(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年1月10日(10.01.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/008909 A1

(51) 国際特許分類:
H02P 25/064 (2016.01) *H02K 41/03* (2006.01)
F04B 35/04 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/018678

(22) 国際出願日： 2018年5月15日(15.05.2018)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2017-132636 2017年7月6日(06.07.2017) JP

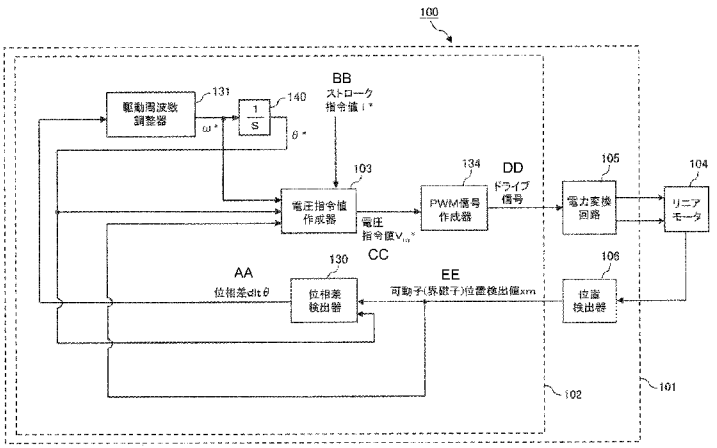
(71) 出願人:日立オートモティブシステムズ株式会社(**HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.**) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 Ibaraki (JP). 株式会社日立産機システム(**HITACHI INDUSTRIAL EQUIPMENT SYSTEMS CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒1010022 東京都千代田区神田練塀町３番地 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 鈴木 尚礼 (**SUZUKI Takahiro**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 小山 昌喜(**KOYAMA Masaki**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 堀田 海斗(**HOTTA Kaito**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 初瀬 渉(**HATSUSE Wataru**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

(54) **Title:** LINEAR MOTOR SYSTEM AND COMPRESSOR INCLUDING SAME

(54) 発明の名称： リニアモータシステム及びそれを有する圧縮機

図 1



103 Voltage command value generator
104 Linear motor
105 Power conversion circuit
106 Position detector
130 Phase difference detector
131 Drive frequency regulator
134 PWM signal generator
AA Phase difference
BB Stroke command value
CC Voltage command value
DD Drive signal
EE Detected mobile element (field magnetic element) position value

(57) **Abstract:** Provided are: a linear motor system that can suppress the reactive current flowing in a winding and highly efficiently drive a linear motor, without positioning, inside the linear motor, a sensor that detects the thrust of the linear motor; and a compressor that includes the linear motor system. A linear motor system 100 that comprises at least: a linear motor 104 that has an armature 9 that has a magnetic body on which a winding 8 has been wound, a field magnetic element 6 that includes a permanent magnet, and an elastic body 23 that is connected to the armature 9 or the field magnetic element

WO 2019/008909 A1

[続葉有]

(74) 代理人：ポレール特許業務法人 (POLAIRE I.P.C.)；〒1030025 東京都中央区日本橋茅場町二丁目１３番１１号 Tokyo (JP).

(81) 指定国（表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能）：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国（表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能）：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

6; and a control unit 102 that applies voltage to the winding. The relative positioning of the field magnetic element 6 and the armature 9 fluctuates in response to the deformation of the elastic body 23, and, as a result, the field magnetic element 6 and the armature 9 move relative to each other in the axial direction in a reciprocal manner. On the basis of the rate of change in the magnetic flux that is generated by fluctuations in the relative positioning of the armature 9 and the field magnetic element 6, the control unit 102 decreases the absolute value of the voltage component applied to the winding 8 at relative positioning at which the rate of change in the magnetic flux is small.

(57) 要約：リニアモータの推力を検出するセンサをリニアモータ内に配することなく、巻線に流れる無効電流を抑制し、リニアモータを高効率に駆動し得るリニアモータシステム及びそれを有する圧縮機を提供する。リニアモータシステム１００は、少なくとも、巻線８が捲回された磁性体を有する電機子９と、永久磁石を有する界磁子６と、電機子９又は界磁子６に接続された弾性体２３とを有し、弾性体２３の変形に応じて界磁子６と電機子９の相対位置が変動することで、軸方向に界磁子６と電機子９を相対的に往復運動させるリニアモータ１０４と、巻線に電圧を印加する制御部１０２と、を備える。制御部１０２は、巻線８に印加する電圧のうち、電機子９と界磁子６の相対位置の変動により生じる磁束の変化率に基づき、印加する電圧成分の絶対値を、磁束の変化率が小さい相対位置で小さくする。

明　細　書

発明の名称 ： リニアモータシステム及びそれを有する圧縮機

技術分野

[0001]　本発明は、リニアモータシステム及びそれを有する圧縮機に関する。

背景技術

[0002]　弾性体を接続させた可動子を、弾性体及び可動子の系における機械的な共振周波数で駆動させるリニアモータが知られている。

例えば、特許文献１には、リニア振動モータを制御するモータ駆動装置が開示され、モータ駆動装置は、モータドライバを有し、モータドライバは、推力定数を算出する演算処理が行われるよう上記リニア振動モータに直流電圧を印加する推力定数算出モード（非運転モード）と、リニア振動モータの通常運転が行われるよう上記リニア振動モータに交流電圧を印加する運転モードとを切り替える制御部を有する構成が記載されている。

そして特許文献１には、上記モータ駆動装置は、推力定数の算出に用いられる直流電圧印加時の推力検出値を求める推力検出部を備え、可動子の推力の検出は、可動子若しくは可動子が接する部位に取り付けられた圧力センサ或いは歪ゲージなどのセンサにより行われる旨開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２００４－２７４９９７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004]　しかしながら、特許文献１では、リニア振動モータの推力定数を算出するために必要となる推力の検出を、リニア振動モータ内に設けられる圧力センサ或いは歪ゲージなどのセンサにより行う構成であるため、配線が煩雑になるのみならず、装置の大型化を招きかねない。また、リニア振動モータの誘起電圧に応じた電圧を印加することで無効電流を抑制し、リニアモータを高

効率に駆動する点については何ら考慮されていない。

そこで、本発明は、リニアモータの推力を検出するセンサをリニアモータ内に配することなく、巻線に流れる無効電流を抑制し、リニアモータを高効率に駆動し得るリニアモータシステム及びそれを有する圧縮機を提供する。

課題を解決するための手段

[0005] 上記課題を解決するため、本発明に係るリニアモータシステムは、少なくとも、巻線が捲回された磁性体を有する電機子と、永久磁石を有する界磁子と、前記電機子又は前記界磁子に接続された弾性体とを有し、前記弾性体の変形に応じて前記界磁子と前記電機子の相対位置が変動することで、軸方向に前記界磁子と電機子を相対的に往復運動させるリニアモータと、前記巻線に電圧を印加する制御部と、を備え、前記制御部は、前記巻線に印加する電圧のうち、前記電機子と前記界磁子の相対位置の変動により生じる磁束の変化率に基づき、印加する電圧成分の絶対値を、前記磁束の変化率が小さい相対位置で小さくすることを特徴とする。

また、本発明に係るリニアモータシステムは、少なくとも、巻線が捲回された磁性体を有する電機子と、永久磁石を有する界磁子と、前記電機子又は前記界磁子に接続された弾性体とを有し、前記弾性体の変形に応じて前記界磁子と前記電機子の相対位置が変動することで、軸方向に前記界磁子と電機子を相対的に往復運動させるリニアモータと、前記巻線に電圧を印加する制御部と、を備え、前記制御部は、前記界磁子と前記電機子の相対位置の増加に応じて、前記巻線に印加する電圧の高調波成分含有率を高くすることを特徴とする。

また、本発明に係る圧縮機は、少なくとも、巻線が捲回された磁性体を有する電機子と、永久磁石を有する界磁子と、前記電機子又は前記界磁子に接続された弾性体とを有し、前記弾性体の変形に応じて前記界磁子と前記電機子の相対位置が変動することで、軸方向に前記界磁子と電機子を相対的に往復運動させるリニアモータと、前記巻線に電圧を印加する制御部と、を備え、前記界磁子に接続されるピストンがシリンダ内を往復運動することにより

作動流体を圧縮する圧縮機であって、前記制御部は、前記巻線に印加する電圧のうち、前記電機子と前記界磁子の相対位置の変動により生じる磁束の変化率に基づき、印加する電圧成分の絶対値を、前記磁束の変化率が小さい相対位置で小さくすることを特徴とする。

発明の効果

[0006] 本発明によれば、リニアモータの推力を検出するセンサをリニアモータ内に配することなく、巻線に流れる無効電流を抑制し、リニアモータを高効率に駆動し得るリニアモータシステム及びそれを有する圧縮機を提供することが可能となる。

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]本発明の一実施例に係る実施例１のリニアモータシステムの全体概略構成図である。

[図2]電機子の構成例の斜視図である。

[図3]可動子（界磁子）位置に対する電機子鎖交磁束の変化の例を示す図である。

[図4]磁極の縦断面と磁束の流れを示す模式図である。

[図5]磁極歯に発生する極性の説明図である。

[図6]可動子に接続される外部機構の説明図である。

[図7]駆動周波数とストロークの関係の説明図である。

[図8]可動子位置と可動子速度との位相関係、及び印加電圧とモータ電流の位相関係の説明図である。

[図9]印加電圧と電流のベクトル図である。

[図10]図１に示す制御部を構成する位相差検出器の構成例を示す説明図である。

[図11]駆動周波数と位相差検出器出力の関係の説明図である。

[図12]図１に示す制御部を構成する駆動周波数調整器の構成例を示す説明図

である。

[図13]図１に示す制御部を構成する電圧指令値作成器の構成例を示す説明図である。

[図14]図１３に示す電圧指令値作成器を構成する端部誘起電圧調整器の第１の構成例を示す説明図である。

[図15]図１３に示す電圧指令値作成器を構成する端部誘起電圧調整器の第２の構成例を示す説明図である。

[図16]図１３に示す電圧指令値作成器を構成する端部誘起電圧調整器の第３の構成例を示す説明図である。

[図17]印加電圧波形の説明図である。

[図18]図１３に示す電圧指令値作成器を構成するストローク制御器の構成例を示す説明図である。

[図19]図１に示すリニアモータ駆動装置を構成する電力変換回路の構成例を示す図である。

[図20]本発明の他の実施例に係る実施例２の密閉型圧縮機の縦断面図である。

[図21]実施例２のリニアモータシステムの全体概略構成図である。

[図22]図２１に示す制御部を構成する位相差検出器の構成例を示す説明図である。

[図23]図２１に示す制御部を構成する負荷電流検出器の構成例を示す説明図である。

[図24]図２１に示す制御部を構成する負荷電流検出器の他の構成例を示す説明図である。

[図25]図２１に示す制御部を構成する電圧指令値作成器の構成例を示す説明図である。

[図26]軽負荷時及び重負荷時における電圧指令値作成器でのベクトル和を示すベクトル図である。

[図27]図２１に示す制御部を構成する電圧指令値作成器の他の構成例を示す

説明図である。

[図28]図２１に示す制御部を構成する位置推定器の構成例を示す説明図である。

[図29]図２１に示すリニアモータ駆動装置を構成する電力変換回路の構成例を示す図である。

[図30]本発明の他の実施例に係る実施例３の検証システムの構成例を示す説明図である。

[図31]本発明の他の実施例に係る実施例４のエアサスペンションシステムの回路図である。

[図32]図３１に示すエアサスペンションシステムを搭載した車両の概略図である。

[図33]実施例４の電圧指令値作成器を構成する端部誘起電圧調整器の構成例を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、添付の図面を参照しつつ本発明の実施例を詳細に説明する。同様の構成要素には同様の符号を付し、重複する説明を省略する。

本発明の各種の構成要素は、必ずしも個々に独立した存在である必要はなく、複数の構成要素が一個の部材として形成されていること、一つの構成要素が複数の部材で形成されていること、或る構成要素が他の構成要素の一部であること、或る構成要素の一部と他の構成要素の一部とが重複していること、等を許容する。

以下、図面を用いて本発明の実施例について説明する。

実施例 1

[0009] 本実施例では、説明の便宜のため、互いに直交する前後方向、左右方向、及び上下方向という語を用いるが、重力方向は必ずしも下方向に平行である必要はなく、前後方向、左右方向、上下方向又はそれ以外の方向に平行にすることができる。

[0010] ＜リニアモータ駆動装置１０１＞

図１は、本発明の一実施例に係る実施例１のリニアモータシステム１００の全体概略構成図である。リニアモータシステム１００は、リニアモータ駆動装置１０１及びリニアモータ１０４とから構成される。後述するようにリニアモータ１０４は、相対移動する電機子９及び可動子６を有する。

リニアモータ駆動装置１０１は、位置検出器１０６、制御部１０２、及び電力変換回路１０５を有する。

位置検出器１０６は、電機子９に対する可動子６の相対位置（可動子位置）を検出する。本実施例では、可動子（界磁子）６が鉛直方向に移動するが、電機子９及び可動子（界磁子）６が相対移動すれば良く、電機子９が鉛直方向に移動する態様でも良い。また、電機子９及び可動子（界磁子）６が互いに異なる速度で鉛直方向（軸方向）に沿って往復運動する構成としても良い。何れの場合においても、鉛直方向（軸方向）に沿って移動する物体に共振バネ（アシストバネ）２３の一端を接続することが好ましい。なお、以下では、可動子（界磁子）６が鉛直方向に往復運動する場合を一例として説明するが、往復運動の方向は鉛直方向に限られるものではない。例えば、可動子（界磁子）６が水平方向に往復運動するよう構成しても良く、また、鉛直方向に対し任意の角度を有する方向に可動子（界磁子）６が往復運動する構成としても良い。また、これらは、電機子９につても同様である。

制御部１０２は、位置検出器１０６の検出結果に応じて、電力変換回路１０５への出力電圧指令値、又は電力変換回路１０５を駆動するドライブ信号（パルス信号）を出力する。詳細は後述するが、電力変換回路１０５は、直流電圧源１２０（図１９）の電圧を変換して交流電圧を出力する電力変換部の一例である。なお、直流電圧源１２０に代えて直流電流源を用いても良い。

[0011] ＜リニアモータ１０４＞

図２はリニアモータ１０４の斜視図（電機子の構成例の斜視図）である。本実施例のリニアモータ１０４は、電機子９に対して、永久磁石２（２ａ，２ｂ）が並んだ方向（前後方向）に相対移動可能な可動子６を有する。電機

子９は空隙を介して上下方向に対向する２つの磁極７と、磁極７に捲回された巻線８とを有している。可動子６は、この空隙に配置されている。磁極７は、可動子６に対向する端面としての磁極歯７０（ティースとも称される）を有している。

電機子９は、可動子６に対して前後方向の力（以下、推力と称する）を付与できる。例えば、後述するように、可動子６が前後方向に往復運動するように推力を制御できる。　　可動子６は、上下方向に磁化した２つの平板状の永久磁石２（２ａ，２ｂ）を有している。後側の永久磁石２ａ及び前側の永久磁石２ｂは、互いに反対方向に磁化されている。

本実施例では、後側の永久磁石２ａは上側にＮ極を有し、前側の永久磁石２ｂは上側にＳ極を有している。図２では、永久磁石２ａ，２ｂは図示しているが、可動子６は図示していない。可動子６としては、例えば、平板状の永久磁石２を固定した平板状のものを採用できる。

制御部１０２は、可動子６を永久磁石２ａ，２ｂが電機子９に対向する範囲で往復運動させるようにドライブ信号を出力する。

[0012]　図３は、可動子（界磁子）位置に対する電機子鎖交磁束の変化の例を示す図である。横軸を可動子（界磁子）位置（ｍ）、縦軸を磁束（Ｗｂ）とし、磁束（Ｗｂ）は巻線に電流を流していない時の鎖交磁束であり、永久磁石２による磁束の変化を示している。

巻線８には磁束の時間微分に相当する電圧が誘起され、この電圧は一般的に、誘起電圧、逆起電圧、速度起電圧、などと称される。同じモータでも、可動子の速度に応じて変化し、例えば可動子の速度が高い場合に、誘起電圧が高くなる。

[0013]　可動子（界磁子）位置に対する磁束の変化の傾き（磁束の変化率）を誘起電圧定数Ｋｅとすると、図３において示す（１）の区間においては、誘起電圧定数Ｋｅは一定とみなせる。この場合、誘起電圧定数Ｋｅに可動子の速度を乗算すると、誘起電圧を算出できる。

