は、従来のリニアモータアクチュエータの上記の課題を解決するためになされたものであり、機械的な弾性体の復元力を利用しなくても、可動子をストロークさせることができるリニアモータ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】

【0008】

以下、本発明について説明する。本発明の第一の態様は、軸線方向にN極及びS極が着磁される少なくとも一つの永久磁石を有する可動子及び固定子の一方と、前記可動子及び前記固定子の一方を囲む第一及び第二のコイルが軸線方向に配列される前記可動子及び前記固定子の他方と、を備えるリニアモータアクチュエータにおいて、前記第一のコイルに発生する推力と前記第二のコイルに発生する推力の位相がずれるように、前記第一及び前記第二のコイルに同一の位相の交流を流し、かつ前記第一及び前記第二のコイルの軸線方向の中心を結んだコイル中心間ピッチと前記可動子及び前記固定子の一方の磁極間ピッチとを異ならせることを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0012】

本発明の第一の態様によれば、第一及び第二のコイルに発生する推力の位相がずれるので、第一のコイルに例えば正弦波の推力を出力させ、第二のコイルに例えば余弦波の推力を出力させることができる。第一及び第二のコイルに可動子を押し引きする力を同時に作用させることができるので、ストロークの端部付近に移動して減速域に入った可動子に早めにブレーキをかけることができ、可動子を確実に振動させることができる。さらに、可動子の移動中に、第一及び第二の永久磁石が第一及び第二のコイルの中に入っている量が変化するので、第一及び第二のコイルに発生する推力をさらに多様に变化させることができる。この結果、低い周波数から高い周波数まで追従性よく、可動子を振動させることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明のリニアモータアクチュエータ（ダブルコイルタイプ）の基本構成図

50

- 【図 2】可動子の作動の原理図（コイルの個数：永久磁石の個数 = 2 : 2）
- 【図 3】可動子の作動の原理図（コイルの個数：永久磁石の個数 = 2 : 1）
- 【図 4】本発明の第一の実施形態のリニアモータアクチュエータ（ダブルコイルタイプ）の断面図
- 【図 5】固定子の分解図
- 【図 6】コイル中心間ピッチと永久磁石の磁極間ピッチの関係を示す模式図
- 【図 7】固定子から可動子を引き抜いた状態を示す断面図
- 【図 8】リニアブッシュの斜視図
- 【図 9】リニアブッシュの断面図
- 【図 10】第一及び第二のコイルの結線図（並列） 10
- 【図 11】第一及び第二のコイルの結線図の他の例
- 【図 12】第一及び第二のコイルの結線図（直列）
- 【図 13】第一及び第二のコイルに発生する逆起電力を示すグラフ
- 【図 14】可動子の動作状態の推力ベクトル図
- 【図 15】可動子の静止状態の推力ベクトル図
- 【図 16】本発明の第二の実施形態のリニアモータアクチュエータ（ダブルコイルタイプ）の模式図
- 【図 17】本発明の第二の実施形態のリニアモータアクチュエータ（ダブルコイルタイプ）の模式図
- 【図 18】複数のコイルユニットを並べた例を示す断面図 20
- 【図 19】第一及び第二のコイルの外側を筒状のヨークで囲んだ例を示す断面図
- 【図 20】本発明の第三の実施形態のリニアモータアクチュエータ（トリプルコイルタイプ）の模式図
- 【図 21】リング磁石と棒状磁石との位置関係を示す斜視図
- 【図 22】棒状磁石が移動したときに棒状磁石の働く推力を示す図（図中（a）は棒状磁石が左方向に移動した状態を示す、（b）は中心に位置した状態を示し、（c）は右方向に移動した状態を示す）
- 【図 23】一対のリング磁石に対して第一及び第二の永久磁石をずらした状態を示す模式図
- 【図 24】可動子の位置と可動子に発生する復元力（発生力）との関係を示すグラフ 30
- 【図 25】第三のコイルの両端部に形成される磁極の変化を示す図
- 【図 26】、第一ないし第三のコイルの出力を示すグラフ（図中（a）は第一及び第二のコイルの出力の合算を示し、（b）は第三のコイルの出力を示し、（c）は第一ないし第三のコイルの出力の合算を示す）
- 【図 27】固定子に一つのコイルを設けたリニアモータアクチュエータ（シングルコイルタイプ）の基本構成図
- 【発明を実施するための形態】
- 【0016】
- 以下、添付図面に基づいて本発明のリニアモータアクチュエータの実施形態を説明する。リニアモータアクチュエータの基本構成、及び作動原理を説明する。リニアモータアクチュエータには、固定子に第一及び第二のコイルを配列したダブルコイルタイプのリニアモータアクチュエータと、一つのコイルを設けたシングルコイルタイプのリニアモータアクチュエータとがある。まず、ダブルコイルタイプのリニアモータアクチュエータについて説明する。 40
- 【0017】
- 図 1 に示すように、ダブルコイルタイプのリニアモータアクチュエータの固定子 2 には、軸線を一致させた状態で二つのコイル（第一のコイル 1 a 及び第二のコイル 1 b）が配列される。第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の軸線方向の長さは互いに等しい。第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の軸線方向の中心を結んだコイル中心間ピッチは L C 1 であり、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の外法は L C 3 であり、第一及び第二のコイル 1 a , 1 50

bの内法はLC2である。第一及び第二のコイル1a, 1b間には、コイル間の間隔を空けるためのスペーサ7が介在される。第一及び第二のコイル1a, 1bのコイルから構成されるコイルユニットの外側には、スペーサ11及びカラー10を介して案内手段として直動軸受8が設けられる。直動軸受8はプッシュやスプラインであり、可動子4が直線運動するのを案内する。第一及び第二のコイル1a, 1b、スペーサ7, 11、カラー10は固定子の円筒状のヨーク内に收容される。

【0018】

軸状の可動子4は、第一及び第二のコイル1a, 1b内を貫通する。可動子4は、永久磁石の数に応じて三種類4a, 4b, 4cに分けられる。すなわち、パイプ状のロッド内に中央部永久磁石3cが配置されるタイプ4aと、第一及び第二の永久磁石3a, 3bが配置されるタイプ4bと、中央部永久磁石3c、第一及び第二の永久磁石3a, 3bが配置されるタイプ4cである。コイルの個数と永久磁石の個数との比は、それぞれ2:1、2:2、2:3になる。いずれの場合でも可動子4を振動させることができる。

10

【0019】

コイルの個数：永久磁石の個数 = 2:2とするのが基本である。コイルの個数：永久磁石の個数 = 2:2とした上で、永久磁石の外側に更に第三及び第四の永久磁石13a, 13bを配置したのが図4に示す本発明の第一の実施形態のリニアモータアクチュエータである。

【0020】

まず、コイルの個数：永久磁石の個数 = 2:2とする例について説明する。図1に示すように、ロッド14の左右両側には、棒状の第一及び第二の永久磁石3a, 3bが軸線方向に間隔を空けて配置される。これら第一及び第二の永久磁石3a, 3bは、第一及び第二のコイル1a, 1bに一対一対応する。第一及び第二の永久磁石3a, 3bそれぞれの軸線方向の両端部は、N極及びS極に着磁されている。第一及び第二の永久磁石3a, 3bは、同極が対向するように、この例ではN極同士が対向するようにロッド14に配列される。この例では、第一及び第二の永久磁石3a, 3bの内側の磁極(N極)が、外側の磁極(S極)よりも第一及び第二のコイル1a, 1bの中心に近い。そして、第一及び第二のコイル1a, 1bの中心に近い磁極(N極)の磁極間ピッチLM1を、第一及び第二のコイル1a, 1bの軸線方向の中心を結んだ中心間ピッチLC1と異ならせている。中心間ピッチLC1と磁極間ピッチLM1との差は、第一及び第二のコイル1a, 1bそれぞれのコイルの軸線方向の長さの1/8~3/8倍に設定される。詳しくは後述するが、第一及び第二のコイル1a, 1bに発生する推力の位相を90度程度ずらすためである。各永久磁石3a, 3bの軸線方向の長さは各コイル1a, 1bの軸線方向の長さよりも短い。

20

30

【0021】

なお、第一及び第二の永久磁石3a, 3bの外側の磁極が内側の磁極よりも第一及び第二のコイル1a, 1bの中心に近い場合(図4参照)、第一及び第二の永久磁石3a, 3bの外側の磁極の磁極間ピッチLM2を、第一及び第二のコイル1a, 1bの中心間ピッチLC1と異ならせればよい。