[0014] 一方、図３において示す（２）の区間においては、磁束の変化の傾き（磁束の変化率）が一定ではないため、誘起電圧定数Ｋｅは可動子位置に依存する特性となる。つまり、図３のような特性のリニアモータにおいては、可動子（界磁子）位置が中心から離れて往復動する場合には、誘起電圧を算出するのが困難となるという課題がある。

[0015] 可動子が機械的に拘束されていないフリーピストン構造の場合、可動子位置の最大あるいは最小位置は一定とは限らないため、可動子の瞬時速度が同じでも可動子の位置によって、誘起電圧が変わるという課題がある。なお、回転運動を直線運動に変換する機構を備えている場合には、このような課題は生じない。

リニアモータに流れる電流は、リニアモータに印加する電圧と誘起電圧の関係で定まる。そのため、誘起電圧を正しく算出できないと、印加電圧過多により無用に電流が増え、リニアモータの効率が低下するという問題が発生する。これは、リニアモータを駆動する回路の効率も低下するという問題が発生する。駆動回路の効率が低下すると、その分発熱量が増えるため、放熱フィンの面積を大きくする必要があり、システムが大型化してしまう。

[0016] 図４は、図２のＡ－Ａ’線に沿った平面での断面図である（Ａ－Ａ’断面矢視図）。図３に示すように、磁極７及びヨーク７ｅは、例えば鉄などの磁性体で一体的に形成され、磁気回路を構成している。図４の矢印線は、２つの巻線８に電流を流したときの磁束線の一例を示している。磁束の流れの向きは、巻線８に流れる電流の向きにより逆方向になり得るため、図に示す限りではない。この磁束線により、磁極歯７０が磁化される。

[0017] ［可動子６に付与する推力］

図５は磁極歯７０の磁化により、可動子６が受ける推力を説明する図である。巻線８に流れる電流により生じる磁極歯７０の極性を、図中の磁極歯７０近傍に付した「Ｎ」、「Ｓ」で表している。また、図５において白抜き矢印は巻線８を流れる電流の向きを示している。図５の左図は、巻線８を流れる電流により、上側の磁極歯７０ａが「Ｓ」、下部の磁極歯７０ｂが「Ｎ」

に磁化されることにより、可動子６が前方向に力を受け、可動子６が前に移動した例を示している。図５の右図は、巻線８を流れる電流により、上部の磁極歯７０ａが「Ｎ」、下部の磁極歯７０ｂが「Ｓ」に磁化されることにより、可動子６が後ろ方向に力を受け、可動子６が後ろに移動した例を示している。

[0018] このように、巻線８に電圧や電流を印加することで、２つの磁極７を含む磁気回路に磁束を供給して、対向する２つの磁極歯７０（磁極歯組）を磁化できる。電圧や電流として、例えば正弦波や矩形波（方形波）といった交流の電圧や電流を与えることで、可動子６を往復運動させる推力を与えることができる。これにより可動子６の運動を制御できる。

[0019] なお、可動子６に付与する推力は、印加する交流電流や交流電圧の振幅を変更することで変えられる。また、可動子６に付与する推力を既知の方法を用いて適切に変更することで、可動子６の変位を所望に変えられる。ここで、可動子６が往復運動（例えば、図５の左図及び右図のような磁極歯７０の磁化を順次繰り返すことで可動子６に生じる運動）をする場合、交流波形的に変化する可動子６の変位の変化量をストロークと称する。

磁極歯７０は磁性体であるため、永久磁石２を吸引する磁気吸引力が作用する。本実施例では可動子６を挟むよう間隙を介して２つの磁極歯７０を対向配置しているため、可動子６に作用する磁気吸引力の合力を低減できる。

[0020] [可動子６外部の機構]

図６は、可動子６に接続される外部機構の説明図であり、例えば、コイルバネである共振バネ２３（アシストバネ）によって構成される外部機構を可動子６の一端に接続し、そのバネ力により可動子６が戻される機構を説明する図である。共振バネ２３は、一端が中間部２４を介して可動子６に接続し、他端が基部２５に固定されている。また、共振バネ２３の延在方向と略平行に延在し、共振バネ２３を案内又は支持する側部２６が設けられている。リニアモータ１０４を往復運動させる場合、可動子６の運動方向が変わる度に、加速と減速を繰り返す。減速時は、可動子６の速度エネルギーが電気エ

ネルギーに変換される（回生動作）が、リニアモータ１０４への配線の抵抗によって損失が生じる。一方、図６のように、可動子６に共振バネ２３（アシストバネ）を付加し、可動子６の質量とバネ定数から決まる機械的な共振周波数で、可動子６を往復運動させる場合、可動子６の速度エネルギーを有効活用でき、高効率なリニアモータ駆動システムを構成することができる。共振バネ２３に代えて、例えば、板バネ、或は、適度なヤング率を有しコイルバネを用いた場合と同様に伸縮するゴム等の弾性体を用いても良い。このように構成すると、可動子（界磁子）６が鉛直方向に移動する可動子（界磁子）移動型として構成されるが、可動子６に代えて電機子９に弾性体を接続して電機子９を鉛直方向に移動させる電機子移動型として構成しても良い。

[0021] 図７は、駆動周波数とストロークの関係の説明図であり、交流電圧の駆動周波数を横軸に、可動子６のストロークを縦軸にとり、これらの関係を示す図である。各駆動周波数における交流電圧の振幅は同一である。図７から分かるように、共振周波数付近で可動子６のストロークが急峻に大きくなり、共振周波数から離れるとストロークが小さくなる特性を示す。共振周波数は、共振バネ２３のバネ定数ｋを可動子６の質量ｍで除した値の平方根で与えられるが、リニアモータ１０４の系によっては、この値は近似値となる。

このように、共振周波数又はこの近傍の駆動周波数の交流電圧を印加することで、大きなストローク（大きなエネルギー）で振動させることができる。つまり、可動子６に共振バネ２３等の弾性体を付加したリニアモータ１０４を制御する場合には、可動子６の共振周波数を検出あるいは推定することが重要である。可動子６のストロークを所望に制御する場合においても可動子６の共振周波数を検出あるいは推定することが重要である。

[0022] [駆動時の位相関係]

図８は、可動子の位置と可動子の速度との位相関係、及び印加電圧とモータ電流の位相関係の説明図である。リニアモータ１０４を駆動した際の、図８の上図に可動子６の位置と速度の時間変化、図８の下図に印加電圧波形とリニアモータ１０４に流れる電流の時間変化の関係を示している。なお、図

８の上図と下図は、同じタイミングの波形である。図９は、図８の交流波形をベクトルとして示した図である。共振バネ２３を有する外部機構を接続した可動子６を往復運動させると、可動子６の変位は正弦波状に変化する。可動子６の速度は変位の時間微分であるため、余弦波状に変化する。そのため、これらは直交２軸上にベクトルとして示すことができる。図８および図９より、可動子６の速度、印加電圧、およびモータ電流はほぼ同位相であることがわかる。

また、可動子６に共振バネ２３を付加し、可動子６の質量とバネ定数から定まる機械的な共振周波数で可動子６を往復運動させる場合、可動子６の位置の位相は、巻線８への印加電圧Ｖｍ、モータ電流Ｉｍ、及び可動子６の速度の位相それぞれに対して９０度の位相差となることが知られている。すなわち、これらの何れかの関係が成立している時は、共振周波数で駆動していると推定できる。

[0023] リニアモータ１０４の巻線抵抗や巻線インダクタンスの値、あるいは可動子６に付加された負荷要素によっては、巻線８への印加電圧Ｖｍ、モータ電流Ｉｍ、及び可動子６の速度の位相関係は必ずしも９０度の位相差とは限らないため、条件によって変更する制御部を備えることが望ましい。この時、特に、負荷の変動に起因するモータ電流Ｉｍの変化を考慮するのが望ましい。

製造バラつきによって可動子６の質量が想定からずれている場合や、可動子６に付加された負荷要素によって、共振バネ２３に接続される質量が変化する場合は、共振周波数が変化してしまう。また、可動子６に付加された負荷要素が位置依存性を有する場合においては、駆動中に共振周波数が変化してしまう。このような場合においても所望のストロークを得るためには、条件によって変化する共振周波数を高精度に検出あるいは推定することが好ましい。

＜制御部１０２＞

図１に示すように、制御部１０２は、位相差検出器１３０、位相差検出器

１３０の出力である位相差ｄｌｔθが位相差指令値に追従するように駆動周波数指令値ω*を調整する駆動周波数調整器１３１、積分器１４０、電圧指令値Ｖｍ*を出力する電圧指令値作成器１０３、及び、電圧指令値Ｖｍ*と三角波キャリア信号を比較して、電圧を出力する電力変換回路１０５を駆動するドライブ信号を出力するＰＷＭ信号作成器１３４から構成される。

[0024] 制御部１０２は、位置検出器１０６による可動子（界磁子）位置検出値ｘｍを入力する。ここで、位置検出器１０６として、例えば、レーザ変位計などが用いられる。制御部１０２に入力された可動子（界磁子）位置検出値ｘｍは、制御部１０２を構成する位相差検出器１３０に入力される。位相差検出器１３０は、詳細後述する位相指令値である基準位相θ*と可動子（界磁子）位置検出値ｘｍの位相差ｄｌｔθを出力する。位相差検出器１３０より出力される位相差ｄｌｔθは駆動周波数調整器１３１に入力される。駆動周波数調整器１３１は、入力された位相差ｄｌｔθに基づき周波数指令値ω*を出力する。周波数指令値ω*に基づく印加電圧Ｖｍが、リニアモータ１０４へ出力される。

[0025] 可動子（界磁子）６が往復動している場合、可動子（界磁子）位置ｘｍは交流波形であり、最大変位と最小変位の差がストロークである。なお、フリーピストン構造の場合は、最大変位と最小変位の絶対値が異なる場合もあり、この場合、弾性体の弾性力が釣り合う中心を基準（ゼロ）とし、正の最大変位を正側ストローク、負の最大変位の絶対値を負側ストロークと称する。すなわち、正側ストロークと負側ストロークの加算が、ストロークである。駆動条件によっては正側ストロークと負側ストロークは異なる場合もある。

[0026] 可動子６の質量や共振バネ２３のバネ定数が想定からずれている場合、共振周波数が想定値から変化してしまうが、その影響は巻線８への印加電圧Ｖｍ、モータ電流Ｉｍ、及び可動子６の速度の位相関係から見て取れるため、これらの位相関係を基に制御することで、高効率なリニアモータシステムを構成することができる。可動子６に付加された負荷要素が位置依存性を有する場合においても、巻線８への印加電圧Ｖｍ、モータ電流Ｉｍ、及び可動子

６の速度の位相関係を基に制御することで、高効率なリニアモータシステムを構成することができる。

以下、制御部１０２を構成する上述の各部の構成或いは動作について説明する。

[0027] ＜基準位相作成器＞

本実施例の位相指令値である基準位相θ*は、図１に示す駆動周波数調整器１３１の出力である駆動周波数指令値ω*を基準位相作成器としての積分器１４０で積分することで得る。すなわち、基準位相θ*は、印加電圧Ｖｍ（θ*）の目標周波数に相当する駆動周波数指令値ω*を持つ波動の各時刻の位相θ*である。このように、本実施例では基準位相θ*として駆動周波数調整器１３１の駆動周波数指令値ω*を用いているが、例えば可動子６を含む振動体の機械共振周波数に固定しても良い。

基準位相θ*は、駆動周波数指令値ω*が一定の間は、例えば、各時刻に対して［－π，π］、［０，２π］、又はこれより広い範囲を値域とする、のこぎり波としたり、時刻に対して線形に増加するようにしても良い。後述するように駆動周波数指令値ω*が変動した場合は、これに応じてのこぎり波や線形な増加の形状が変動する（傾きが変化する）。

[0028] ＜位相差検出器１３０＞

可動子６が往復運動している場合、可動子６の位置ｘｍ及び速度、モータ電流Ｉｍは周期関数となる。周期関数はフーリエ級数で表せるため、フーリエ変換式を用いて可動子６の位置ｘｍを表すと、次式（１）のように定義できる。

[0029] [数1]

$$x_m = x_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \{a_n \cdot cos(n\omega_0 t) + b_n \cdot sin(n\omega_0 t)\} \quad \cdots (1)$$

[0030] ここで、x_0は直流オフセット値、a_nおよびb_nはｎ次のフーリエ係数であり、次式（２）及び式（３）で求められる。

[0031]

[数2]

$$a_n = \frac{2}{T_0} \cdot \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} x_m \cdot cos(n\omega_0 t) dt \qquad \cdots (2)$$

[0032] [数3]

$$b_n = \frac{2}{T_0} \cdot \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} x_m \cdot sin(n\omega_0 t) dt \qquad \cdots (3)$$

[0033] ここで、T_0は基本波の周期（可動子６の往復運動する周期）、つまり１次周波数（駆動周波数）の逆数である。可動子６に共振バネ２３が付加された、いわゆるバネマス系においては、可動子６の質量とバネ定数から決まる機械的な共振周波数が支配的な成分となる。そのため、基本波に注目すれば良い。

[0034] 可動子６を共振周波数で駆動させようと制御する場合、高次成分は重要ではなく、１次成分、つまり駆動周波数成分に注目すれば良い。特に、可動子６の位置ｘｍの１次周波数成分（駆動周波数成分）の位相が重要である。１次のフーリエ係数の逆正接により、正弦波状の印加電圧Ｖｍに対する可動子６の位置ｘｍを次式（４）で求めることができる。

[0035] [数4]

$$\hat{\theta_{pos}} = tan^{-1}\left(\frac{b_1}{a_1}\right) = tan^{-1}\left(\frac{\int_{-2\pi}^{0} x_m \cdot sin\omega_0 t \, dt}{\int_{-2\pi}^{0} x_m \cdot cos\omega_0 t \, dt}\right) \qquad \cdots (4)$$

[0036] 式（４）では、積分範囲は、－２π～０となっている。これは、位相差検出器１３０をマイコンやＤＳＰ（Ｄｉｇｉｔａｌ　Ｓｉｇｎａｌ　Ｐｒｏｃｅｓｓｏｒ）等の半導体集積回路等で実現する場合に、過去の情報しか取得できないためである。

[0037] 図１０は、図１に示す制御部１０２を構成する位相差検出器１３０の構成例を示す説明図であって、式（４）をブロック図で示した場合の説明図であ

る。入力値の正弦を出力する正弦演算器８１及び入力値の余弦を出力する余弦演算器８２のそれぞれに、位相指令値である基準位相θ*を入力し、基準位相θ*（位相指令値）に対する正弦及び余弦を得る。正弦及び余弦それぞれを可動子位置ｘｍと乗算した値が乗算器９２から出力される。その出力をそれぞれ積分器９４ａ，９４ｂで積分すると、正弦及び余弦それぞれの１次のフーリエ係数を得る。すなわち、フーリエ展開の駆動周波数ωより高次の周波数成分を消去できるので、高次のノイズに対してロバストに構成できる。

積分器９４ａ，９４ｂの出力を逆正接器８６に入力する。逆正接器８６は、入力された正弦及び余弦成分を基に逆正接値を出力する。本実施例の逆正接器８６は、分子を積分器９４ａの出力、分母を積分器９４ｂの出力とした位相の逆正接値を出力するが、分子と分母を逆にした値を出力しても良い。

[0038] 図１１は、駆動周波数と位相差検出器１３０からの出力の関係の説明図である。すなわち、交流電圧の駆動周波数（横軸）と、逆正接器８６の出力値（位相差ｄｌｔθ（θｐｏｓ＾））（縦軸）の関係を示す図である。図１１から分かるように、本実施例では、駆動周波数が共振周波数である場合、０°が逆正接器８６から出力される。逆正接器８６から出力される値は、駆動周波数が共振周波数より高い場合は０°より大きく、駆動周波数が共振周波数より低い場合は、０°より小さい。これにより、基準位相θ*に対する位相差検出器１３０への入力交流信号（本実施例では、可動子６の位置ｘｍ）の１次周波数成分の基準位相θ*に対する位相差ｄｌｔθを求めることができ、共振周波数の推定が可能になる。そして例えば、位相差ｄｌｔθが０°超の場合は、位相差ｄｌｔθが低下するように制御し、０°未満の場合は、増加するように制御すれば良い。基準位相θ*と基本周波数ωとが同値となるときの位相差ｄｌｔθを目標値ｄｌｔθ*として制御することが好ましい。

[0039] なお、積分器９４ａ、９４ｂに代えて、不完全積分器を用いることができる。不完全積分器はローパスフィルタ（低域通過フィルタ）の一種で、１次遅れフィルタと同様の構成にできる。もちろん、１次遅れフィルタに限らず、２次遅れフィルタ等、他の既知の構成でローパスフィルタを構成しても良

い。その他、不完全積分器に代えて、又は追加して、積分器９４ａ，９４ｂ（又は不完全積分器）より前段に、ハイパスフィルタ（図示せず）を設けることができる。ハイパスフィルタの遮断周波数としては、例えば１０Ｈｚ又は５Ｈｚ以下にすることができる。

[0040] このように、位相差検出器１３０は、駆動周波数成分の１次のフーリエ係数の比の逆正接を用い、交流電圧指令値Ｖ*に対する可動子６の位置ｘｍの位相θを求めるとき、位相差検出器１３０への入力交流信号である可動子６の位置ｘｍの１次周波数成分のみに大きな感度を有する。つまり、例えば、可動子６の位置ｘｍに、直流オフセットや高次のノイズが重畳された場合においても、基準位相θ*に対する位相差検出器１３０への入力交流信号である可動子６の位置ｘｍの１次周波数成分の位相ｄｌｔθをより正確に求められる。また、ハイパスフィルタを上記のように設ける場合は、さらに駆動周波数ωより小さな周波数に対してもロバストに構成できる。

したがって、可動子６の位置ｘｍの検出方法として、ノイズが重畳され易いシステム、例えばインダクタンスの可動子位置依存性が大きいシステムや、近傍に別の機器が存在するシステムを採用する場合に、特に有効な制御を実現できる。このように、高精度に共振周波数を検出あるいは推定し、高効率なリニアモータ駆動を実現することができる。

[0041] ＜駆動周波数調整器１３１＞

図１２は、図１に示す制御部１０２を構成する駆動周波数調整器１３１の構成例を示す説明図である。駆動周波数調整器１３１は、位相差指令値ｄｌｔθ*（例えば、０°）と位相差検出器１３０で求めた位相差ｄｌｔθの差を減算器９１で求め、これに乗算器９２ｂで比例ゲインＫｐ＿ａｄｔｒを乗じて比例制御した演算結果と、乗算器９２ｃで積分ゲインＫｉ＿ａｄｔｒを乗じ、その結果を積分器９４ｃで積分する積分制御した演算結果とを加算器９０で加算し、当該加算結果に更に周波数指令初期値（ω_0）を加算することで駆動周波数指令値ω*を出力する。

なお、周波数指令初期値（ω_0）は、上位の制御器（図示せず）から得ても

良いし、予め例えば０°と設定しても良い。また、本実施例の駆動周波数調整器１３１は、比例積分制御の構成であるが、比例制御や積分制御など、他の制御構成も適用できる。

[0042] ［高効率駆動の実現］

リニアモータ１０４を可動子６の質量とバネ定数から定まる機械的な共振周波数で駆動する場合の位相差検出器１３０と駆動周波数調整器１３１の動作を説明する。

例えば、可動子６の質量が設計値よりも重かった場合、実際の共振周波数は、設計値よりも低くなる。つまり、可動子６の質量設計値を用いて駆動周波数の初期値を決めた場合（設計値を利用して駆動周波数指令値ω*の初期値を決めた場合）には、実際の共振周波数よりも高い周波数で駆動することになる。この時、位相差検出器１３０で求めた位相差ｄｌｔθは、位相差指令値ｄｌｔθ*よりも大きい値となる。そのため、駆動周波数調整器１３１は、駆動周波数指令値ω*を減少させる制御を実行し、その結果、駆動周波数指令値ω*が実際の共振周波数に一致する。したがって、可動子６の速度エネルギーを有効活用でき、高効率にリニアモータ１０４を駆動することができる。

[0043] ＜電圧指令値作成器＞

図１３は、図１に示す制御部１０２を構成する電圧指令値作成器１０３の構成例を示す説明図である。電圧指令値作成器１０３は、可動子６の速度に応じて生じる誘起電圧に相当する電圧指令値V_{m2}*を生成する。

図１３の上図は、ストローク制御器を有しない、いわゆるオープン指令型の構成例である。電圧指令値作成器１０３は、余弦演算器８２ｂ、乗算器９２ｄ～９２ｆ、及び端部誘起電圧調整器１３３を備える。

電圧指令値作成器１０３は、予め設定された、或は、上位の制御器（図示せず）などから得るストローク指令値ｌ*と、駆動周波数調整器１３１の出力である駆動周波数指令値ω*と、基準位相作成器としての積分器１４０の出力である基準位相θ*と、位置検出器１０６の出力である可動子位置ｘｍと、を入力する。

[0044] 入力値の余弦を出力する余弦演算器８２ｂに基準位相θ*を入力し、その余弦出力と、ストローク指令値Ｉ*と、駆動周波数指令値ω*と、を乗算器９２ｄにて乗算し、速度指令値ｖｍ*を得る。速度指令値ｖｍ*は、可動子６の位置の指令値ｘｍ*の微分から求めることもでき、図１３の構成の基となる演算式を次式（５）に示す。

[0045] [数5]

$$v_m^* = \dot{x}_m^* = (I^* \cdot \sin\omega_0 t) = I^* \cdot \omega_0 \cdot \cos\omega_0 t \quad \cdots (5)$$

[0046] 速度指令値ｖｍ*は、ストローク指令値Ｉ*を振幅とした正弦波で表すことができる。

正弦波を時間微分すると余弦波になるため、図１３の上図に示す構成とすると微分演算を省略することができ、制御部１０２への実装が容易になる。

[0047] 速度指令値ｖｍ*に、誘起電圧定数Ｋｅ*を乗算器９２ｅにて乗じ、誘起電圧定数Ｋｅ*が一定とした場合の誘起電圧に相当する電圧指令値V_{m1}*を生成する。

ここで、駆動するリニアモータ１０４の特性として、可動子位置に対する電機子９の鎖交磁束の変化が図３に示した様な特性の場合、ストロークが大きい場合には誘起電圧定数Ｋｅ*を一定とは見做すことができない。

仮に、誘起電圧定数Ｋｅ*を一定として電圧指令値V_{m1}*を作成した場合、ストロークの端部（正の最大変位および負の最大変位）近傍で印加電圧過多（印加電圧＞誘起電圧）となり、無駄な電流が流れることで、リニアモータの効率が低下する。

また、リニアモータの効率のみならず、後述する電力変換回路１０５での損失も増える。さらに、大電流に対応するために、電流容量の大きな（一般的に面積の大きい）スイッチング素子を使う必要がある。その結果、電力変換回路自体や放熱フィンが大きくなってしまい、リニアモータ駆動装置１０１の小型化が困難となる。

そこで、本実施例では、誘起電圧定数Ｋｅ*が一定とした場合の誘起電圧に

相当する電圧指令値V_{m1}*に、乗算器９２ｆにて端部誘起電圧調整器１３３の出力である端部誘起電圧調整ゲインを乗ずることで、リニアモータ１０４に印加する電圧指令値V_{m2}*を生成する。詳細後述する端部誘起電圧調整器１３３は、位置検出器１０６より可動子位置ｘｍを入力し、可動子位置ｘｍに対応する端部誘起電圧調整ゲインを出力するものである。

[0048] 図１３の下図は、ストローク制御器１５３を有する、いわゆるクローズ指令型の電圧指令値作成器１０３ｂの構成例である。電圧指令値作成器１０３ｂは、余弦演算器８２ｂ、乗算器９２ｄ～９２ｆ、端部誘起電圧調整器１３３、及びストローク制御器１５３を備える。

電圧指令値作成器１０３ｂは、予め設定された、或は、上位の制御器（図示せず）などから得るストローク指令値Ｉ*と、駆動周波数調整器１３１の出力である駆動周波数指令値ω*と、基準位相作成器としての積分器１４０の出力である基準位相θ*と、位置検出器１０６の出力である可動子位置ｘｍと、を入力する。

[0049] 入力値の余弦を出力する余弦演算器８２ｂに基準位相θ*を入力し、その余弦出力と、入力されるストローク指令値Ｉ*及び可動子位置ｘｍに基づきストローク制御器１５３より出力されるストローク指令値Ｉ**と、駆動周波数指令値ω*と、を乗算器９２ｄにて乗算し、速度指令値ｖｍ*を得る。

速度指令値ｖｍ*に、誘起電圧定数Ｋｅ*を乗算器９２ｅにて乗じ、誘起電圧定数Ｋｅ*が一定とした場合の誘起電圧に相当する電圧指令値V_{m1}*を生成する。誘起電圧定数Ｋｅ*が一定とした場合の誘起電圧に相当する電圧指令値V_{m1}*に、乗算器９２ｆにて端部誘起電圧調整器１３３の出力である端部誘起電圧調整ゲインを乗ずることで、リニアモータ１０４に印加する電圧指令値V_{m2}*を生成する。

すなわち、電圧指令値作成器１０３ｂは、位置検出器１０６の出力である可動子位置ｘｍの相当するストローク検出値またはストローク推定値をフィードバックし、ストローク制御器１５３でストローク指令値を制御する。

[0050] ＜端部誘起電圧調整器＞

図１４は、図１３に示す電圧指令値作成器１０３，１０３ａを構成する端部誘起電圧調整器１３３の第１の構成例を示す説明図である。端部誘起電圧調整器１３３は、位置検出器１０６の出力である可動子位置ｘｍを入力とし、端部誘起電圧調整ゲインを出力する。

端部誘起電圧調整ゲインの決め方は、様々な形態が考えられる。いずれの形態においても、磁束の変化率が小さい可動子位置ｘｍにおいて、印加電圧のうち、磁束の変化に応じて印加する電圧成分を小さくする。

[0051] まず図１４に示す例では、入力される可動子位置ｘｍに応じて、余弦関数の絶対値（｜ｃｏｓθ｜）を端部誘起電圧調整ゲインとして出力する。図３に示したように、リニアモータ１０４の可動子（界磁子）６の位置に対する電機子９の鎖交磁束は、±０．０１ｍ（±１０ｍｍ）の位置で傾きがゼロとなる特性を有する。換言すれば、図１４において、下死点である－１０ｍｍ近傍及び上死点である１０ｍｍ近傍では、誘起電圧定数Ｋｅ*はゼロとなる。これは、上死点及び下死点近傍では可動子６の速度が略ゼロとなるため、可動子６に対する電機子９の鎖交磁束の傾き（磁束の変化率）がゼロとなるため誘起電圧が略ゼロとなることに因る。

そのため、端部誘起電圧調整ゲインを略ゼロとすることで、誘起電圧定数Ｋｅ*が一定として誘起電圧に相当する電圧指令値V_{m1}*を生成する場合においても、電圧指令値作成器１０３，１０３ａから出力される電圧指令値V_{m2}*は、略ゼロとなる。これにより、リニアモータ１０４に印加される電圧は、リニアモータ１０４の誘起電圧の変化に応じて調整され、印加電圧が過多となることを防止できる。

従って、巻線８を流れる無駄な電流を抑制でき、リニアモータ１０４を高効率で駆動することができる。また、電力変換回路１０５での損失も抑制できることから、必要最小限の電流容量のスイッチング素子や放熱フィンを採用でき、リニアモータ駆動装置１０１の小型化を実現することができる。

[0052] 一方、可動子６が中心位置付近で往復動している場合、端部誘起電圧調整ゲインは１に近い値となるため、誘起電圧定数が一定として誘起電圧に相当

する電圧指令値V_{m1}*（＝V_{m2}*）がリニアモータ１０４に印加される。すなわち、誘起電圧に近い電圧がリニアモータ１０４に印加され、無駄な電流を抑制できる。

[0053] このように、電圧指令値作成器１０３，１０３ａが端部誘起電圧調整器１３３を備えることにより、ストロークの大小或いはストロークの正負非対称に拘わらず、常に誘起電圧に応じた電圧がリニアモータ１０４に印加される。換言すれば、電機子９と可動子（界磁子）６の相対位置の変動により生じる磁束の変化率に応じた電圧成分の絶対値を有する電圧がリニアモータ１０４に印加される。これにより、リニアモータ駆動装置１０１の高効率化と小型化を実現することが可能となる。

なお、図１４に示す可動子位置とゲインとの関係を示す特性曲線は、端部誘起電圧調整器１３３内の予め図示しない記憶部に格納されている。端部誘起電圧調整器１３３は、記憶部に格納される可動子位置とゲインとの関係を示す特性曲線に基づき、入力される可動子位置ｘｍに対応するゲインを端部誘起電圧調整ゲインとして出力する。

[0054] 図１５は、図１３に示す電圧指令値作成器１０３，１０３ａを構成する端部誘起電圧調整器の第２の構成例を示す説明図である。端部誘起電圧調整器１３３ａは、図３に示した可動子位置に対する電機子鎖交磁束の関係を、可動子位置で微分した値を端部誘起電圧調整ゲインとして出力する。

可動子６が中心付近に位置する場合は、電機子差交磁束の傾き（磁束の変化率）は１に近くなるため、端部誘起電圧調整器１３３ａは端部誘起電圧調整ゲインとして１を出力する。ストロークが少し大きくなると（例えば、８ｍｍ）、電機子差交磁束の傾き（磁束の変化率）が小さくなるため、それに応じて端部誘起電圧調整ゲインを１より小さい値にする。さらにストロークが大きくなり、可動子６が端部（上死点または下死点）まで往復動する場合においては、可動子位置が±１０ｍｍ近傍においては、端部誘起電圧調整ゲインとしてゼロに近い値を出力する。

[0055] 図１６は、図１３に示す電圧指令値作成器１０３，１０３ａを構成する端

部誘起電圧調整器の第３の構成例を示す説明図である。端部誘起電圧調整器１３３ｂは、所定の可動子位置（ｘ１）までは、端部誘起電圧調整ゲインとして１を出力し、可動子位置がｘ１を超えた場合は、可動子位置の絶対値の増加に対して単調減少となる端部誘起電圧調整ゲインを出力する。図１６では、単調減少ゲインの例として、１次関数的にゲインが小さくなる例を示している。

[0056] なお、電機子９の構成によっては、可動子位置ｘｍに対する電機子差交磁束が正弦波状ではなく、高次の成分が重畳されている場合もある。その場合は、端部誘起電圧調整ゲインは、所定の可動子位置を越えても単調減少ではなく、極大値を持つように、可動子位置と端部誘起電圧調整ゲインの関係を変更すれば良い。

[0057] このように、いくつか構成例を示した端部誘起電圧調整器であるが、リニアモータ１０４に印加される電圧波形で見ると、図１７に示す電圧波形となる。図１７は印加電圧波形の説明図であり、図１７の上図は小スクローク時の電圧波形を示し、図１７の下図は大スクローク時の電圧波形を示している。図１７の上図に示すように、ストロークが小さい時は余弦波に近い波形をリニアモータ駆動装置１０１がリニアモータ１０４へ出力する。一方、図１７の下図に示すように、ストロークが大きい時は、点線で囲まれる領域、すなわち、ゼロクロス近傍で歪んだ波形を、リニアモータ駆動装置１０１がリニアモータ１０４へ出力する。ストロークが増加するに従い、歪具合が大きくなる。換言すれば、印加電圧の波形をＦＦＴ（Ｆａｓｔ　Ｆｏｕｒｉｅｒ　Ｔｒａｎｓｆｏｒｍ）などで周波数分析すると、ストロークが大きくなるに従い、歪率が大きくなる。

なお、図１７の下図において、点線で囲まれる領域（ゼロクロス近傍）における電圧波形の歪は、高調波成分の含有に因るものである。すなわち、上述の図１４～図１６に示した可動子位置とゲインとの関係を示す特性曲線に基づき、可動子６が端部（上死点または下死点）近傍に位置するとき、端部誘起電圧調整器が出力する端部誘起電圧調整ゲインを、乗算器９２ｆ（図１

３）にて乗ずると、電圧指令値作成器１０３，１０３ａより出力される電圧指令値V_{m2}*の電圧波形は、３次成分の高調波が重畳された波形、すなわち、１次成分に３次成分の高調波が含まれた波形となる。よって、リニアモータ駆動装置１０１は、ストロークの増加に伴いゼロクロス近傍での高調波成分の含有率を高くし、印加電圧をリニアモータ１０４へ出力する。