【0022】

第一及び第二のコイル1a, 1bと第一及び第二の永久磁石3a, 3bとの位置関係は、可動子4bが軸線方向の右端まで移動すると、第一の永久磁石3aが第一のコイル1a内に入り、可動子4bが軸線方向の左端まで移動すると、第二の永久磁石3bが第二のコイル1b内に入る関係にある。

40

【0023】

第一及び第二のコイル1a, 1bと第一及び第二の永久磁石3a, 3bをこのような位置関係で配列し、第一及び第一のコイル1a, 1bに位相を一致させた交流を流すと、第一及び第二のコイル1a, 1bに約90度位相がずれた推力が発生する。すなわち、第一のコイル1aに正弦波状の推力が発生し、第二のコイル1bに余弦波状の推力が発生する。第一及び第二のコイル1a, 1bに可動子4bを押し引きする力を同時に作用させるこ

50

とができ、すなわち第一及び第二のコイル 1 a , 1 b に第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の軸線方向の反対方向に作用する推力(互いに向かい合ったり、反対方向を向いたりする推力)を同時に作用させるタイミングがあるので、ストロークの端部付近に移動して減速域に入った可動子 4 b に早めにブレーキをかけることができる。しかも、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の軸線方向の中心を結んだコイル中心間ピッチ L C 1 と第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b の内側の磁極間ピッチ L M 1 とが異なるので、可動子 4 b の移動中に、第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b が第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の中に入っている量が変化する。このため、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b に発生する推力をさらに多様に変化させることができる。

【 0 0 2 4 】

可動子 4 b がストロークの端部付近(例えば図 1 中左側)に移動し、第一の永久磁石 3 a の N 極が第一のコイル 1 a から飛び出そうとしても、第二の永久磁石 3 b が第二のコイル 1 b に入っている量を大きくすることができる。このため、ストロークの端部付近での復元力を確保することができる。この結果、機械的な弾性体の復元力を利用しなくても、可動子 4 b を振動させることが可能になる。共振周波数を持つ機械的な弾性体を使用しないので、低い周波数から高い周波数まで追従性よく、可動子を振動させることができる。

【 0 0 2 5 】

次に、コイルの個数：永久磁石の個数 = 2 : 1 とし、可動子 4 a に一つの中央部永久磁石 3 c を配置する例について説明する。筒状のロッド 1 4 の中央部には円柱状の一つの中央部永久磁石 3 c が配置される。中央部永久磁石 3 c は軸線方向に着磁され、すなわちその両端部が N 極及び S 極に着磁されている。中央部永久磁石 3 c の軸線方向の長さ L M 3 は、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の外法 L C 3 よりも短ければよく、この例では内法 L C 2 の長さよりも短く設定される。このため、中央部永久磁石 3 c を第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の中心に配置した状態で、中央部永久磁石 3 c の軸線方向の外側に第一のコイル 1 a 及び第二のコイル 1 b が配置される。中央部永久磁石 3 c の軸線方向の長さは各コイル 1 a , 1 b の軸線方向の長さよりも短く設定される。第一及び第二のコイル 1 a , 1 b と中央部永久磁石 3 c との位置関係は、可動子 4 a が軸線方向の一端まで移動すると、中央部永久磁石 3 c の一方の磁極が第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の一方に入り、可動子 4 a が軸線方向の他端まで移動すると、中央部永久磁石 3 c の他方の磁極が第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の他方に入る関係にある。

【 0 0 2 6 】

第一及び第二のコイル 1 a , 1 b と中央部永久磁石 3 c をこのような位置関係で配列し、第一及び第一のコイル 1 a , 1 b に位相を一致させた交流を流すと、可動子 4 a が振動する。

【 0 0 2 7 】

コイルの個数：永久磁石の個数 = 2 : 3 とし、可動子 4 c に三つの永久磁石が配置されるタイプの可動子 4 c において、ロッド 1 4 の左右両側には円柱状の第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b が配置され、ロッド 1 4 の中央には円柱状の中央部永久磁石 3 c が配置される。第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b の位置、長さ及び磁極は、上記第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b が配置されるタイプの可動子 4 b と同一である。中央部永久磁石 3 c の位置、長さ及び磁極は、上記一つの中央部永久磁石 3 が配置されるタイプの可動子 4 a と同一である。

【 0 0 2 8 】

図 2 は、コイルの個数：永久磁石の個数 = 2 : 2 にしたときの、可動子 4 b の動作原理図を示す。この例では、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b には、同一の位相の交流が流され、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の両端部には、左側から順番に例えば N , S , N , S の磁極が形成される。第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b は、同極が対向するように、左側から順番に例えば S , N , N , S が形成される。第一のコイル 1 a の両端部には、N S n s S N s n N S の順番に磁極が形成される。第二のコイル 1 b の両端部には、N S n s S N s n N S の順番に磁極が形成される。ここで、大文字の磁極の磁

10

20

30

40

50

場は小文字の磁極の磁場よりも強いことを表す。

【 0 0 2 9 】

第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の軸線方向の中心と第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b の軸線方向の中心とをほぼ一致させた状態（可動子 4 b をストロークの中心に配置した状態）で、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b に同一の位相の交流を流すと、第一のコイル 1 a の左側に配置される第一の永久磁石 3 a が第一のコイル 1 a に反発する。そして、第二のコイル 1 b の右側に配置される第二の永久磁石 3 b が第二のコイル 1 b に吸引される。このため、可動子 4 b が図中左方向に移動する（S 1）。第二の永久磁石 3 b が第二のコイル 1 b 内に入った状態（S 2）で、第二のコイル 1 b に流れる電流を反転させると、第二の永久磁石 3 b には第二のコイル 1 b から大きな反発力が作用し、可動子 4 b が図中
10
右方向に移動する（S 3）。可動子 4 b がストロークの中心を通過するとき、可動子 4 b には図中右方向の推力が作用する。第一の永久磁石 3 a が第一のコイル 1 a 内に入った段階（S 4）で第一のコイル 1 a に流れる電流を反転させると、第一の永久磁石 3 a には第一のコイル 1 a から大きな反発力が作用し、可動子 4 b が図中左方向に移動する（S 5）。そして、可動子 4 b はストロークの中心に戻る。

【 0 0 3 0 】

第一の永久磁石 3 a 及び第一のコイル 1 a から構成される第一のモータ、並びに第二の永久磁石 3 b 及び第二のコイル 1 b から構成される第二のモータを、互いに向かい合わせ、押し合いながら動作するようにしているので、第一及び第二のモータはそれぞれが自己
20
完結している。このため、第一の永久磁石 3 a 及び第一のコイル 1 a の N・S の向きが反対であってもよく、また第二の永久磁石 3 b 及び第二のコイル 1 b の N・S の向きも反対であってもよい。

【 0 0 3 1 】

図 3 は、コイルの個数：永久磁石の個数 = 2 : 1 のときの、可動子 4 a の動作原理図を示す。第一及び第二のコイル 1 a , 1 b には、同一の位相の交流が流される。第一及び第二のコイル 1 a , 1 b それぞれの両端部には、同極が向かい合うように磁極が形成される。すなわち、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b には、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の
30
軸線方向の中心を境にして N 極及び S 極が対称に形成される。第一のコイル 1 a の両端部には、S N s n N S n s S N の順番に磁極が形成される。第二のコイル 1 b の両端部には、N S n s S N s n N S の順番に磁極が形成される。ここで、大文字の磁極の磁場は小文字の磁極の磁場よりも強いことを表す。

【 0 0 3 2 】

中央部永久磁石 3 c は、第一のコイル 1 a 及び第二のコイル 1 b が発する磁場内に配置されている。可動子 4 a の中央部永久磁石 3 c を第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の軸線方向の中心に位置させた状態で、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b に同一の位相の交流を流すと、中央部永久磁石 3 c は第一のコイル 1 a に吸引され、かつ第二のコイル 1 b に反発し、図中左方向に移動する（S 1）。左方向に移動した中央部永久磁石 3 c は、さらに
40
第一のコイル 1 a に吸引され、第一のコイル 1 a 内に入る（S 2）。中央部永久磁石 3 c が第一のコイル 1 a 内に入った段階で第一のコイル 1 a に流れる電流の方向を反転させると、第一のコイル 1 a から中央部永久磁石 3 c に大きな反発力が作用し、可動子 4 a は図中右方向に移動する（S 3）。ストロークの中心まで移動した後、第二のコイル 1 b の吸引力によって第二のコイル 1 b 内に入る（S 4）。第二のコイル 1 b に流れる電流の方向を反転させると、第二のコイル 1 b から永久磁石に大きな反発力が作用し、永久磁石 3 c は図中左方向に移動する（S 5）。この繰り返しにより可動子 4 a が振動する。