[0058] ＜ストローク制御器１５３＞

図１８は、図１３の下図に示す電圧指令値作成器１０３ａを構成するストローク制御器１５３の構成例を示す説明図である。図１８に示すように、ストローク制御器１５３は、ストローク指令値Ｉ*と、可動子位置ｘｍに対応するストローク検出値またはストローク推定値の差を減算器９１ａで求め、これに乗算器９２ｄで比例ゲインＫｐ＿ａｓｔｒを乗じて比例制御した演算結果と、乗算器９２ｅで積分ゲインＫｉ＿ａｓｔｒを乗じ、その結果を積分器９４ｄで積分する積分制御した演算結果とを加算器９０ａで加算し、調整後のストローク指令値Ｉ**を出力する。本実施例のストローク制御器１５３は比例積分制御の構成であるが、比例制御や積分制御など、他の制御構成も適用できる。

[0059] このようにストローク制御器１５３を構成することにより、ストローク指令値通りに可動子６を制御することができると共に、ストロークの変化によって誘起電圧定数Ｋｅ*を一定と見做すことができない場合においても、誘起電圧に応じた電圧がリニアモータ１０４に印加される。これにより、リニアモータ駆動装置１０３ａの高効率化と小型化を実現することができる。

[0060] ＜ＰＷＭ信号作成器１３４＞

図１に示す制御部１０２を構成するＰＷＭ信号作成器１３４には、三角波のキャリア信号と電圧指令値Ｖｍ*を比較することによる既知のパルス幅変調を用い、電圧指令値Ｖｍ*に応じたドライブ信号が生成され、生成されたドライブ信号は電力変換回路１０５へ出力される。

[0061] ＜電力変換回路１０５＞

図１９は、図１に示すリニアモータ駆動装置１０１を構成する電力変換回

路１０５の構成例を示す図である。フルブリッジ回路１２６は、制御部１０２により入力されたドライブ信号に応じて直流電圧源１２０をスイッチングして、リニアモータ１０４に電圧を出力する。フルブリッジ回路１２６は４つのスイッチング素子１２２を備えており、直列接続されたスイッチング素子１２２ａ，１２２ｂを持つ第一上下アーム（以下、Ｕ相と称する）と、スイッチング素子１２２ｃ，１２２ｄを持つ第二上下アーム（以下、Ｖ相と称する）と、を構成している。スイッチング素子１２２は、制御部１０２で生成される電圧指令値Ｖｍ*やパルス幅変調によるドライブ信号を基に、ゲートドライバ回路１２３が出力するパルス状のゲート信号（１２４ａ～１２４ｄ）に応じてスイッチング動作できる。

スイッチング素子１２２の導通状態（オン／オフ）を制御することにより、直流電圧源１２０の直流電圧を交流電圧に相当する電圧を巻線８に出力できる。なお、直流電圧源１２０に代えて直流電流源を用いても良い。スイッチング素子１２２としては、例えば、ＩＧＢＴやＭＯＳ－ＦＥＴなどの半導体スイッチング素子を採用できる。

[0062] [リニアモータ１０４との結線]

電力変換回路１０５の第一上下アームのスイッチング素子１２２ａ，１２２ｂ間および第二上下アームのスイッチング素子１２２ｃ，１２２ｄ間それぞれが、リニアモータ１０４に接続されている。図１９では、上側及び下側の電機子９の巻線８が並列に接続されている例を示しているが、巻線８を直列に接続することもできる。

[0063] 以上のように、本実施例によれば、リニアモータの推力を検出するセンサをリニアモータ内に配することなく、巻線に流れる無効電流を抑制し、リニアモータを高効率に駆動し得るリニアモータシステムを提供することが可能となる。具体的には、磁束の変化率が小さい可動子位置において、印加電圧のうち、磁束の変化に応じて印加する電圧成分（電圧成分の絶対値）を小さくすることにより、高効率なリニアモータシステムを実現することができる。また、可動子（界磁子）と電機子の相対位置の増加（ストロークの増加）

に応じて、巻線に印加する電圧の高調波成分の含有率を高くすることにより、効率なリニアモータシステムを実現することができる。

実施例 2

[0064] 本実施例の構成は、下記の点を除き実施例１と同様にできる。本実施例は、後述するリニアモータシステム２００を搭載した機器の一例としての密閉型圧縮機５０に関する。

[0065] ＜密閉型圧縮機５０＞

図２０は、本発明の他の実施例に係る実施例２の密閉型圧縮機の縦断面図であり、リニアモータ１０４を有する密閉型圧縮機５０の縦断面図の一例である。密閉型圧縮機５０は、圧縮要素２０と電動要素３０とが密閉容器３内に配置されたレシプロ圧縮機である。圧縮要素２０及び電動要素３０は支持ばね４９によって密閉容器３内に弾性的に支持されている。電動要素３０は、可動子（界磁子）６及び電機子９を含む。

圧縮要素２０、はシリンダ１ａを形成するシリンダブロック１と、シリンダブロック１の端面に組み立てられるシリンダヘッド１６と、吐出室空間を形成するヘッドカバー１７とを備えている。シリンダ１ａ内に供給された作動流体はピストン４の往復動によって圧縮され、圧縮された作動流体は圧縮機外部に連通する吐出管（図示せず）へと送られる。

なお、作動流体は、例えば、空気や冷凍サイクルの冷媒などを採用できる。

[0066] 可動子（界磁子）６の一端にはピストン４が取り付けられている。本実施例では、可動子（界磁子）６及びピストン４が往復運動することで、作動流体を圧縮及び膨張させる。

この圧縮及び膨張に要する仕事等が変動する負荷に相当する。電動要素３０の片端には圧縮要素２０を配置してある。シリンダブロック１は、可動子６の往復運動を案内するガイドロッドを前後方向に沿って有している。

可動子６に共振バネ２３（図２０中では図示せず）を付加し、可動子（界磁子）６の質量とバネ定数から決まる機械的な共振周波数で可動子（界磁子）６を往復運動させる場合、圧縮要素２０による共振周波数への影響も考慮

する必要がある。すなわち、圧縮要素２０の吸込圧力や吐出空間の圧力によって、作動流体のバネ的な作用が加わるため、共振状態となる周波数が変化する。すなわち、シリンダ１ａの圧力が高い場合には、可動子（界磁子）６に付加された共振バネ２３のバネ定数が高いのと等価であり、共振周波数は高くなる。反対に、シリンダ１ａの圧力が低い場合には、可動子（界磁子）６に付加された共振バネ２３のバネ定数が支配的となり、共振周波数は、可動子（界磁子）６の質量とバネ定数から決まる機械的な共振周波数に近い。

[0067] このように、リニアモータ１０４を圧縮要素２０の動力とする場合は、圧縮要素２０の条件（吸込圧力、吐出圧力、吸込と吐出の圧力差等）によって共振周波数が変化してしまう。そのため、負荷や共振周波数の変化に合わせて駆動周波数を変化させることが必要である。

それに加え、誘起電圧定数Ｋｅ*を一定として電圧指令値を作成した場合、ストロークの端部（正の最大変位および負の最大変位）近傍で印加電圧過多（印加電圧＞誘起電圧）となり、無駄な電流が流れることで、リニアモータ１０４の効率が低下するという課題がある。

[0068] 共振周波数が変化してしまう影響は、巻線８への印加電圧Ｖｍ、モータ電流Ｉｍ、及び可動子６の速度の位相関係から見て取れる。そのため、これらの位相関係を基に制御することで、高効率なリニアモータシステムを構成することができる。

[0069] また、密閉容器３にリニアモータ１０４を設置する場合は、ハーメチックコネクタやハーメチックシールと称される、気密性を持ったコネクタが用いられることがある。気密性を保つためには、コネクタの数は最小限にするのが望ましい。そのため、後述する本実施例のリニアモータシステム２００は、リニアモータ１０４に印加する電圧Ｖｍと、リニアモータ１０４に流れるモータ電流Ｉｍから可動子６の位置を位置推定器１３５で推定し、位置推定値ｘｍ＾を基に、高精度に共振周波数を検出あるいは推定し、高効率なリニアモータ駆動を提供する。

[0070] 図２１は、本実施例のリニアモータシステム２００の全体概略構成図であ

る。図２１に示すように、リニアモータシステム２００は、上述の実施例に１におけるリニアモータシステム１００と同様の構成であるが、負荷電流検出器１５０、電流検出器１０７、電圧指令値Ｖｍ*を出力する電圧指令値作成器１０３ｂ、及び位置推定器１３５が異なる。以下では、これら、負荷電流検出器１５０、電流検出器１０７、電圧指令値作成器１０３ｂ、及び位置推定器１３５について説明する。その他の構成は上述の実施例１におけるリニアモータシステム１００と同様であるため説明を省略する。

[0071] ＜負荷電流検出器１５０＞

図２３は、図２１に示す制御部２０２を構成する負荷電流検出器の構成例を示す説明図である。本実施例の負荷電流検出器１５０は、フーリエ変換式を用いて負荷電流成分の振幅を抽出する。

負荷電流検出器１５０は、図１０に示した位相差検出器１３０の構成と同様に、入力値の正弦を出力する正弦演算器８１と、入力値の余弦を出力する余弦演算器８２のそれぞれに、位相指令値である基準位相θ*を入力し、基準位相θ*に対する正弦及び余弦を得る。正弦及び余弦それぞれをモータ電流Ｉｍと乗算した値が乗算器９２からそれぞれ出力される。その出力をそれぞれ積分器９４ｅ，９４ｆで積分すると、正弦及び余弦それぞれの１次のフーリエ係数を得る。すなわち、フーリエ展開の駆動周波数ωより高次の周波数成分を消去できるので、高次のノイズに対してロバストに構成できる。

[0072] 積分器９４ｅ，９４ｆの出力を二乗し、平方根演算器９６に入力する。すなわち、正弦及び余弦それぞれの１次のフーリエ係数となる、正弦成分及び余弦成分の二乗和平方根を得て、基本波電流の振幅を得る。負荷の増加に伴い、基本波電流の振幅も増加するため、図２３の構成により、負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄを検出することができる。

[0073] 図２４は、図２１に示す制御部２０２を構成する負荷電流検出器の他の構成例を示す説明図である。負荷電流検出器１５０ｂは、入力値の余弦を出力する余弦演算器８２に位相指令値である基準位相θ*を入力し、基準位相θ*に対する余弦を得る。得られた余弦とモータ電流Ｉｍを乗算器９２にて乗算

することで、モータ電流ＩｍのＤＣ成分（Ｉｍ＿ＤＣ）を抽出する。次に、モータ電流ＩｍのＤＣ成分（Ｉｍ＿ＤＣ）を一次遅れフィルタ１４１でローパスフィルタ（低域通過フィルタ）処理し、負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄとして出力する。

なお、図２４には１次遅れフィルタの構成例を示したが、１次遅れフィルタに限らず、２次遅れフィルタ等、他の既知の構成でローパスフィルタを構成しても良い。

[0074] 図８および図９で示したように、可動子の位置を正弦波とすると、負荷電流は余弦成分が支配的になる。そのため、図２４の構成は抽出した余弦成分を、フィルタ処理をすることで、負荷電流を検出することができる。図２４の構成とした場合、演算負荷低減に有効である。

[0075] ＜電圧指令値作成器１０３ｂ＞

図２５は、図２１に示す制御部２０２を構成する電圧指令値作成器１０３ｂの構成例を示す説明図である。図２５に示すように、電圧指令値作成器１０３ｂは、基準位相θ*と、後述する位置推定器１３５の出力である位置推定値ｘｍ＾と、負荷電流検出器１５０で検出した負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄを入力し、可動子（界磁子）６の速度に応じて生じる誘起電圧に相当する電圧指令値V_{m1}*と、リニアモータ１０４の抵抗及びインダクタンスによる電圧降下分に相当する電圧指令値V_{m3}*をベクトル加算した電圧指令値V_{m2}*を出力する。

[0076] 負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄに、予め設定或いは推定した抵抗値R_m*とインダクタンス値L_m*を乗算器９２にてそれぞれ乗ずる。次に、負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄと抵抗値R_m*を乗じた値に、入力値である基準位相θ*の余弦を出力する余弦演算器８２の出力を乗算器９２にて乗じ、負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄとインダクタンス値L_m*を乗じた値に、入力値である基準位相θ*の負の正弦を出力する正弦演算器８１ａの出力を乗じる。更に、これらを加算器９０で足し合わせ、電圧降下分に相当する電圧指令値V_{m3}*として出力する。

[0077] 電圧指令値V_{m1}*および電圧指令値V_{m3}*は、どちらも交流波形となるため、電圧指令値作成器１０３ｂではベクトル和（ベクトル加算）を出力してい

るのと等価である。

[0078] 図２６は、軽負荷時及び重負荷時における電圧指令値作成器１０３ｂでのベクトル和を示すベクトル図であり、電圧指令値作成器１０３ｂでのベクトル加算をベクトル図で示した説明図である。図２６の左図は軽負荷時、すなわち負荷電流が小さい時のベクトル図で、図２６の右図は重負荷時、すなわち負荷電流が大きい時のベクトル図である。図２６の左図及び右図とも、ストローク指令値は同じ値のため、誘起電圧に相当する電圧指令値$Ｖ_{m1}$*は、同じベクトルとなっている。なお、図２６の左図及び右図において、反時計回りを正としている。

このように、誘起電圧に相当する電圧指令値$Ｖ_{m1}$*に対し、リニアモータ１０４の抵抗及びインダクタンスによる電圧降下分に相当する電圧指令値$Ｖ_{m3}$*をベクトル加算することで、負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄに応じて電圧指令値$Ｖ_{m2}$*の振幅が増加すると共に、交流電圧指令位相θ_{Vm}*の分、位相が進んだ、単相の交流電圧指令値$Ｖ_{m2}$*が出力される。つまり、可動子６のストロークが同じ、換言すれば、速度指令値ｖｍ*が同じでも、負荷条件に応じて電圧指令値$Ｖ_{m2}$*を適切に制御する。

[0079] ストローク指令値Ｉ*、位相指令値θ*、速度指令値ｖｍ*のいずれかを変更することにより、リニアモータ１０４に印加する電圧$Ｖ_{m2}$*を調整することができる。そのため、印加電圧の振幅及び周波数を調整することで、駆動周波数を共振周波数に制御することやストロークを制御することが可能となる。

[0080] 実施例１と同様に、電圧指令値作成器１０３ｂは、端部誘起電圧調整器１３３を備える。そのため、可動子位置に応じて適切な端部誘起電圧調整ゲインを乗ずることにより、誘起電圧に近い電圧がリニアモータ１０４に印加され、無駄な電流を抑制でき、リニアモータ１０４を高効率で駆動することができる。

[0081] 図２７は、図２１に示す制御部２０２を構成する電圧指令値作成器の他の構成例を示す説明図である。図２７に示すように、電圧指令値作成器１０３ｃは、誘起電圧に相当する電圧指令値$Ｖ_{m1}$*に対し抵抗及びインダクタンスに

よる電圧降下分に相当する電圧指令値Ｖｍ３*をベクトル加算後の電圧指令値に、端部誘起電圧調整器１３３の出力である端部誘起電圧ゲインを乗算器９２ｆにて乗ずる構成とした点が、上述の図２５に示した電圧指令値作成器１０３ｂと異なる。電圧指令値作成器１０３ｃは、端部でリニアモータ１０４のインダクタンスの変化が大きい場合に有効である。

なお、負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄとインダクタンス値Ｌｍ*を乗じた値のみに、端部誘起電圧調整器１３３と同様な構成で、ゲインをかけることも可能である。

[0082] ＜位置推定器１３５＞

可動子（界磁子）６の位置推定は、リニアモータ１０４に印加する電圧Ｖｍと、リニアモータ１０４に流れる電流Ｉｍを利用して、例えば次式（６）で位置推定値ｘｍ＾を求める。

[0083] [数6]

$$\hat{x_m} = \frac{1}{K_e^*}\left\{\int (V_m^* - R_m^* \cdot I_m)dt - L_m^* \cdot I_m\right\} \quad \cdots (6)$$

[0084] 式（６）中、Ｖｍ*はリニアモータ１０４に印加する電圧指令値Ｖｍ*である。

[0085] 図２８は、図２１に示す制御部２０２を構成する位置推定器１３５の構成例を示す説明図であって、式（６）をブロック図で示した場合の説明図である。なお、図２８に示すように、位置推定器１３５は、電圧指令値Ｖｍ*及びモータ電流Ｉｍを入力し、モータ電流Ｉｍにリニアモータ１０４の巻線抵抗値Ｒｍ*を乗じた結果を電圧指令値Ｖｍ*より減じて、この減じた結果を積分器にて演算した結果を得る。また、モータ電流Ｉｍにリニアモータ１０４の巻線インダクタンス値Ｌｍ*を乗じた結果を得て、上記積分器にて演算した結果より減じて、この減じた結果を誘起電圧定数Ｋｅ*にて除することで位置推定値ｘｍ＾を出力する。なお、位置推定器１３５には、上記以外にも既知の同期式モータの位置推定方法を適用することができる。位置推定値ｘｍ＾を基にストロークを演算し、図１３の下図に示すストローク制御器１５３に入

力すれば、所望のストロークに制御することができる。

[0086] ＜位相差検出器１３０ａ＞

上述の実施例１では、図１０に示した位相差検出器１３０が、可動子（界磁子）６の位置ｘｍおよび基準位相θ*を入力し、位相差ｄｌｔθを算出する構成としていた。これに対し本実施例では、モータ電流Ｉｍを用いることにより、次式（７）に示すように基準位相θ*に対するモータ電流Ｉｍの位相を算出できる。これは、上述の通り、共振周波数が想定値から変化した場合、その影響はモータ電流Ｉｍの位相関係から見て取れるからである。

[0087] [数7]

$$\hat{\theta_{pos}} = tan^{-1}\left(\frac{b_1}{a_1}\right) = tan^{-1}\left(\frac{\int_{-2\pi}^{0} I_m \cdot sin\omega_0 t\, dt}{\int_{-2\pi}^{0} I_m \cdot cos\omega_0 t\, dt}\right) \quad \cdots (7)$$

[0088] 図２２は、図２１に示す制御部２０２を構成する位相差検出器１３０ａの構成例を示す説明図であって、式（７）をブロック図で示した場合の説明図である。入力値の正弦を出力する正弦演算器８１及び入力値の余弦を出力する余弦演算器８２のそれぞれに、位相指令値である基準位相θ*を入力し、基準位相θ*（位相指令値）に対する正弦及び余弦を得る。正弦及び余弦それぞれをモータ電流Ｉｍと乗算した値が乗算器９２から出力される。その出力をそれぞれ積分器９４ａ，９４ｂで積分すると、正弦及び余弦それぞれの１次のフーリエ係数を得る。すなわち、フーリエ展開の駆動周波数ωより高次の周波数成分を消去できるので、高次のノイズに対してロバストに構成できる。

積分器９４ａ，９４ｂの出力を逆正接器８６に入力する。逆正接器８６は、入力された正弦及び余弦成分を基に逆正接値を位相差推定値ｄｌｔθ^として出力する。本実施例の逆正接器８６は、分子を積分器９４ａの出力、分母を積分器９４ｂの出力とした位相の逆正接値を出力するが、分子と分母を逆にした値を出力しても良い。

このようにモータ電流Ｉｍを用いて高精度に共振周波数を検出あるいは推

定することにより、高効率なリニアモータ駆動装置２０１を実現することができる。

[0089] ［電流検出器１０７］

図２９は、図２１に示すリニアモータ駆動装置２０１を構成する電力変換回路１０５の構成例を示す図である。電力変換回路１０５の構成およびリニアモータ１０４との結線については上述の実施例１と同様であるため説明を省略する。図２９に示すように、Ｕ相下アームとＶ相下アームには、例えばＣＴ（カレントトランス）等の電流検出器１０７を設けられている。これにより、リニアモータ１０４の巻線８に流れる電流Ｉｍを検出できる。

[0090] 電流検出器１０７として、例えば、ＣＴに代えて、電力変換回路１０５の下アームにシャント抵抗１２５を付加し、シャント抵抗１２５に流れる電流からリニアモータ１０４に流れる電流を検出する相シャント電流方式を採用できる。電流検出器１０７に代えて又は追加して、電力変換回路１０５の直流側に付加されたシャント抵抗１２５に流れる直流電流から、電力変換回路１０５の交流側の電流を検出するシングルシャント電流検出方式を採用しても良い。シングルシャント電流検出方式は、電力変換回路１０５を構成するスイッチング素子１２２の通電状態によって、シャント抵抗１２５に流れる電流が時間的に変化することを利用している。

[0091] 以上のように、本実施例によれば、密閉型圧縮機５０のリニアモータ１０４において、負荷に応じて電圧振幅と電圧位相を制御し、電圧位相を考慮して駆動周波数を調整することにより、負荷を含めた機械的な共振周波数でリニアモータを駆動でき、高効率なリニアモータシステムを構成することができると共に、磁束の変化率が小さい可動子位置において、印加電圧のうち、磁束の変化に応じて印加する電圧成分（電圧成分の絶対値）を小さくすることにより、高効率なリニアモータシステムを構成することができる。

実施例 3

[0092] 上述の実施例１におけるリニアモータ駆動装置１０１を構成する制御部１０２及び実施例２におけるリニアモータ駆動装置２０１を構成する制御部２

０２は、マイクロコンピュータ或いはＤＳＰなどの半導体集積回路によって構成され、ソフトウェア等で実現される場合が多い。そのため、上述の実施例１及び実施例２におけるリニアモータ駆動装置１０１，２０１が正しく構成されているか、検証することが困難となることが想定される。そこで、本実施例においては、上述のリニアモータ駆動装置１０１，２０１の構成が正しく動作しているかを検証する検証システム６００に関する。図３０は、本発明の他の実施例に係る実施例３の検証システムの構成例を示す説明図である。

[0093] リニアモータ駆動装置には、リニアモータ１０４を構成する可動子（界磁子）６の位置（可動子６のストローク）を検出する例えばレーザ変位計などの位置検出器１０６（実施例１）、或は、電流検出器１０７の出力である電流検出値Ｉｍ（モータ電流Ｉｍ）に基づき可動子（界磁子）６の位置の推定値ｘｍ＾を出力する位置推定器１３５（実施例２）が設けられている。

[0094] 図３０に示すように、検証システム６００は、少なくとも、電力変換回路１０５へドライブ信号を出力する制御部１０２、電力変換回路１０５、リニアモータ１０４、位置検出器１０６、及び、検証装置１９０から構成される。なお、制御部１０２に代えて実施例２に示した制御部２０２、及び、位置検出器１０６に代えて実施例２に示した位置推定器１３５を有する構成としても良い。

電力変換回路１０５とリニアモータ１０４との間の結線には、電圧計１９３が挿入されている。これにより、リニアモータ１０４に印加される線間電圧を測定する。なお、この電圧計は、各相の電位と、直流電圧源１２０のＮ（マイナス）側との電位との差を各相の電圧として検出しても良い。

[0095] ＜検証装置１９０＞

リニアモータ１０４には、制御部１０２により入力されたドライブ信号に応じて直流電圧源１２０をスイッチングして電圧印加されている。電圧計１９３で検出する電圧波形は、パルス幅変調したパルス状の波形となる。リニアモータ駆動装置１０１，２０１が正しく構成されているか検証するために

は、基本波成分が重要となる。検証装置１９０の内部に設けられたローパスフィルタ１９１は、電圧計１９３により検出される電圧波形から駆動周波数成分を出力する。

ここで、駆動周波数成分を出力する簡易的な方法としては、例えば、制御部１０２を構成するＰＷＭ信号作成器１３４の三角波キャリア信号（通常は、数ｋＨｚ～数十ｋＨｚ）の１／５～１／１０程度のより低い遮断周波数を有するローパスフィルタ（低域通過フィルタ、ＬＰＦ）１９１を用いる。

記録装置１９４にて、ストローク或いは可動子位置と、駆動周波数成分の電圧波形を確認し、上述の図１７に示したように、小ストローク時と大ストローク時での電圧波形の変化を測定することにより、制御部１０２（実施例１）または制御部２０２（実施例２）が所定の動作を行っているか否かを検証することができる。

[0096] なお、ローパスフィルタ１９１に代えて、ＦＦＴ変換（高速フーリエ変換）して各周波数成分を測定し、印加電圧波形の歪率の変化でも検証できる。すなわち、ストロークが装荷するに従い、上述の図１７に示したゼロクロス近傍における電圧波形の歪率が大きくなることを測定することにより、制御部１０２または制御部２０２が所定の動作を行っているか否かを検証することができる。

[0097] 本実施例によれば、リニアモータ駆動装置を構成する制御部が所定の動作を行っているか否かを容易に検証することが可能となる。

実施例 4

[0098] 本実施例の構成は、下記の点を除き実施例１又は２と同様にできる。本実施例は、リニアモータシステムを搭載した機器の一例としてのエアサスペンションシステム３００に関する。

図３１は、本発明の他の実施例に係る実施例３のエアサスペンションシステム３００の回路図であり、図３２は図３１に示すエアサスペンションシステム３００を搭載した車両の概略図である。但し、図３２においては、後述する分配点３０９Ｎ及びこれよりエアサスペンション３０１，３０２側の構

成要素のみを図示している。

[0099] 図３１に示すように、エアサスペンションシステム３００は、２つのエアサスペンション３０１，３０２、リニアモータ１０４を駆動源とするコンプレッサ３０３、吸気フィルタ３０４、第１タンク３０５、及びエアドライヤ３０７、並びに、弁として、３つのチェック弁３０８，３１５，３１７、給排切換弁３１０、２つのサスペンション制御弁３１１，３１２、戻り通路開閉弁３１４、及び排気通路開閉弁３１９、を有している。エアサスペンションシステム３００は、空気が流通可能な通路によってこれらを接続している。

[0100] エアサスペンションシステム３００は、図３２に示すように、例えば車両４００に搭載され、エアサスペンション３０１，３０２のエア室３０１Ｃ，３０２Ｃ（図３１）内の空気圧の制御を行うシステムである。例えば、車両４００の左車輪４１０Ｌ及び右車輪４１０Ｒには、これらのハブ等同士を繋ぐ車軸４２０が設けられている。例えば、左車輪４１０Ｌ及び右車輪４１０Ｒそれぞれと車体４３０との間や、ハブと車体４３０との間といった、車輪４１０側と車体４３０側との間にエアサスペンション３０１、３０２を設け、エア室３０１Ｃ，３０２Ｃ内の空気圧を制御することで、車高の調整を行える。

[0101] エアサスペンション３０１，３０２は、図３２に示すように、車輪４１０側の車軸４２０と車両４００の車体４３０との間に取り付けられてもよく、また、車輪４１０と車体４３０とを連結するサスペンションのアーム類(車輪４１０側）と車体４３０との間や車輪４１０のハブ（車輪４１０側）とサスペンションのアッパーアームの車体４３０取付部近傍（車体４３０側）との間に取付けてもよい。このように、エアサスペンション３０１，３０２は、車輪４１０と車体４３０を支えるように設けられれば良く、例えば、上下方向について車輪４１０と車体４３０との間に設けることができ、直接、車輪４１０や車体４３０に取り付ける態様には限られない。

[0102] 本実施例では、エアサスペンションを２つ有するエアサスペンションシス

テム３００について説明するが、エアサスペンションシステム３００が含むエアサスペンションの個数は１つ以上であれば特に制限されない。エアサスペンションの個数は、例えば車輪の個数に等しくすることができる。例えば４輪自動車の場合には、２つの前輪側に２個、２つの後輪側に２個の、合計４個のエアサスペンションを配設できる。なお、本実施例では、緩衝用のシリンダ３０１Ａ，３０２Ａとエアばねとなるエア室３０１Ｃ，３０２Ｃとを一体にした例を示したが、大型車やリヤサスペンション側で既知のように緩衝用のシリンダ（油圧緩衝器）３０１Ａ，３０２Ａとエアばねとを独立に設けてもよい。

[0103] 図３１に示すように、エアサスペンション３０１，３０２には、緩衝用のシリンダ３０１Ａ，３０２Ａそれぞれとピストンロッド３０１Ｂ，３０２Ｂそれぞれとの間にエア室３０１Ｃ，３０２Ｃが形成されており、エアばねを構成している。エア室３０１Ｃ，３０２Ｃそれぞれには後述する通路が接続されており、エアサスペンションシステム３００の動作によって圧力及び車高が制御されている。

[0104] コンプレッサ３０３は、吸入ポート３０３Ｃから吸入した空気を圧縮して吐出ポート３０３Ｄから吐出することができる。コンプレッサ３０３は、コンプレッサ本体３０３Ａ及びリニアモータ１０４から構成される。吸入ポート３０３Ｃまたは吐出ポート３０３Ｄ、もしくは両ポートの圧力を測定する圧力センサを設けている。

[0105] リニアモータ１０４の可動子（界磁子）６に共振バネ２３を付加し、可動子（界磁子）６の質量とバネ定数から決まる機械的な共振周波数で可動子（界磁子）６を往復動させる場合、上述の実施例２において図２０に示したように、圧縮要素２０による共振周波数への影響も考慮する必要がある。すなわち、圧縮要素２０の吸込圧力や吐出空間の圧力によって、作動流体のバネ的な作用が加わるため、共振状態となる周波数が変化する。つまり、シリンダ１ａの圧力が高い場合には、可動子（界磁子）６に付加された共振バネ２３のバネ定数が高いのと等価であり、共振周波数は高くなる。反対に、シリ

ンダ１ａの圧力が低い場合には、可動子６に付加された共振バネ２３のバネ定数が支配的となり、共振周波数は、可動子６の質量とバネ定数から定まる機械的な共振周波数に近い。

[0106] このように、リニアモータ１０４を圧縮要素２０の動力とする場合は、圧縮要素２０の条件（吸込圧力、吐出圧力、吸込と吐出の圧力差等）によって共振周波数が変化してしまう。そのため、負荷や共振周波数の変化に合わせて駆動周波数を変化させることが必要である。

[0107] 図３３は、電圧指令値作成器を構成する端部誘起電圧調整器１３３ｄの構成例を示す説明図である。端部誘起電圧調整器１３３ｄは、可動子位置とゲインとの関係を示す特性曲線を複数備え、これら複数の可動子位置とゲインとの関係を示す特性曲線は、予め圧力毎に対応付けて端部誘起電圧調整器１３３ｄ内の記憶部（図示せず）に格納されている。また、これら複数の可動子位置とゲインとの関係を示す特性曲線は、上述の実施例１において示した図１４～図１６の可動子位置とゲインとの関係を示す特性曲線であり、端部誘起電圧調整器１３３ｄは、ポートの圧力に応じて、記憶部（図示せず）に格納される複数の可動子位置とゲインとの関係を示す特性曲線のうち、当該ポートの圧力に対応する可動子位置とゲインとの関係を示す特性曲線を選択し、可動子位置ｘｍに対応する端部誘起電圧調整ゲインを出力する。例えば、コンプレッサ３０３の吸入ポート３０３Ｃまたは吐出ポート３０３Ｄの圧力に応じて、複数の可動子位置とゲインとの関係を示す特性曲線の名から一つの可動子位置とゲインとの関係を示す特性曲線が選択される。これにより、圧力の変化に応じて最適な位置－誘起電圧の関係を用いることができ、印加電圧のうち、磁束の変化に応じて印加する電圧成分（電圧成分の絶対値）を小さくすることにより、高効率なリニアモータシステムを構成することができる。

[0108] 以上のように、本実施例によれば、エアサスペンションシステム３００において、印加電圧のうち、磁束の変化に応じて印加する電圧成分（電圧成分の絶対値）を小さくすることにより、高効率なリニアモータシステムを構成

することができる。

[0109] なお、上述の実施例２に示した圧縮機は、凝縮器又は蒸発器として機能する熱交換器を備える空気調和器において、冷媒を圧送するための圧縮機に適用できる。また、圧縮機の駆動を制御するリニアモータ駆動装置として、上述の実施例１または実施例２に示したリニアモータ駆動装置を採用することができる。

更にまた、上述の実施例２に示した圧縮機は、凝縮器及び蒸発器を有する冷蔵庫において、液冷媒を圧送する圧縮機にも適用可能である。また、圧縮機の駆動を制御するリニアモータ駆動装置として、上述の実施例１または実施例２に示したリニアモータ駆動装置を採用することができる。

[0110] 本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。

また、上記の各構成、機能、処理部、処理手続き等は、それらの一部または全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現しても良い。また、上記の各構成や機能等は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現しても良い。