【 0 0 3 3 】

図 4 は、本発明のダブルコイルタイプのリニアモータアクチュエータの第一の実施形態を示す。リニアモータアクチュエータは、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b を有する固定子 2 と、第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b を有する可動子 4 と、を備える。コイルの個数と永久磁石の個数との比は 2 : 2 である。

【 0 0 3 4 】

10

20

30

40

50

固定子 2 の外形をなす円筒形状のケース 5 内には、二つの環状のコイル 1 a , 1 b が軸線を一致した状態で収納される。ケース 5 は磁性体であっても非磁性体であってもよい。ケース 5 を磁性体にすると、第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b から発生する磁束がケース 5 に導かれ、当該磁束が第一及び第二のコイル 1 a , 1 b に直交し易くなるので、可動子 4 に大きな推力を働かせることができる。各コイル 1 a , 1 b は両端にフランジを有する筒状のボビン 6 に巻かれる。ボビン 6 間には、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b 間に間隔を空けるための非磁性体のスペーサ 7 が介在される。第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の軸線方向のコイル長さは実質的に同一である。

【 0 0 3 5 】

第一及び第二のコイル 1 a , 1 b がコイルユニットを構成する。コイルユニットの軸線方向の外側には、可動子 4 が直線運動するのを案内する案内手段として二つのリニアブッシュ 8 が設けられる。各リニアブッシュ 8 は、止め輪 9 によってカラー 1 0 に固定される。カラー 1 0 はケース 5 の軸線方向の両端部に固定される。一对のリニアブッシュ 8 の軸線方向の外側には、復帰用永久磁石として、リング形状の一对の反発磁石 1 2 a , 1 2 b が設けられる。この反発磁石 1 2 a , 1 2 b は、後述する可動子 4 の外側永久磁石 1 3 a , 1 3 b と反発し合う。このため、外部からの力がかかっていないとき、可動子 4 がストロークの中央の原点で、すなわち可動子 4 が第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の軸線方向の中心位置でバランスがとれるようになる。また、反発磁石 1 2 a , 1 2 b を設けることで、電源をオフにしたときに可動子 4 が固定子 2 から抜け落ちるのを防止することができる。特に可動子 4 を縦に向けて使用するときには有効である。可動子 4 を原点からずれた所定位置で止めたいときには、左右の反発磁石 1 2 a , 1 2 b の磁力の大きさを異ならせればよい。

【 0 0 3 6 】

図 5 は、ケース 5 内に收容されるスペーサ 7、コイル 1 a , 1 b、リニアブッシュ 8 及びカラー 1 0 の分解図を示す。一对のコイル 1 a , 1 b、一对のリニアブッシュ 8 は、スペーサ 7 を中心として左右対称に配列される。

【 0 0 3 7 】

図 4 に示すように、可動子 4 は、パイプ状のロッド 1 4 と、ロッド 1 4 内に收容される二つの永久磁石 3 a , 3 b と、を備える。ロッド 1 4 は合成樹脂等の非磁性材料からなる。ロッド 1 4 はリニアブッシュ 8 に支持されていて、ロッド 1 4 とボビン 6 との間には環状の僅かな磁氣的なすきまが空く。

【 0 0 3 8 】

ロッド 1 4 内には、第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b がスペーサ 1 5 を介して配置される。第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b の磁極 (N 極及び S 極) は、ロッド 1 4 の軸線方向に一直線に配列される。第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b は、同極 (この実施形態では S 極) が対向するように配置される。第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b の軸線方向の長さは実質的に同一である。各コイル 1 a , 1 b の軸線方向の長さは各永久磁石 3 a , 3 b の軸線方向の長さよりも長い。第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b の外側の磁極間ピッチ (N 極 - N 極間ピッチ) は、好ましくは第一及び第二のコイルのコイル中心間ピッチよりもコイル長の $1/8 \sim 3/8$ 倍程度長い。

【 0 0 3 9 】

図 6 に示すように、この実施形態では、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の中心間の距離 $LC1$ と二つの永久磁石 3 a , 3 b の外側の磁極間の距離 $LM2$ とのずれ量 $L3$ は、コイル長さ $L4$ の $1/4$ ($1/4$ 波長) に設定される。例えばコイル長さが 10 mm、永久磁石長さが 6 mm、コイル間のスペーサ長さが 6 mm のとき、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の中心を結んだ距離 $L1$ は、 $LC1 = 5 + 6 + 5 = 16$ mm になる。二つの永久磁石 3 a , 3 b の外側の磁極間の距離 $LM2$ は、コイル長さ $L4$ の $1/4$ だけ長い必要があるので、 $LM2 = 16 + 10/4 = 18.5$ になる。 $LC1$ と $LM2$ のずれ量はコイル長さの $1/4$ に限られることはなく、好ましくはコイル長さの $1/8 \sim 3/8$ の範囲にあればよい。可動子 4 がストロークの一端に移動するとき、第一の永久磁石 3 a の磁極 (この

10

20

30

40

50

例ではN極)が第一のコイル1 aの軸線方向の中心に近付き、第二の永久磁石3 bの磁極(この例ではN極)が第二のコイル1 bの軸線方向の中心から遠ざかる。可動子4がストロークの他端に移動するとき、第二の永久磁石3 bの磁極(この例ではN極)が第二のコイル1 bの軸線方向の中心に近付き、第一の永久磁石3 aの磁極(この例ではN極)が第一のコイル1 aの軸線方向の中心から遠ざかる。

【0040】

図4に示すように、反発する二つの永久磁石3 a, 3 b間には、スペーサ1 5が介在される。スペーサ1 5を介在させることで、スペーサ1 5から放射状に第一及び第二のコイル1 a, 1 bに作用する磁力線を形成することができる。スペーサ1 5には、樹脂等の非磁性材料、鉄等の磁性材料のいずれが用いられてもよい。スペーサ1 5に磁性材料を使用すれば、磁気抵抗が少なくなるのでより多数の磁力線を形成することが可能になる。

10

【0041】

二つの永久磁石3 a, 3 bの外側には、第三及び第四の永久磁石1 3 a, 1 3 bが配置される。第三及び第四の永久磁石1 3 a, 1 3 bは、第一及び第二の永久磁石3 a, 3 bに対して同極が対向するように配置される。この実施形態では、第一及び第二の永久磁石3 a, 3 bのN極に第三及び第四の永久磁石のN極が対向している。第一及び第二の永久磁石3 a, 3 bと第三及び第四の永久磁石1 3 a, 1 3 bとの間には、反発系の磁力線を形成し易くするためのスペーサ1 6が介在される。第三及び第四の永久磁石1 3 a, 1 3 bを配置することにより、第一及び第二の永久磁石3 a, 3 bの外側の磁極(N極)が発する磁界を強めることができ、可動子4を力強く振動させることができる。

20

【0042】

第三及び第四の永久磁石1 3 a, 1 3 bの軸線方向の長さは、第一及び第二の永久磁石3 a, 3 bの軸線方向の長さよりも長い。外側永久磁石1 3 a, 1 3 bの一軸方向の長さを長くすればするほど、二つの永久磁石3 a, 3 bの外側の磁極(N極)に発生する磁界を強めることができ、可動子4を力強く振動させることができる。

【0043】

可動子4のロッド1 4の両端部は二つの蓋部材1 7によって塞がれる。二つの蓋部材1 7は、ロッド1 4の両端部に固定され、永久磁石3 a, 3 b及び外側永久磁石1 3 a, 1 3 bを挟む。

【0044】

図7は、固定子2から可動子4を引き抜いた状態を示す。可動子4と固定子2とは板ばね等の弾性体で連結されておらず、可動子4の一軸方向への直線運動は固定子2のリニアブッシュ8によって案内されるだけである。可動子4を一軸方向へ引き出すと、固定子2から可動子4を完全に分離することが可能になる。

30

【0045】

図8は可動子4を案内するリニアブッシュ8の斜視図を示し、図9はリニアブッシュ8の断面図を示す。リニアブッシュ8は、金属製の外筒2 1と、外筒2 1の内周面を転がり運動する多数のボール2 2と、多数のボール2 2を一定の間隔に保持する保持器2 3と、を備える。固定子2に対して可動子4が移動するのに伴い、多数のボール2 2が外筒2 1の内周面と可動子4の外周面との間を転がり運動する。保持器2 3は円筒形状に形成されると共に、その内周から外周まで貫通する多数の孔2 3 aを有する。この多数の孔2 3 aに多数のボール2 2が回転可能に保持される。保持器2 3の軸線方向の長さは、外筒2 1の軸線方向の長さよりも短い。保持器2 3は多数のボール2 2と共に外筒2 1内を有限ストロークする。

40

【0046】

リニアブッシュ8を使用することにより、固定子2に対する可動子4の一軸方向の滑らかな直線運動が可能になり、一軸方向以外には高剛性の構造体を実現できる。従来のボイスコイルモータのように可動子4と固定子2を板ばね等の弾性体で連結する必要がないので、ラインアップの容易化、メンテナンスの容易化が可能になる。

【0047】

50

また、多数のボール 2 2 の間隔を一定に保つ保持器 2 3 を設けることにより、コイル 1 a , 1 b や永久磁石 3 a , 3 b の磁力によりボール 2 2 同士が吸引するという問題を解決できる。ボール 2 2 は磁性体でも非磁性体でもよい。ボール 2 2 に磁性体を用いた場合、保持器 2 3 のないリニアブッシュ 8 を使用すると、磁力でボール 2 2 同士が吸引し合うので、寿命低下、精度低下、発熱等の問題が起こりうる。ボール 2 2 を樹脂、セラミックス等の非磁性体にすれば、ボール 2 2 同士が吸引するのを防止できる。

【 0 0 4 8 】

リニアブッシュの代わりにボールスプラインを使用すれば、可動子 4 の回り止めも可能になる。ボールスプラインのボールは磁性体でも非磁性体でもよい。

【 0 0 4 9 】

図 1 0 ないし図 1 2 は、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の結線図を示す。図 1 0 及び図 1 1 は第一及び第二のコイル 1 a , 1 b を並列に接続した例を示し、図 1 2 は直列に接続した例を示す。図 1 0 は、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の向かい合う側が同一の極になるように結線された反発系を示し、図 1 1 は、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の向かい合う側が反対の極になるように結線された吸引系を示す。反発系の配線にしても吸引系の配線にしても、可動子 4 を振動させることは可能である。

【 0 0 5 0 】

図 1 0 に示すように、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b には、交流電源 1 9 から図中実線で示す単相交流が流される。第一及び第二のコイル 1 a , 1 b に単相交流を流すことによって、可動子 4 が軸線方向に移動する。可動子 4 が移動すると、第一の永久磁石 3 a が発する磁力線が第一のコイル 1 a を所定の速度で横切り、第二の永久磁石 3 b が発する磁力線が第二のコイル 1 b を所定の速度で横切る。このため、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b には逆起電力が発生する。例えば、可動子 4 が図中右方向に移動するとき、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の両端部には、可動子 4 の右方向への移動を妨げるような磁極が発生する。この電磁誘導により、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b には、図中破線で示す逆起電力が発生する。

【 0 0 5 1 】

図 1 3 は、可動子 4 を移動させたときに各コイル 1 a , 1 b に発生する逆起電力を示す。上述のように、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の中心間のピッチと第一及び第二の永久磁石 3 a , 3 b の外側の磁極間のピッチは、コイル長さの 1 / 4 ずれている。このため、可動子 4 を移動させたとき、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b には、90 度位相がずれた正弦波状の逆起電力が発生する。第一及び第二のコイル 1 a , 1 b の全体に発生する逆起電力は、各コイル 1 a , 1 b に発生する逆起電力を合算したものになるので、90 度位相をずらすことにより、各コイル 1 a , 1 b が発する逆起電力が互いに打ち消し合う。逆起電力の合算値は、各コイルに発生する逆起電力の 2 倍未満 (90 度位相がずれたときは 2 倍) になる。もし、逆起電力が大きくなると、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b に流れる電流が減るので、可動子を高速で振動させることができなくなる。本実施形態のように、逆起電力を低減することにより、可動子 4 を高速で振動させることが可能になる。

【 0 0 5 2 】

図 1 4 は、動作中の可動子 4 に働く推力ベクトル、すなわち遅れ角を考慮した推力ベクトルを示す。第一及び第二のコイル 1 a , 1 b に位相を一致させた交流を流すと、第一のコイル 1 a に流れる電流と第一の永久磁石 3 a の外側の磁極の磁界との相互作用により、可動子 4 の軸線方向の推力が働く。また第二のコイル 1 b と第二の永久磁石 3 b の外側の磁極との間にも、第二のコイル 1 b に流れる電流と第二の永久磁石 3 b の外側の磁極の磁界との相互作用により、可動子 4 の軸線方向の推力が働く。これらの推力が第一及び第二のコイル 1 a , 1 b に発生する推力である。モータの場合、推力は遅れ角 (= 指令角 - 出力角) が原因で発生する。すなわち、第一及び第二のコイル 1 a , 1 b に指令 $\sin t$ を入力したとすると、可動子 4 の出力は $\sin (t + \)$ のように角度 $\$ の分だけ遅れており、この遅れ角が推力に変換される。

【 0 0 5 3 】

10

20

30

40

50

図14に示すように、図中NSの文字の大きさは、コイルに発生する磁界の大きさを表す。第一及び第二のコイル1a, 1bに所定の周波数の交流を流すと、可動子も同じ周波数で振動する。しかし、駆動周波数にもよるが、可動子の位相は静止状態の位相(図15参照)に比較して、位相角で30~60度遅れていることが計測で確認されている。図14には、可動子の位置を8つの状態(45度ずつ)に分けた状態が示されている。図14の動作状態の可動子の位相は、図15に示す静止状態の可動子の位相よりも一段階遅れている。

【0054】

図14に示すように、可動子4が原点に位置するとき、第一及び第二のコイル1a, 1bから第一及び第二の永久磁石3a, 3bには、左方向の推力が発生する(S1)。このため、可動子4は左方向に移動する。可動子4が左方向に移動している間、第一の永久磁石3aが第一のコイル1a内に入っている量、第二の永久磁石3bが第二のコイル1b内に入っている量が変化し、可動子4に与えられる推力の大きさも変化する(S2)。可動子4がストロークの左端まで移動したとき、可動子4には右方向の推力が与えられる。可動子4には第一及び第二のコイル1a, 1bからだけでなく、反発磁石12aからも右方向の推力が与えられる。これにより、可動子4は移動方向を反転させ、右方向に移動し始める(S3)。可動子4が右方向に移動し始めた後に、第一及び第二のコイル1a, 1bに流れる電流が瞬間的に零になる(S4)。その後、第一及び第二のコイル1a, 1bに流れる電流が反転し、第一及び第二のコイル1bから第一及び第二の永久磁石3a, 3bに右方向の推力が与えられる(S5)。S5の可動子4に与えられる推力の大きさはS1のときの推力と同一である。その後、可動子4が右方向に移動する。可動子4が右方向に移動している間、第一及び第二の永久磁石3a, 3bが第一及び第二のコイル1a, 1b内に入っている量が変化し、可動子4に与えられる推力の大きさも変化する(S6)。可動子4がストロークの右端まで移動したとき、可動子4には左方向の推力が与えられる(S7)。可動子4が移動方向を反転させた後に第一及び第二のコイル1a, 1bから可動子4に与えられる推力は零になる(S8)。第一及び第二のコイル1a, 1bに交流を流し続ける限り、可動子4も同じ周期で振動し続ける。

【0055】

図15は、可動子の静止状態の推力ベクトル図を示す。第一及び第二のコイル1a, 1bに一定の大きさの直流を流したと仮定すると、可動子4は第一及び第二のコイル1a, 1bに発生する推力がバランスする点で静止する。そして、第一及び第二のコイル1a, 1bに流れる電流を変化させると、可動子4は第一及び第二のコイル1a, 1bに発生する推力がバランスする点で静止する。このことから、本実施形態のリニアモータアクチュエータは、振動アクチュエータだけでなく、一軸方向に移動する可動子4の位置を制御するアクチュエータとしても使用できることがわかる。第一及び第二のコイル1a, 1bの中心間ピッチに対して第一及び第二の永久磁石3a, 3bの磁極のピッチをずらし、可動子4に二つの推力ベクトルを作用させることによって、可動子4の位置制御が可能になる。なお、反発磁石12a, 12bも可動子4の静止する位置を左右する。