リニアモータ１０４は、単相機として説明したが、三相機であっても本発明の構成を適用することができ、同様の効果を奏し得る。

電力変換回路１０５は、電流を出力する態様であっても良い。この場合、電圧指令値作成器に代えて電流指令値作成器を設ければ良い。

符号の説明

[0111] １…シリンダブロック、１ａ…シリンダ、２…永久磁石、３…密閉容器、４…ピストン、６…可動子（界磁子）、７…磁極、８…巻線、９…電機子、１６…シリンダヘッド、１７…ヘッドカバー、２０…圧縮要素、２３…共振バネ（アシストバネ）、３０…電動要素、５０…密閉型圧縮機、１００，２０

０…リニアモータシステム、１０１，２０１…リニアモータ駆動装置、１０２，２０２…制御部、１０３，１０３ａ，１０３ｂ，１０３ｃ…電圧指令値作成器、１０４…リニアモータ、１０５…電力変換回路、１０６…位置検出器、１０７…電流検出器、１２６…フルブリッジ回路、１３０，１３０ａ…位相差検出器、１３１…駆動周波数調整器、１３３，１３３ａ，１３３ｂ，１３３ｃ，１３３ｄ…端部誘起電圧調整器、１３４…ＰＷＭ信号作成器、１３５…位置推定器、１４０…積分器、１５０，１５０ｂ…負荷電流検出器、１５３…ストローク制御器、１９０…検証装置、３００…エアサスペンションシステム、６００…検証システム

請求の範囲

[請求項1] 少なくとも、巻線が捲回された磁性体を有する電機子と、永久磁石を有する界磁子と、前記電機子又は前記界磁子に接続された弾性体とを有し、前記弾性体の変形に応じて前記界磁子と前記電機子の相対位置が変動することで、軸方向に前記界磁子と電機子を相対的に往復運動させるリニアモータと、

前記巻線に電圧を印加する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記巻線に印加する電圧のうち、前記電機子と前記界磁子の相対位置の変動により生じる磁束の変化率に基づき、印加する電圧成分の絶対値を、前記磁束の変化率が小さい相対位置で小さくすることを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項2] 少なくとも、巻線が捲回された磁性体を有する電機子と、永久磁石を有する界磁子と、前記電機子又は前記界磁子に接続された弾性体とを有し、前記弾性体の変形に応じて前記界磁子と前記電機子の相対位置が変動することで、軸方向に前記界磁子と電機子を相対的に往復運動させるリニアモータと、

前記巻線に電圧を印加する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記界磁子と前記電機子の相対位置の増加に応じて、前記巻線に印加する電圧の高調波成分含有率を高くすることを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項3] 請求項１に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記制御部は、前記電機子と前記界磁子の相対位置が所定値を超えた場合、前記巻線に印加する電圧のうち、前記磁束の変化率に応じて印加する電圧成分の絶対値を小さくすることを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項4] 請求項２に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記制御部は、前記電機子と前記界磁子の相対位置が所定値を超えた場合、前記巻線に印加する電圧の高調波成分含有率を高くすること

を特徴とするリニアモータシステム。

[請求項5] 請求項３に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記制御部は、

少なくとも位置検出器により検出された前記界磁子の位置と、基準位相及び周波数指令値に基づき第１の電圧指令値を生成する電圧指令値作成器を備え、

前記電圧指令値作成器は、予め界磁子の位置とゲインとの関係を示す特性曲線を有し、前記位置検出器により検出された前記界磁子の位置に応じたゲインを端部誘起電圧調整ゲインとして出力する端部誘起電圧調整器を有し、

前記電圧指令値作成器は、前記端部誘起電圧調整ゲインを前記第１の電圧指令値に乗じて前記リニアモータへ出力することを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項6] 請求項４に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記制御部は、

少なくとも位置検出器により検出された前記界磁子の位置と、基準位相及び周波数指令値に基づき第１の電圧指令値を生成する電圧指令値作成器を備え、

前記電圧指令値作成器は、予め界磁子の位置とゲインとの関係を示す特性曲線を有し、前記位置検出器により検出された前記界磁子の位置に応じたゲインを端部誘起電圧調整ゲインとして出力する端部誘起電圧調整器を有し、

前記電圧指令値作成器は、前記端部誘起電圧調整ゲインを前記第１の電圧指令値に乗じて前記リニアモータへ出力することを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項7] 請求項５に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記界磁子の位置とゲインとの関係を示す特性曲線は、前記界磁子の位置が所定値を超える範囲でゲインが減少する曲線であることを特

徴とするリニアモータシステム。

[請求項8] 請求項６に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記界磁子の位置とゲインとの関係を示す特性曲線は、前記界磁子の位置が所定値を超える範囲でゲインが減少する曲線であることを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項9] 請求項３に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記制御部は、

少なくとも電流検出器により検出された前記巻線を流れる電流検出値に基づき、前記界磁子の位置を推定する位置推定器と、

前記位置推定器による前記界磁子の位置推定値と、基準位相及び周波数指令値に基づき第１の電圧指令値を生成すると共に、前記電流検出値により得られる負荷電流及び前記基準位相に基づき電圧降下分に相当する第２の電圧指令値を生成する電圧指令値作成器を備え、

前記電圧指令値作成器は、予め界磁子の位置とゲインとの関係を示す特性曲線を有し、前記位置推定器による前記界磁子の位置推定値に応じたゲインを端部誘起電圧調整ゲインとして出力する端部誘起電圧調整器を有し、

前記電圧指令値作成器は、前記端部誘起電圧調整ゲインを前記第１の電圧指令値に乗じで前記第２の電圧指令値に加算して、又は、前記第１の電圧指令値と前記第２の電圧指令値の加算結果に前記端部誘起電圧調整ゲインを乗じて、前記リニアモータへ出力することを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項10] 請求項４に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記制御部は、

少なくとも電流検出器により検出された前記巻線を流れる電流検出値に基づき、前記界磁子の位置を推定する位置推定器と、

前記位置推定器による前記界磁子の位置推定値と、基準位相及び周波数指令値に基づき第１の電圧指令値を生成すると共に、前記電流検

出値により得られる負荷電流及び前記基準位相に基づき電圧降下分に相当する第２の電圧指令値を生成する電圧指令値作成器を備え、

前記電圧指令値作成器は、予め界磁子の位置とゲインとの関係を示す特性曲線を有し、前記位置推定器による前記界磁子の位置推定値に応じたゲインを端部誘起電圧調整ゲインとして出力する端部誘起電圧調整器を有し、

前記電圧指令値作成器は、前記端部誘起電圧調整ゲインを前記第１の電圧指令値に乗じで前記第２の電圧指令値に加算して、又は、前記第１の電圧指令値と前記第２の電圧指令値の加算結果に前記端部誘起電圧調整ゲインを乗じて、前記リニアモータへ出力することを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項11] 請求項９に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記界磁子の位置とゲインとの関係を示す特性曲線は、前記界磁子の位置が所定値を超える範囲でゲインが減少する曲線であることを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項12] 請求項１０に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記界磁子の位置とゲインとの関係を示す特性曲線は、前記界磁子の位置が所定値を超える範囲でゲインが減少する曲線であることを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項13] 少なくとも、巻線が捲回された磁性体を有する電機子と、永久磁石を有する界磁子と、前記電機子又は前記界磁子に接続された弾性体とを有し、前記弾性体の変形に応じて前記界磁子と前記電機子の相対位置が変動することで、軸方向に前記界磁子と電機子を相対的に往復運動させるリニアモータと、

前記巻線に電圧を印加する制御部と、を備え、

前記界磁子に接続されるピストンがシリンダ内を往復運動することにより作動流体を圧縮する圧縮機であって、

前記制御部は、前記巻線に印加する電圧のうち、前記電機子と前記

界磁子の相対位置の変動により生じる磁束の変化率に基づき、印加する電圧成分の絶対値を、前記磁束の変化率が小さい相対位置で小さくすることを特徴とする圧縮機。

[請求項14] 請求項１３に記載の圧縮機において、

前記制御部は、前記電機子と前記界磁子の相対位置が所定値を超えた場合、前記巻線に印加する電圧のうち、前記磁束の変化率に応じて印加する電圧成分の絶対値を小さくすることを特徴とする圧縮機。

[請求項15] 請求項１４に記載の圧縮機において、

前記制御部は、

少なくとも電流検出器により検出された前記巻線を流れる電流検出値に基づき、前記界磁子の位置を推定する位置推定器と、

前記位置推定器による前記界磁子の位置推定値と、基準位相及び周波数指令値に基づき第１の電圧指令値を生成すると共に、前記電流検出値により得られる負荷電流及び前記基準位相に基づき電圧降下分に相当する第２の電圧指令値を生成する電圧指令値作成器を備え、

前記電圧指令値作成器は、予め界磁子の位置とゲインとの関係を示す特性曲線を有し、前記位置推定器による前記界磁子の位置推定値に応じたゲインを端部誘起電圧調整ゲインとして出力する端部誘起電圧調整器を有し、

前記電圧指令値作成器は、前記端部誘起電圧調整ゲインを前記第１の電圧指令値に乗じで前記第２の電圧指令値に加算して、又は、前記第１の電圧指令値と前記第２の電圧指令値の加算結果に前記端部誘起電圧調整ゲインを乗じて、前記リニアモータへ出力することを特徴とする圧縮機。

[請求項16] 請求項１５に記載の圧縮機において、

前記界磁子の位置とゲインとの関係を示す特性曲線は、前記界磁子の位置が所定値を超える範囲でゲインが減少する曲線であることを特徴とする圧縮機。

[請求項17] 車体側と車輪側との間に介装され作動流体の給排に応じて車高調整を行う複数のエア室に、請求項１３に記載の圧縮機により圧縮された作動流体を供給するエアサスペンションシステム。

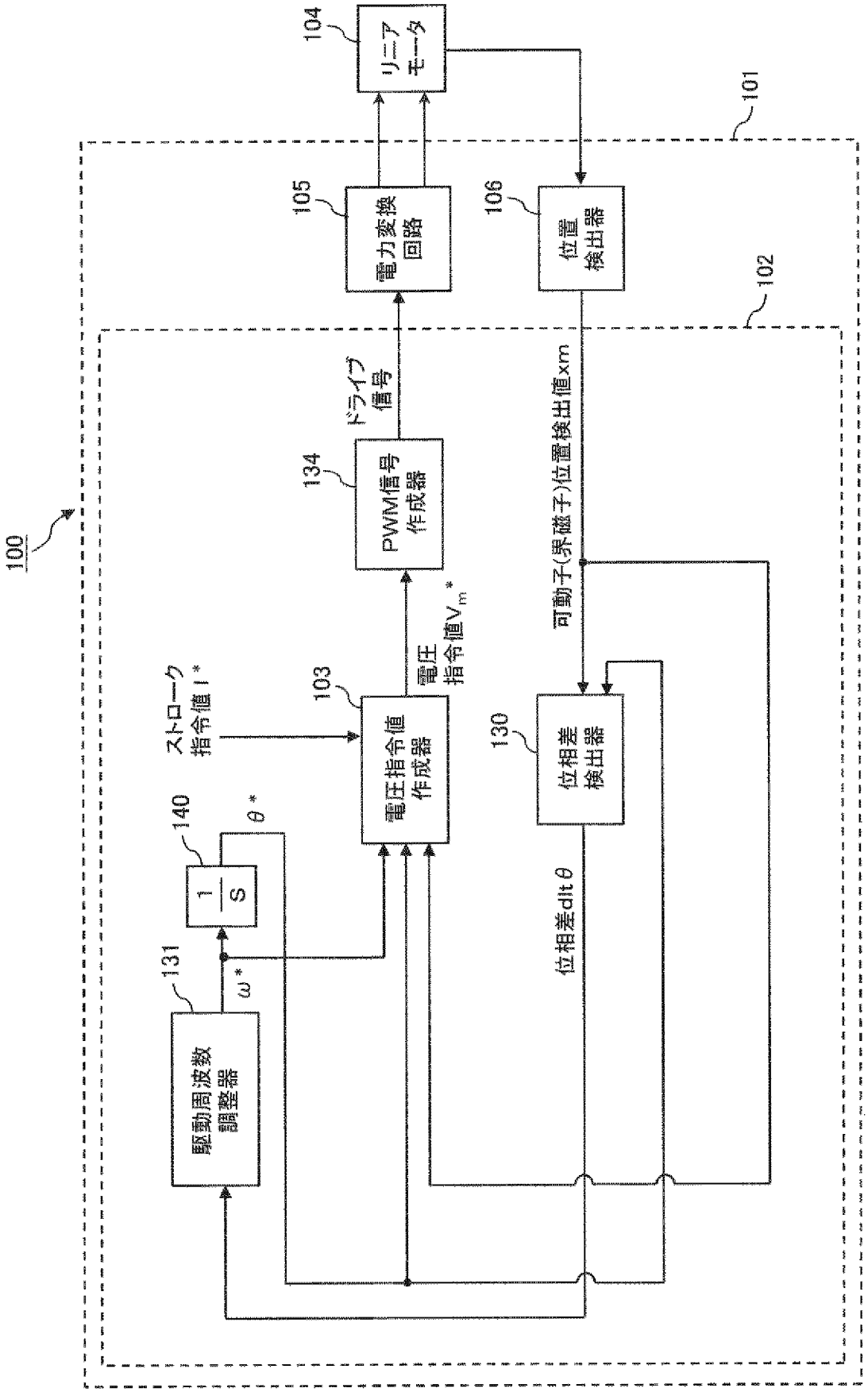
[請求項18] 車体側と車輪側との間に介装され作動流体の給排に応じて車高調整を行う複数のエア室に、請求項１４に記載の圧縮機により圧縮された作動流体を供給するエアサスペンションシステム。

[請求項19] 車体側と車輪側との間に介装され作動流体の給排に応じて車高調整を行う複数のエア室に、請求項１５に記載の圧縮機により圧縮された作動流体を供給するエアサスペンションシステム。

[請求項20] 車体側と車輪側との間に介装され作動流体の給排に応じて車高調整を行う複数のエア室に、請求項１６に記載の圧縮機により圧縮された作動流体を供給するエアサスペンションシステム。

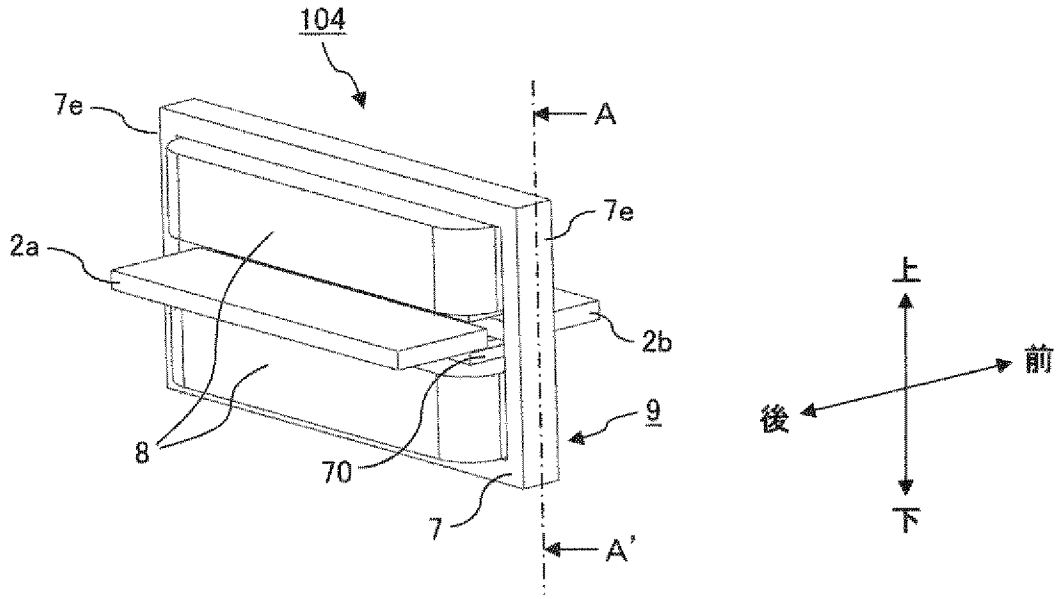
[図1]

図 1


100
101
102
104
リニアモータ
105
電力変換回路
106
位置検出器
ドライブ信号
134
PWM信号作成器
可動子(界磁子)位置検出値xm
ストローク指令値 l*
103
電圧指令値作成器
電圧指令値 Vm*
130
位相差検出器
140
1/S
θ*
131
駆動周波数調整器
ω*
位相差dltθ