【0056】

図16及び図17は、本発明のダブルコイルタイプのリニアモータアクチュエータの第二の実施形態を示す。第一及び第二のコイル31a, 31b間に反発磁石38を配置した点、第一及び第二の永久磁石39a, 39bの磁極間ピッチL2を第一及び第二のコイル31a, 31bの中心間ピッチL1よりも長くした点(図17参照)が上記第一の実施形態のリニアモータアクチュエータと異なる。その他の構成は上記第一の実施形態のリニアモータアクチュエータと同一である。

【0057】

固定子32には、軸線を一致させた状態で第一及び第二のコイル31a, 31bが配列される。第一及び第二のコイル31a, 31b間には、可動子34の永久磁石39a, 39bと反発し、可動子34をストロークのほぼ中央に戻すリング状の反発磁石38が設けられる。反発磁石38の軸線方向の両端部はN極及びS極に着磁される。この反発磁石3

10

20

30

40

50

8はコイル31a, 31b間の間隔を空けるためのスペーサの役割も持つ。第一及び第二のコイル31a, 31bから構成されるコイルユニットの外側には、スペーサ35及びカラー36を介して直動軸受37が設けられる。直動軸受37はブッシュやスプラインであり、可動子34が直線運動するのを案内する。

【0058】

第一及び第二のコイル31a, 31b間に一つの反発磁石38を設けることで、反発磁石38の個数を減らすことができる。また図18に示すように、推力を上げるためにコイルユニットを複数並べた場合、モジュール化した第一のコイル31a、反発磁石38及び第二のコイル31bを軸線方向に順番に並べればよいので有利になる。さらにコイルユニットの外側に反発磁石が配置されることがないので、外部の鉄部品に反発磁石が吸引されるおそれもなくなる。

10

【0059】

図17に示すように、可動子34には、第一及び第二の永久磁石39a, 39bが軸線方向に間隔を空けて配列される。第一及び第二の永久磁石39a, 39bは向かい合う側が異極になるように例えば左側からS極、N極, S極、N極になるように配列される。第一及び第二の永久磁石39a, 39bから構成される永久磁石ユニットの軸線方向の両端部は、第一及び第二のコイル31a, 31bから構成されるコイルユニットの軸線方向の両端部から飛び出している。

【0060】

図17の下段に示すように、可動子34には一つの中央部永久磁石41を配置してもよい。この中央部永久磁石41の軸線方向の長さは、第一及び第二のコイル31a, 31bの内側の距離よりも長く、外側の距離よりも短く設定される。中央部永久磁石41の両端部には、円錐形の鉄等の磁性材料42を配置してもよい。こうすると、中央部永久磁石41の両端部の磁力線が滑らかに減るので、可動子34のストロークを長くしたり、可動子34の動きを滑らかにしたりすることが可能になる。

20

【0061】

図19は、第一及び第二のコイル31a, 31bの外側を鉄等の磁性材料からなる筒状のヨーク43で囲んだ例を示す。ヨーク43には、コイルユニットの軸線方向の両端部を覆う端部壁43aが設けられる。このヨーク43により、磁石ユニットの軸線方向の両端部からヨーク43を通過して反発磁石38に向かう磁気回路44が形成されるので、吸引力がより強くなり、可動子34を力強く振動させることができる。

30

【0062】

図20は、本発明の第三の実施形態のリニアモータアクチュエータ(トリプルコイルタイプ)を示す。固定子50が第一及び第二のコイル51a, 51bを有する点、可動子56が第一ないし第四の永久磁石53a, 53b, 54a, 54bを有する点は、第一の実施形態のリニアモータアクチュエータと同一である。固定子50の第一及び第二のコイル51a, 51bの間に反発磁石として一对のリング磁石55a, 55bを配置している点、及び固定子50の第一及び第二のコイル51a, 51bの間にさらに第三のコイル52を配置している点が、第一の実施形態のリニアモータアクチュエータと異なる。

【0063】

一对のリング磁石55a, 55bそれぞれは、第一の永久磁石53a又は第二の永久磁石53bを囲む。一对のリング磁石55a, 55bそれぞれの軸線方向の長さは、第一及び第二の永久磁石53a, 53bの軸線方向の長さよりも短い。可動子56がストロークの中心に位置するとき、一方のリング磁石55aは第一の永久磁石53aの軸線方向の長さの範囲内に位置し、他方のリング磁石55bは第二の永久磁石53bの軸線方向の長さの範囲内に位置する。ただし、一对のリング磁石55a, 55bそれぞれの中心は、第一及び第二の永久磁石53a, 53bそれぞれの中心から所定のシフト量ずれている(図23参照)。

40

【0064】

固定子50の第一及び第二のコイルの51a, 51b外側には、スペーサ57、カラー

50

58を介してスプラインナット59及びボールブッシュ60が取り付けられる。可動子56のロッド61の一方の端部には、スプライン溝が形成されるスプラインシャフト62が取り付けられ、他方の端部には、断面が円形状のブッシュ用シャフト63が取り付けられる。スプラインシャフト62及びスプラインナット59は、可動子56を回り止めさせる機能を持つ。ボール同士の接触を防止するために、スプラインナット59及びボールブッシュ60には、ケージが組み込まれる。

【0065】

図21は、一对のリング磁石55a, 55bと第一及び第二の永久磁石53a, 53bとの位置関係を示す斜視図である。円盤状のリング磁石55a, 55bには、軸線方向にS極及びN極が着磁される。第一及び第二の永久磁石53a, 53bにも、軸線方向にS極及びN極が着磁される。リング磁石55a, 55bのN極S極と第一及び第二の永久磁石53a, 53bのN極S極の向きを反対にすると、第一及び第二の永久磁石53a, 53bはその軸線方向の中心がリング磁石55a, 55bの軸線方向の中心に位置する。

10

【0066】

図22(a)に示すように、第一及び第二の永久磁石53a, 53bをリング磁石55a, 55bの中心から左側に移動させると、第一及び第二の永久磁石53a, 53bには右方向に復元力が働く。図22(b)に示すように、第一及び第二の永久磁石53a, 53bの中心がリング磁石55a, 55bの中心に一致すると、バランス状態になり、第一及び第二の永久磁石53a, 53bはそのままの位置を保とうとする。図22(c)に示すように、第一及び第二の永久磁石53a, 53bをリング磁石55a, 55bの中心から右側に移動させると、第一及び第二の永久磁石53a, 53bには左方向に復元力が働く。リング磁石55a, 55bの軸線方向の両方の磁極を復元する力に利用しているため、体積効率(復元力/体積)を高くすることができる。

20

【0067】

図23に示すように、一对のリング磁石55a, 55bそれぞれの中心を第一及び第二の永久磁石53a, 53bそれぞれの中心からずらすことにより、可動子56がストロークの中心に位置するとき予圧がかかった状態にすることができる。図24は、可動子56の位置と可動子56に発生する復元力(発生力)との関係を示す。可動子56に働く復元力は、第一の永久磁石53aに働く復元力と第二の永久磁石53bに働く復元力を合算したものになる。合算することにより、原点付近でも変位に比例した復元力を働かせることができるので、可動子56を原点に戻し易くなることがわかる。また、図23に示すように、一对のリング磁石55a, 55bを固定子50の第一及び第二のコイル51a, 51bの内側に配置することで、一对のリング磁石55a, 55bから外部に磁気が漏れ、異物が吸着される危険性を低減することができる。

30

【0068】

第一及び第二のコイル間51a, 51bに介在される第三のコイル52について説明する。図20に示すように、第一及び第二のコイル51a, 51bの間であって、かつ一对のリング磁石55a, 55bの間には、第三のコイル52が配置される。一对のリング磁石55a, 55bは、同極同士が向かい合うように固定子50に配列されている。

【0069】

図25は、第三のコイル52の両端部に形成される磁極の変化を示す。この図に示すように、第三のコイル52には、第一及び第二のコイル51a, 51bと同一位相の交流が流される。第三のコイル52の巻き方向は第一及び第二のコイル51a, 51bの巻き方向と反対であり、第三のコイル52の軸線方向の両端部には、第一及び第二のコイル51a, 51bとは反対の磁極が形成される。第三のコイル52の巻き方向を第一及び第二のコイル51a, 51bの巻き方向と同一にし、逆方向から通電しても第三のコイル52に逆の磁極を形成することができる。第一ないし第三のコイル51a, 51b, 52に同一の位相の交流を流すと、各コイルの軸線方向の両端部には、図中各ボビン内磁界分布で示すN極及びS極が形成される。固定子全体でみた場合、水平線のハッチングで示す部分の磁界が打ち消し合い、斜線のハッチングで示す部分の磁界が強め合う。このため、コイル