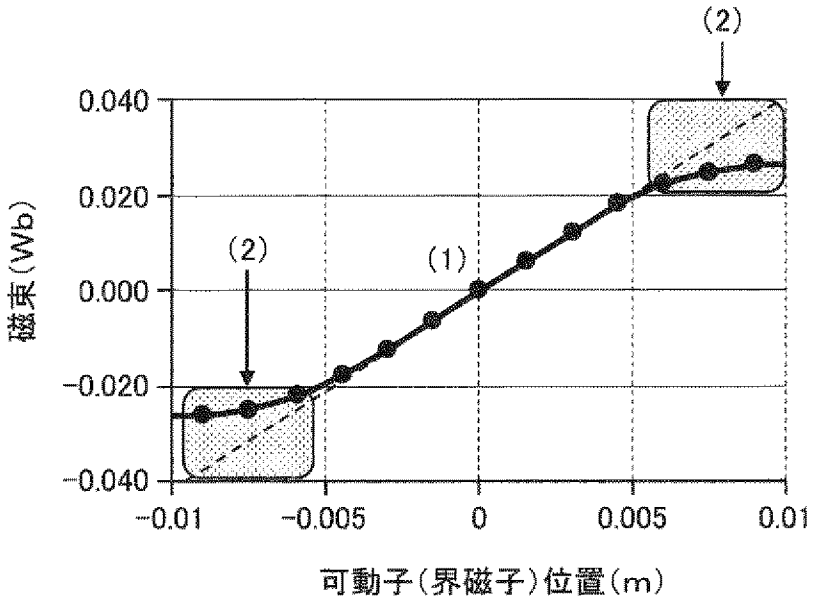
[図2]

図 2


104
7e
A
7e
2a
2b
9
8
70
7
A'
上
前
後
下

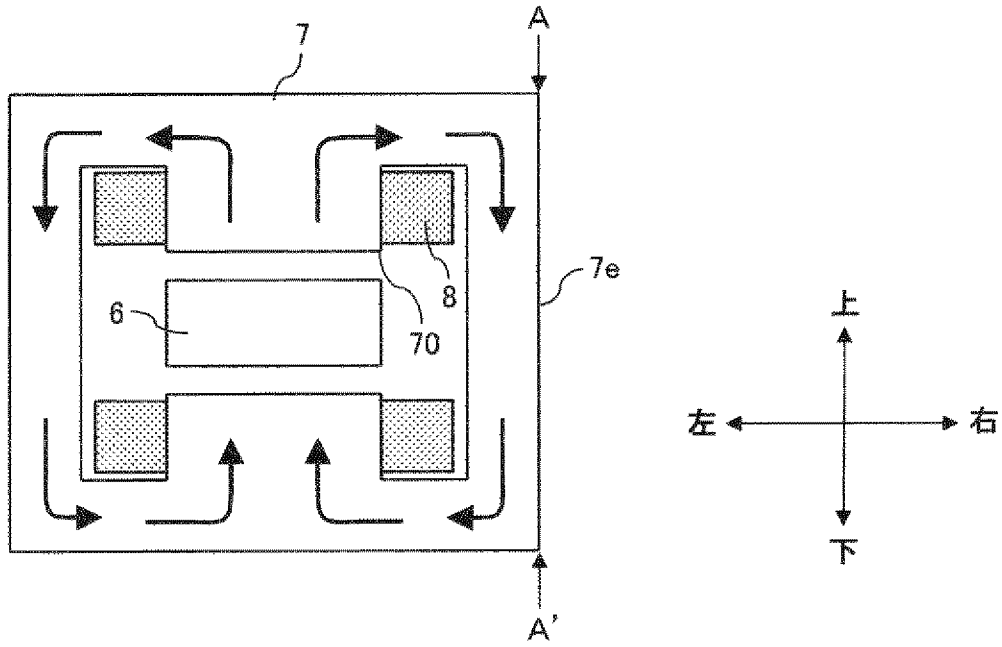
[図3]

図 3


(2)
0.040
0.020
0.000
−0.020
−0.040
(2)
(1)
磁束(Wb)
−0.01
−0.005
0
0.005
0.01
可動子(界磁子)位置(m)

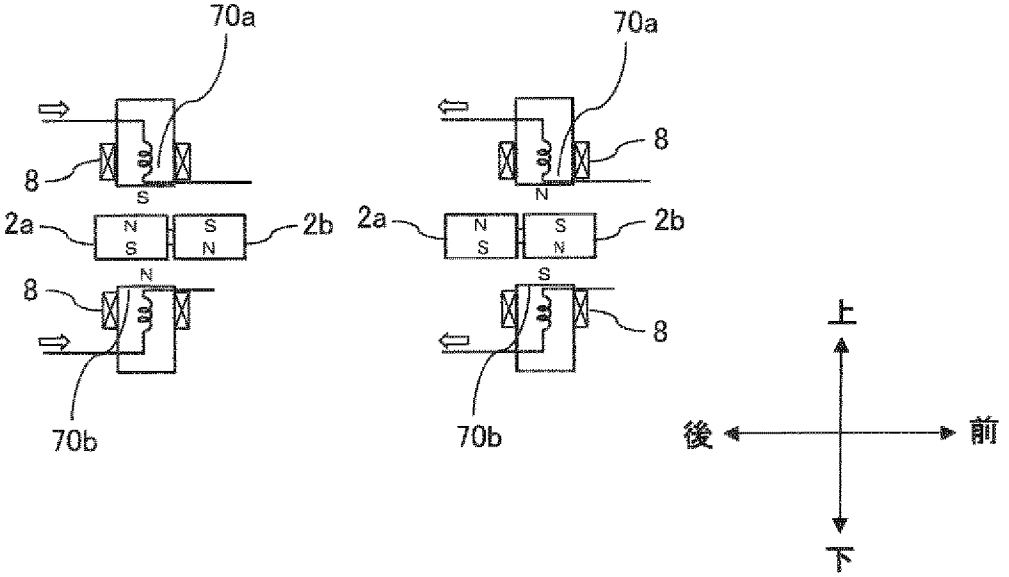
[図4]

図 4


7
A
7e
8
6
70
A'
上
左
右
下

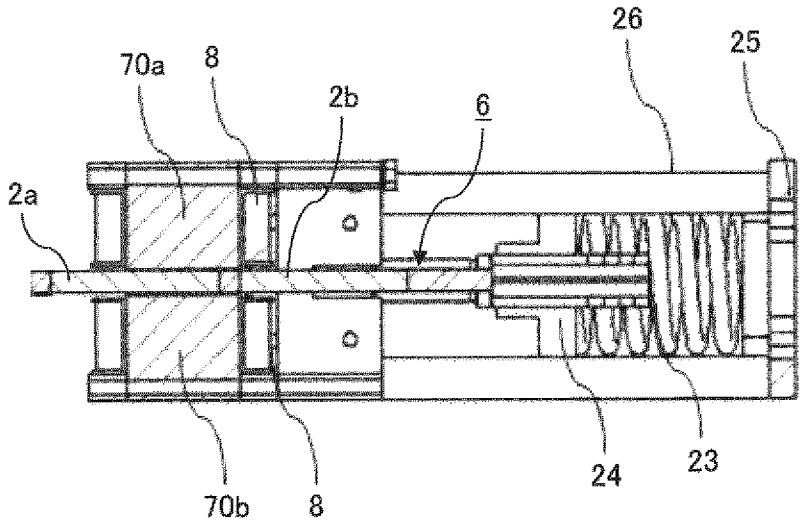
[図5]

図 5


70a
8
S
2a
N
S
S
N
2b
N
8
70b
70a
8
N
2a
N
S
S
N
2b
S
8
70b
上
後
前
下

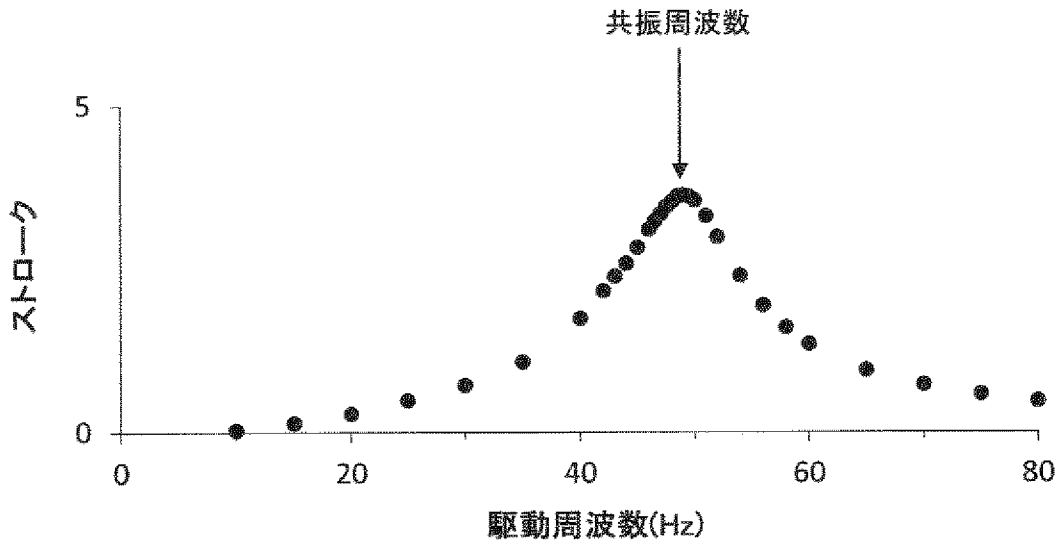
[図6]

図 6



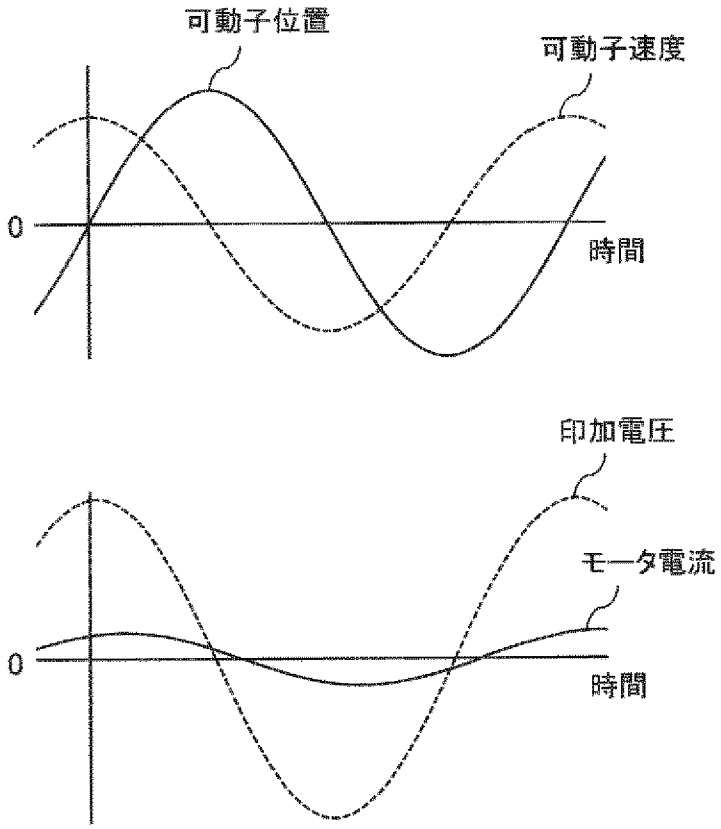
[図7]

図 7



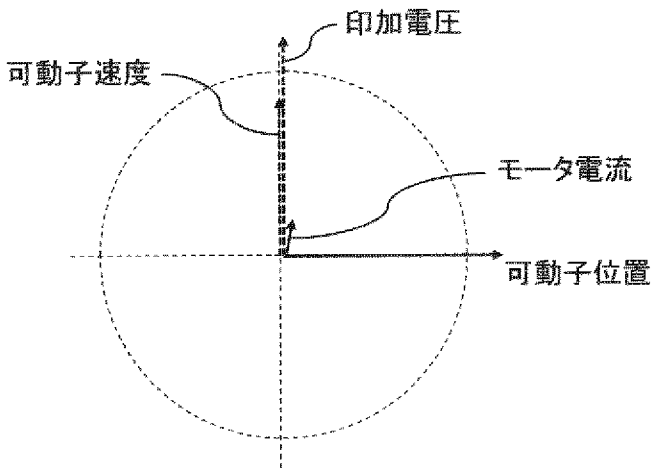
[図8]

図 8



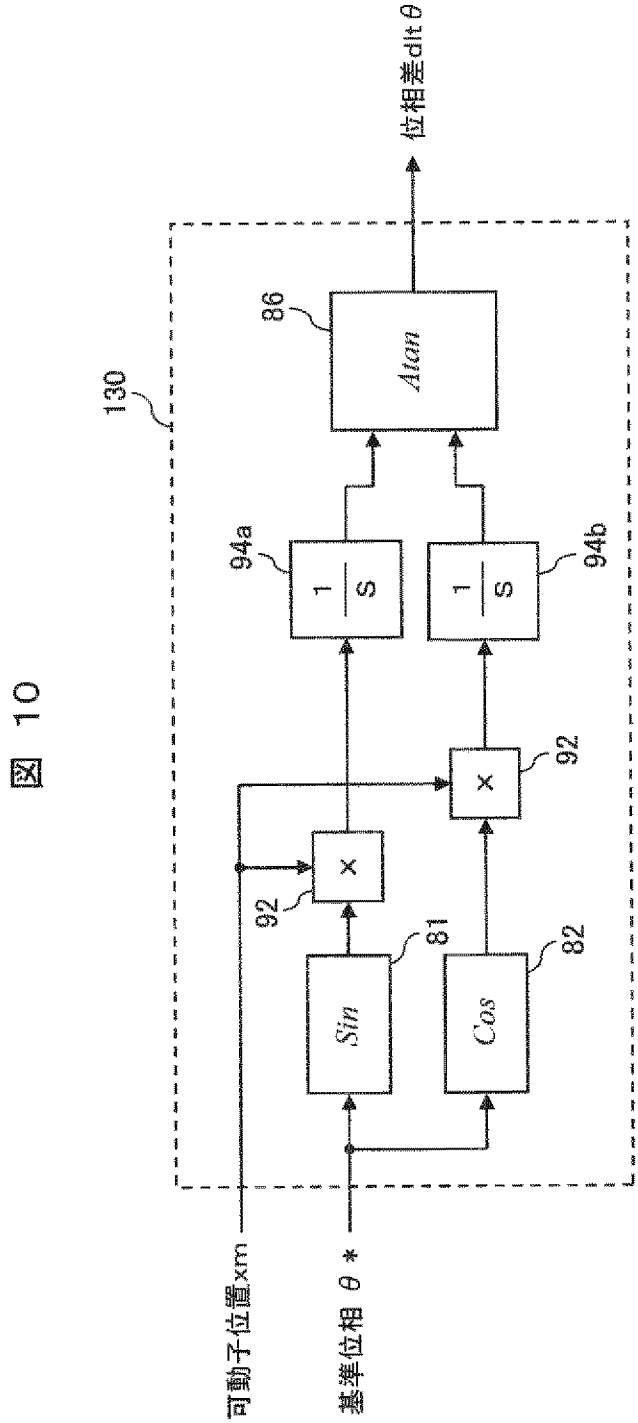
[図9]

図 9



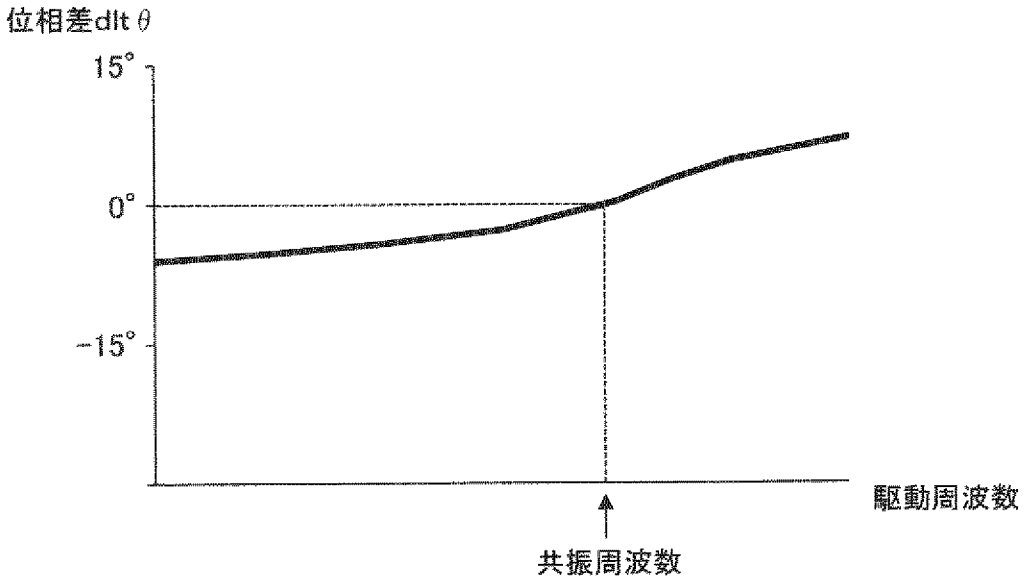
[図10]