40

50

5 1 a , 5 1 b , 5 2 とリング磁石 5 5 a , 5 5 b の出力が同じだと仮定すると、固定子 5 0 全体の磁界の強度は図中固定子内磁界分布に示す状態になる。この固定子内磁界分布により、図 2 5 中 (a) に示すように、可動子 5 6 が左端に移動したときは、可動子 5 6 には右方向に復元力が働き、図中 (c) に示すように、可動子 5 6 が右端に移動したときは、可動子 5 6 に左方向に移動させる復元力が働く。第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b の間に第三のコイル 5 2 を介在することで、さらに力強く、かつ大きな振幅で可動子 5 6 を振動させることができることがわかる。

【 0 0 7 0 】

図 2 6 は、第一ないし第三のコイルの出力を示す。図中 (a) は第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b の出力を示す。この例では、第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b の出力の位相は互いに $\pi/4$ ずれている。このため、第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b の出力を合算した値は、第一のコイル 5 1 a 単独の出力の 1.8 倍になる。図中 (b) は第三のコイル 5 2 の出力を示す。第三のコイル 5 2 の出力を第一のコイル 5 1 a の出力の 1.8 倍にすることにより、第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b の合算の出力の大きさと第三のコイル 5 2 の出力の大きさを一致させることができる。大きさを一致させることで、図中 (c) に示すように、第一ないし第三のコイルの合算した出力をきれいな正弦波に近付けることができる。このため、可動子 5 6 の時間 - 変位曲線もきれいな正弦波に近付けることができる。なお、ステレオアンプを使用し、第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b の出力に対して第三のコイル 5 2 の出力に位相差を設け、出力のピークを合わせるようにすれば、より効率のよい出力が可能になる。

【 0 0 7 1 】

ここで、第三のコイル 5 2 の出力を第一のコイル 5 1 a の出力の 1.8 倍にするためには、第三のコイル 5 2 のアンペア・ターンを第一のコイル 5 1 a の 1.8 倍にすればよい。すなわち、第三のコイル 5 2 に流す電流 \times 巻き数 = 第一のコイル 5 1 a に流す電流 \times 巻き数 \times 1.8 にすればよい。

【 0 0 7 2 】

例えばコイルに 10V の電圧をかけた場合の出力は、

$$\text{第三のコイル} = 1500[\text{T}] \times 111[\text{mA}] = 166.5[\text{AT}]$$

$$\text{第一のコイル} = \text{第二のコイル} = 2400[\text{T}] \times 45[\text{mA}] = 108.0[\text{AT}]$$

$$\text{出力比} (= \text{アンペアターン比}) \text{で考えると、} 166.5/108.0 = 1.54 \quad 1.8$$

1.54 と 1.8 の差は、計算上、第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b のインダクタンスを考慮していないために生じている。実際の第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b の出力は 108.0[AT] より低い。第三のコイル 5 2 に逆の結線をしたところ、上記の出力比で可動子 5 6 が動かなかったので、第三のコイル 5 2 の出力が第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b の合算した出力とほぼ等しくなることが確認できた。

【 0 0 7 3 】

可動子 5 6 を振動させる原理上、第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b の中心間ピッチと磁極間ピッチをずらす必要がある。このことから、第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b 間には空隙が空き易い。第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b 間に第三のコイル 5 2 を配置することで、無駄なスペースを減らすことができ、また体積効率 (出力 / 堆積) を上げることができる。さらに、第三のコイル 5 2 の出力を第一及び第二のコイル 5 1 a , 5 1 b の出力よりも大きくすることで、上述のように第一ないし第三のコイル 5 1 a , 5 1 b , 5 2 を合算した出力を正弦波に近付けることができる。

【 0 0 7 4 】

図 2 7 は、固定子 6 1 に一つだけのコイル 6 3 を設けたシングルコイルタイプのリニアモータアクチュエータの基本構成を示す。コイル 6 3 内の空間を可動子 4 が貫通する。一つのコイル 6 3 の軸線は可動子 6 2 の振動に一致する。コイル 6 3 の軸線方向の両側には、スペーサ 6 4 及びカラー 6 5 を介して直動軸受 6 6 が設けられる。直動軸受 6 6 ブッシュやスプラインであり、可動子 6 2 が直線運動するのを案内する。コイル 6 3、スペーサ 6 4、カラー 6 5、直動軸受 6 6 は固定子 6 1 の円筒状のヨーク内に収容される。

【 0 0 7 5 】

可動子 6 2 は、パイプ状のロッド 6 8 と、ロッド 6 8 内に間隔を空けて配置される第一及び第二の永久磁石 6 7 a , 6 7 b と、を備える。コイル 6 3 の個数と永久磁石 6 7 a , 6 7 b の個数との比は 1 : 2 である。第一及び第二の永久磁石 6 7 a , 6 7 b それぞれの軸線方向の両端部は N 極及び S 極に着磁されていて、同極同士 (N 極同士又は S 極同士) が対向するように配列される。第一及び第二の永久磁石 6 7 a , 6 7 b の内側の距離 L 4 はコイル 6 3 の軸線方向の長さ L 3 よりも長い。このため、コイル 6 3 の軸線方向の外側に第一及び第二の永久磁石 6 7 a , 6 7 b が配置される。なお、第一及び第二の永久磁石 6 7 a , 6 7 b から構成される永久磁石ユニットの軸線方向の一方の端部から他方の端部までの長さ L 5 は、コイル 6 3 の軸線方向の長さよりも長ければよく、第一及び第二の永久磁石 6 7 a , 6 7 b の内側がコイル 6 3 の軸線方向の両端部内に入っているもよい。各永久磁石 6 7 a , 6 7 b の軸線方向の長さはコイル 6 3 の軸線方向の長さよりも短い。コイル 6 3 と第一及び第二の永久磁石 6 7 a , 6 7 b との位置関係は、可動子 6 2 が軸線方向の一端まで移動すると、第一及び第二の永久磁石 6 7 a , 6 7 b の一方がコイル 6 3 内に入り、可動子 6 2 が軸線方向の他端まで移動すると、第一及び第二の永久磁石 6 7 a , 6 7 b の他方がコイル 6 3 内に入るという関係にある。

10

【 0 0 7 6 】

コイル 6 3 に単相交流を流すと、コイル 6 3 の両端部には、S N s n N S n s S N の順番に磁極が形成される。例えばコイル 6 3 の左端部に S 極が右端部に N 極が形成された場合、コイル 6 3 と第一の永久磁石 6 7 a が吸引し合い、コイル 6 3 と第二の永久磁石 6 7 b とが反発し合う。このため、可動子 6 2 は図中右方向に移動する。可動子 6 2 の図中右方向への移動に伴い、第一の永久磁石 6 7 a がコイル 6 3 の中に入る。第一の永久磁石 6 7 a がコイル 6 3 の中に入った段階で、コイル 6 3 に流れる電流の方向を反転させると、第一の永久磁石 6 7 a とコイル 6 3 とが大きな力で反発し合う。このため、可動子 6 2 の移動方向が反転し、図中左方向に移動する。可動子 6 2 がストロークの中心を過ぎると、コイル 6 3 と第二の永久磁石 6 7 b とが吸引し合い、第二の永久磁石 6 7 b がコイル 6 3 の中に入る。この状態で再びコイル 6 3 に流れる電流の方向を反転させると、第二の永久磁石 6 7 b とコイル 6 3 とが大きな力で反発し合うので、可動子 6 2 の移動方向が再び反転する。この繰り返しにより可動子 6 2 が振動する。

20

【 0 0 7 7 】

コイル 6 3 の軸線方向の両端部に、第一及び第二の永久磁石 6 7 a , 6 7 b を囲み、コイル 6 3 に電流を流していない時に、可動子 6 2 をストロークの中心に復帰させる一対のリング磁石を配置してもよい。一対のリング磁石の配置及び磁極の向きは、図 2 3 及び図 2 5 の第三のコイル 5 2 の両端部に配置される一対のリング磁石 5 5 a , 5 5 b と同一にすればよい。一対のリング磁石 5 5 a , 5 5 b を配置すれば、可動子 6 2 を原点に復帰させることができるだけでなく、可動子 6 2 を力強く振動させることもできる。

30

【 0 0 7 8 】

本発明は上記実施形態に限られることはなく、本発明の要旨を変更しない範囲で様々に変更可能である。

【 0 0 7 9 】

固定子の第一及び第二のコイルに発生させる推力の位相をずらすために、固定子の第一及び第二のコイルに位相を異ならせた交流を流し、第一及び第二のコイルの軸線方向の中心を結んだコイル中心間ピッチと可動子の磁極間ピッチとを一致させてもよい。可動子には一つ以上の永久磁石があればよく、上記第一の実施形態と同様に第一ないし第四の永久磁石を設けてもよい。

40

【 0 0 8 0 】

また、固定子の第一及び第二のコイルに発生させる推力の位相をずらすために、固定子の第一及び第二のコイルに位相を異ならせた交流を流し、第一及び第二のコイルの軸線方向の中心を結んだコイル中心間ピッチと可動子の磁極間ピッチとを異ならせてもよい。可動子には一つ以上の永久磁石があればよく、上記第一の実施形態と同様に第一ないし第四

50

の永久磁石を設けてもよい。

【0081】

可動子は水平方向に配置されるのに限られず、垂直方向に配置してもよい。第一及び第二の永久磁石に第一及び第二のコイルから力を作用させることができれば、可動子に重力が働いたとしても、可動子をストロークさせることができる。

【0082】

可動子の慣性が小さいときは、二つの外側永久磁石や反発磁石を省略しても可動子をストロークさせることができる。可動子の慣性が大きいときは固定子と可動子との間に付加的にばねを設けてもよい。

【0083】

可動子を振動させる場合、第一及び第二のコイルに流す電流は、一定の周期ごとに交互に逆向きに流れる交流であればよい。第一及び第二のコイルには正弦波以外に鋸波、三角波、矩形波等の電圧を印加してもよい。

【0084】

さらに、可動子に第一及び第二のコイルを設け、固定子に第一及び第二の永久磁石を設け、コイル側がストロークするようにしてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0085】

本発明のリニアモータアクチュエータは、高剛性で高速域まで駆動可能であるから、計測機器、技工機器、自動車、医療機器、ロボット、産業機器、民生機器向けアクチュエータ等の多様な技術分野で利用できる。特に基板テスターのチェックピン、ダイボンダ、ポンプ、ハンドツール、カメラのフォーカス等を駆動するのに好適に用いることができる。大型化すれば制振装置として用いることもできる。

【0086】

本発明のリニアモータは、振動数0～200Hzの範囲で振幅の大きい振動アクチュエータとして好適に用いることができる。エンコーダを用いて第一及び第二のコイルに流す電流を制御すれば、可動子の位置を制御することもできる。

【符号の説明】

【0087】

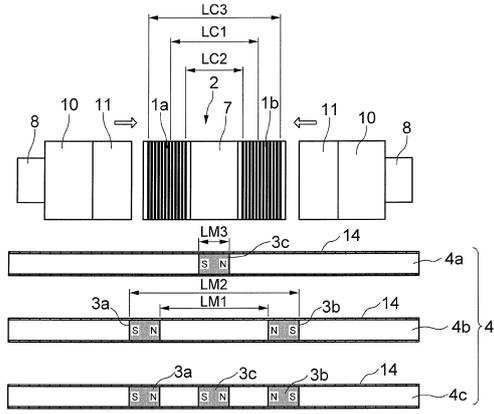
1 a , 3 1 a , 5 1 a ... 第一のコイル、 1 b , 3 1 b , 5 1 b ... 第二のコイル、 5 2 ... 第三のコイル、 2 , 3 2 , 5 0 , 6 1 ... 固定子、 3 a , 5 3 a , 6 7 a ... 第一の永久磁石、 3 b , 5 3 b , 6 7 b ... 第二の永久磁石、 3 c , 4 1 ... 中央部永久磁石、 4 , 3 4 , 5 6 , 6 2 ... 可動子、 1 2 a , 1 2 b ... 一对の反発磁石（復帰用永久磁石）、 1 3 a ... 第三の永久磁石、 1 3 b ... 第四の永久磁石、 3 8 ... リング磁石（復帰用永久磁石）、 5 5 a , 5 5 b ... 一对のリング磁石（復帰用永久磁石）、 6 1 ... コイル

10

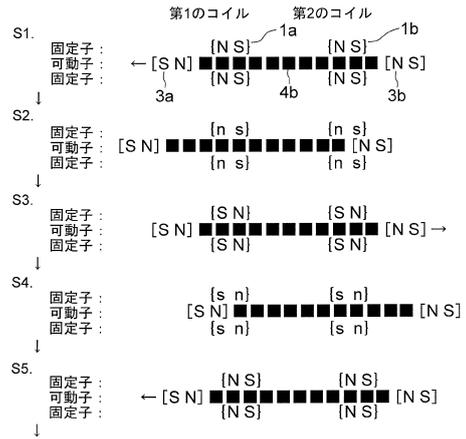
20

30

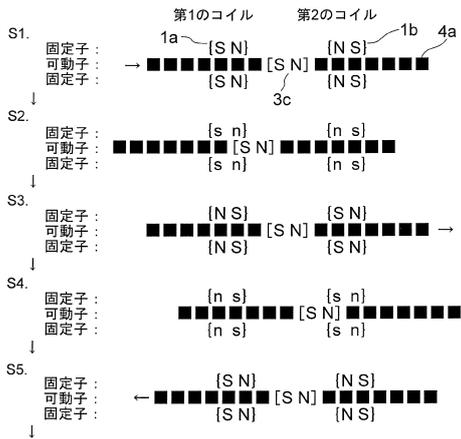
【図1】



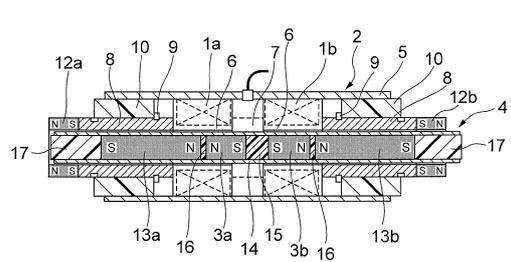
【図2】



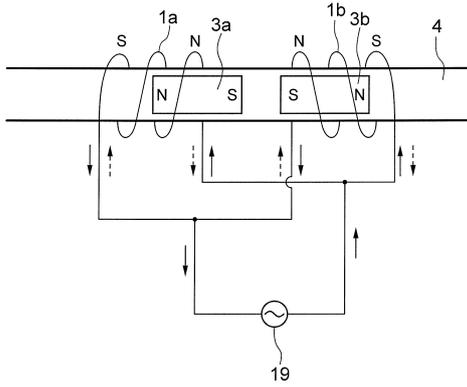
【図3】



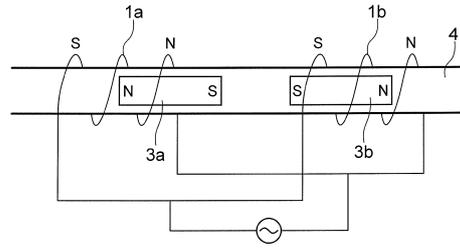
【図4】



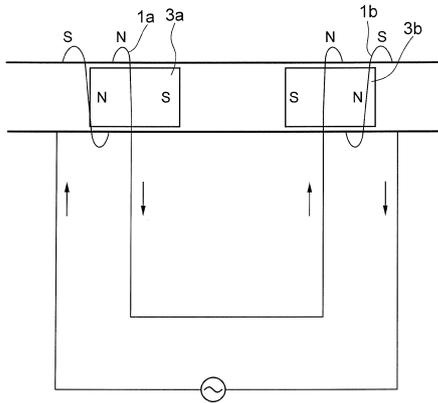
【図10】



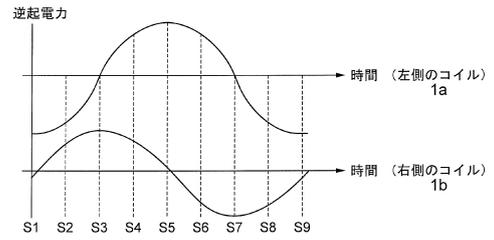
【図11】



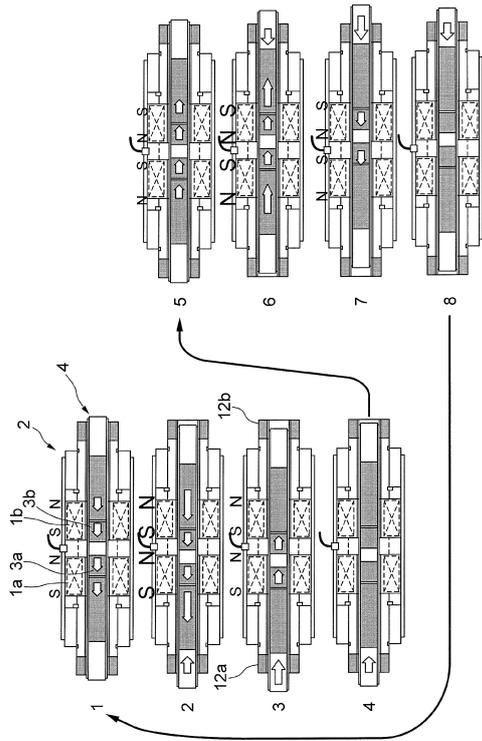
【図12】



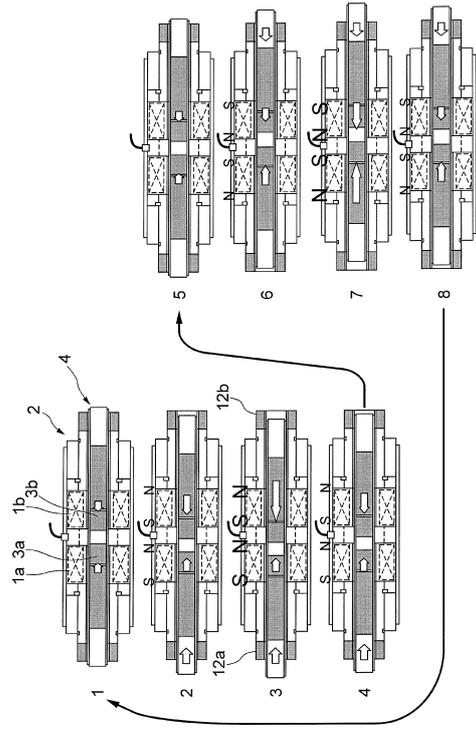
【図13】



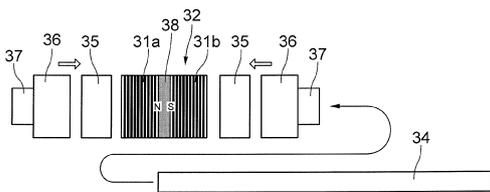
【 図 14 】



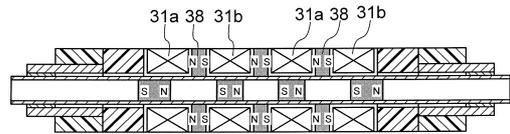
【 図 15 】



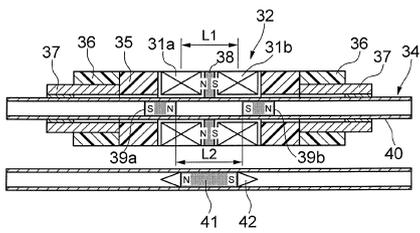
【 図 16 】



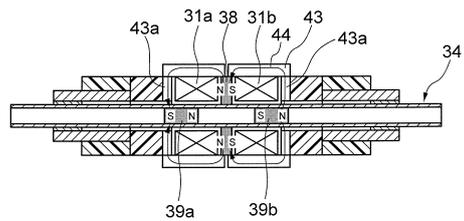
【 図 18 】



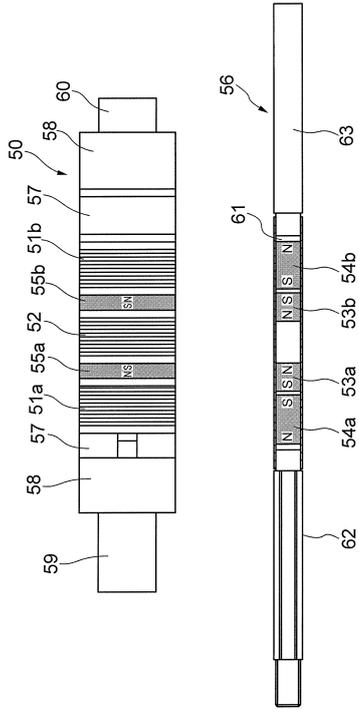
【 図 17 】



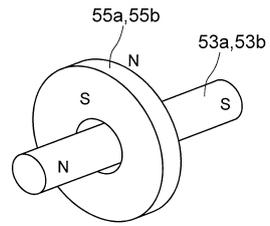
【 図 19 】



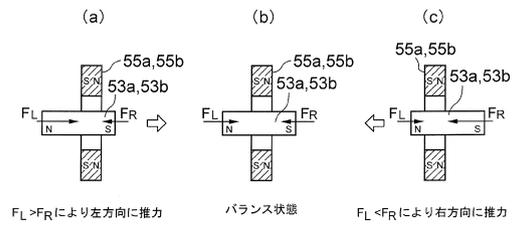
【図20】



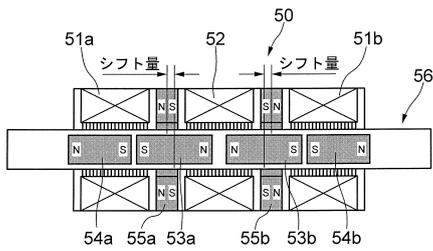
【図21】



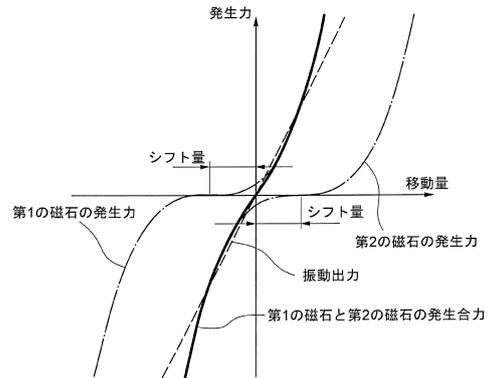
【図22】



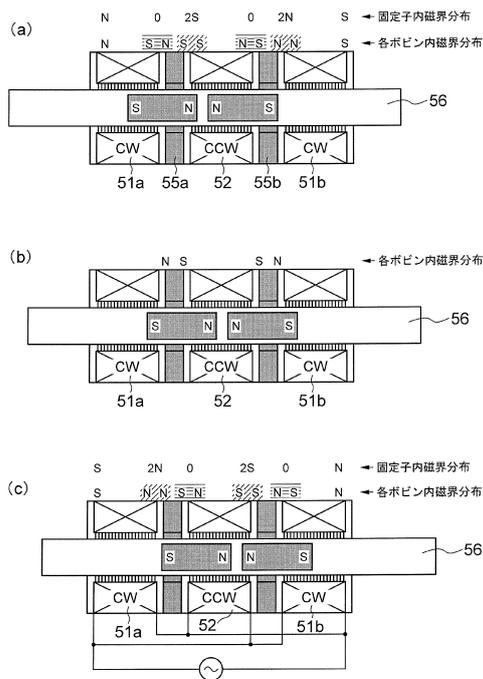
【図23】



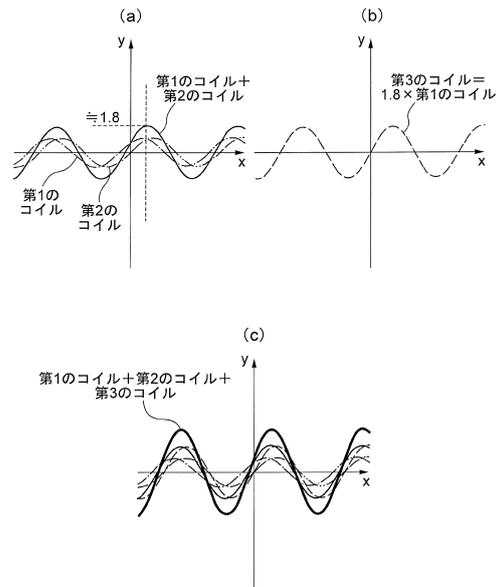
【図24】



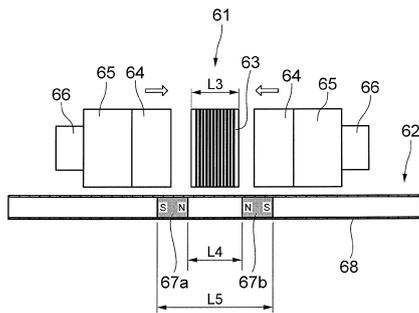
【図 25】



【図 26】



【図 27】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平06-315255(JP,A)
特開平11-168869(JP,A)
実開平07-009081(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02K 41/03
H02K 33/16