図 10


位相差dlt θ
130
86
Atan
94a
1/S
94b
1/S
92
×
92
×
81
Sin
82
Cos
可動子位置xm
基準位相 θ*

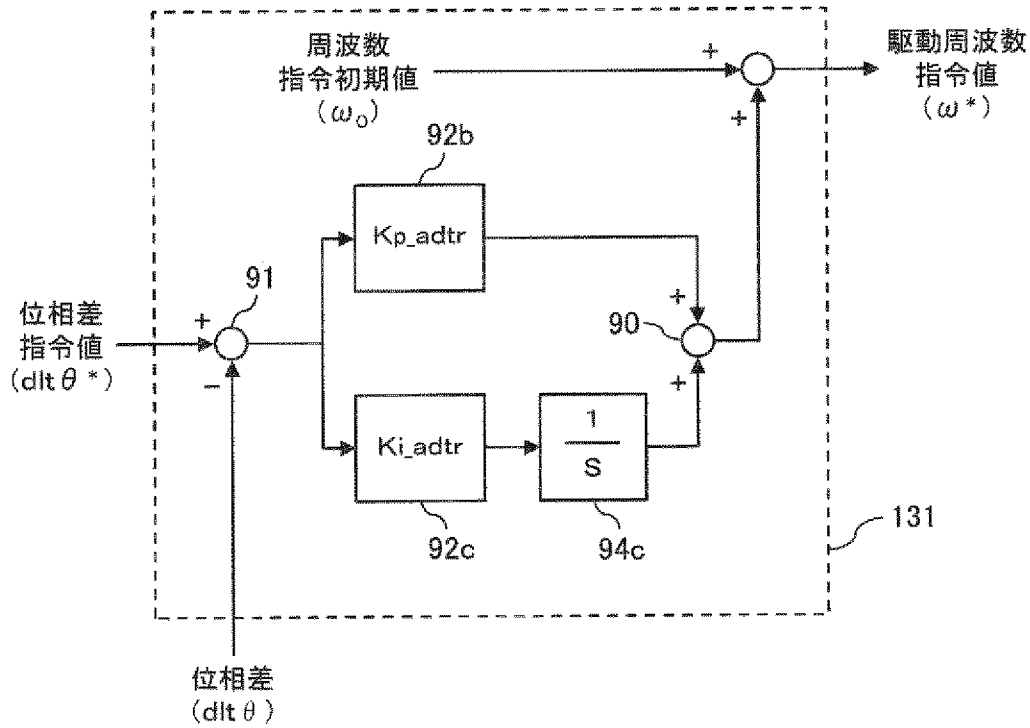
[図11]

図 11



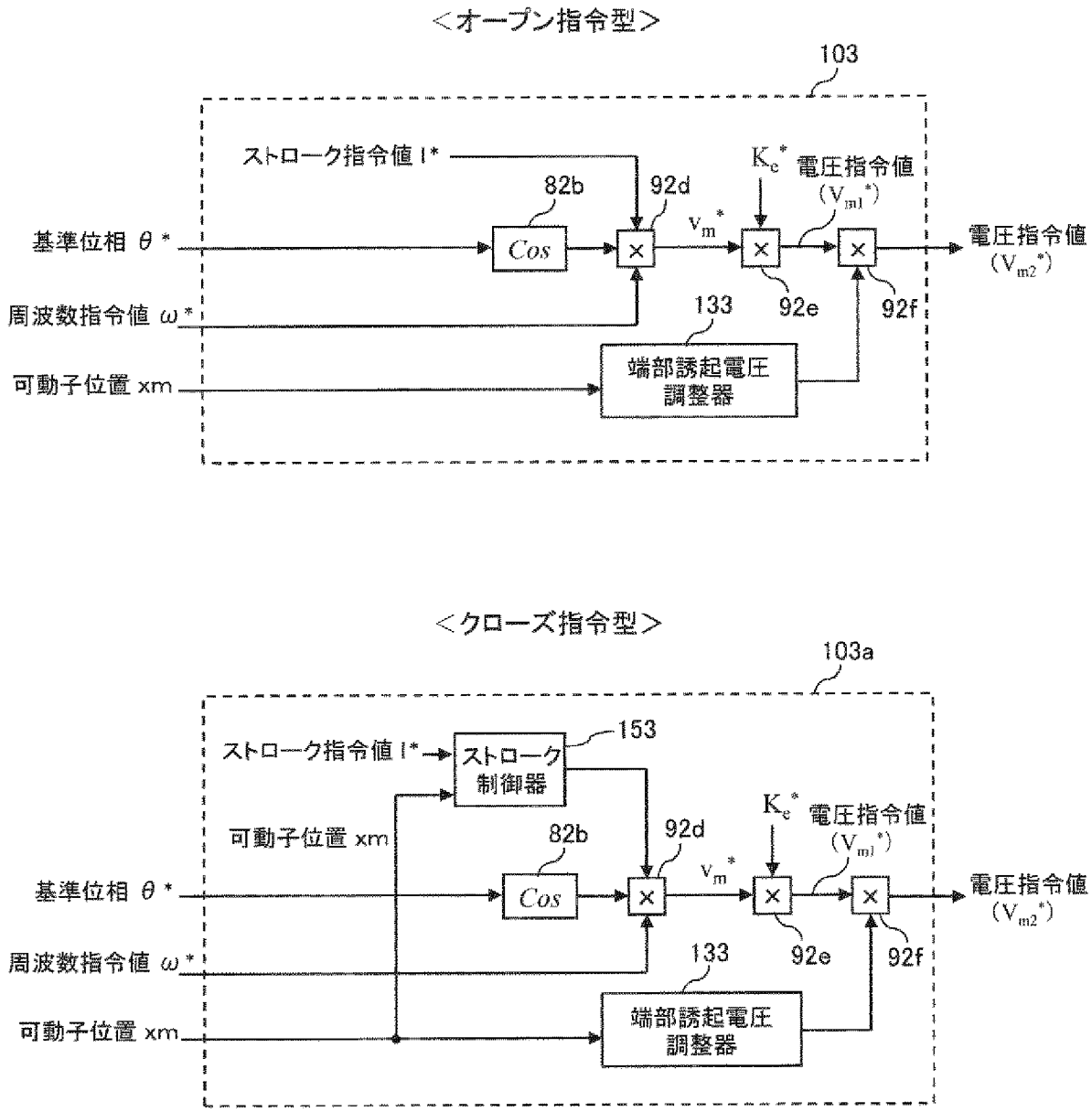
[図12]

図 12



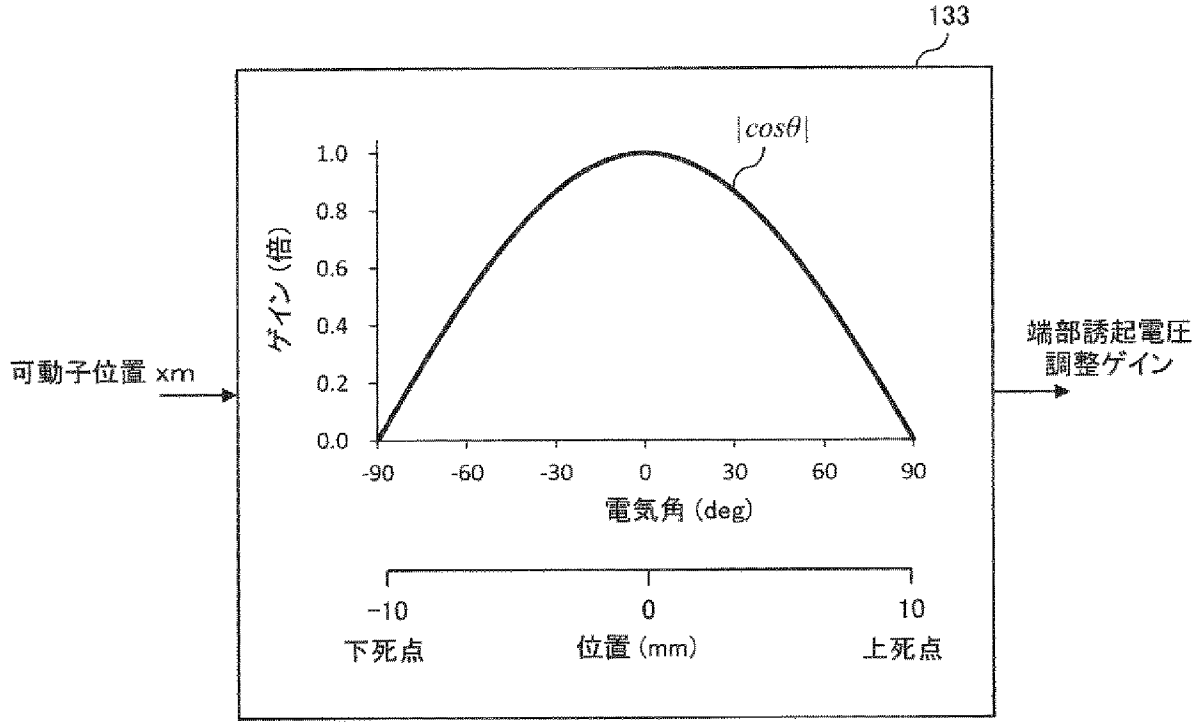
[図13]

図 13


<オープン指令型>
103
ストローク指令値 l*
82b
92d
K_e^* 電圧指令値
(V_{m1}^*)
基準位相 θ*
Cos
v_m^*
電圧指令値
(V_{m2}^*)
周波数指令値 ω*
133
92e
92f
端部誘起電圧
調整器
可動子位置 xm
<クローズ指令型>
103a
ストローク指令値 l*
153
ストローク
制御器
可動子位置 xm
82b
92d
K_e^* 電圧指令値
(V_{m1}^*)
基準位相 θ*
Cos
v_m^*
電圧指令値
(V_{m2}^*)
周波数指令値 ω*
133
92e
92f
端部誘起電圧
調整器
可動子位置 xm

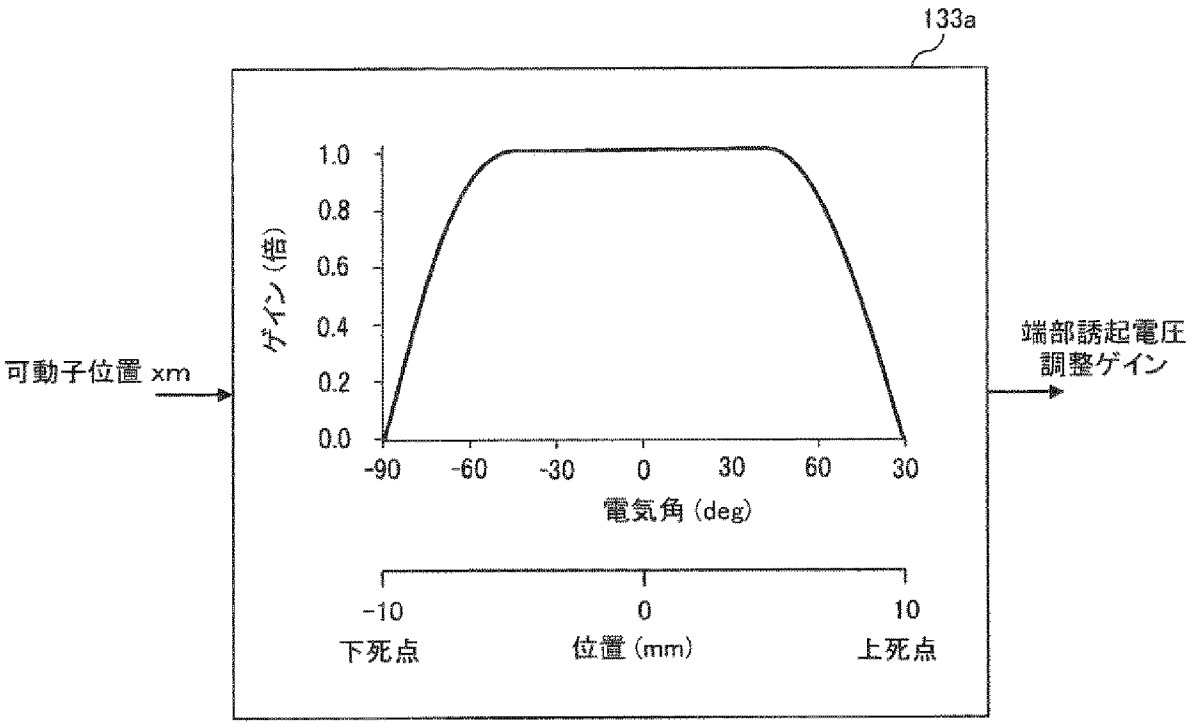
[図14]

図 14



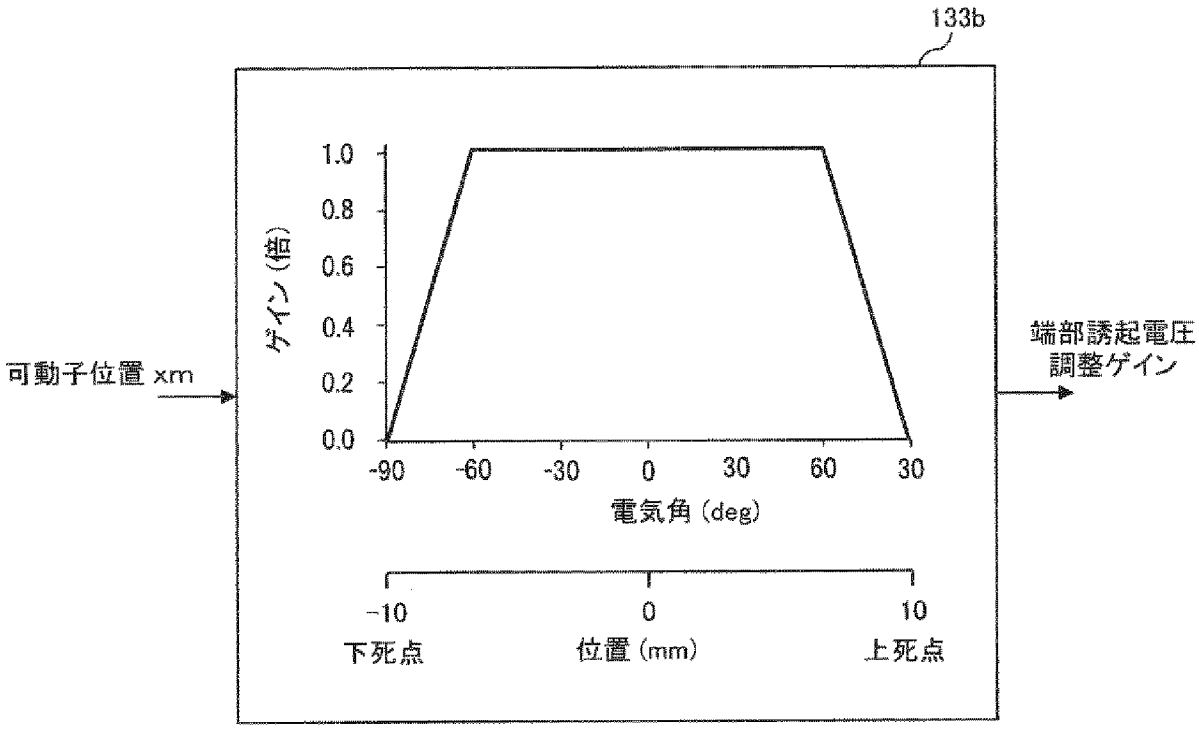
[図15]

図 15



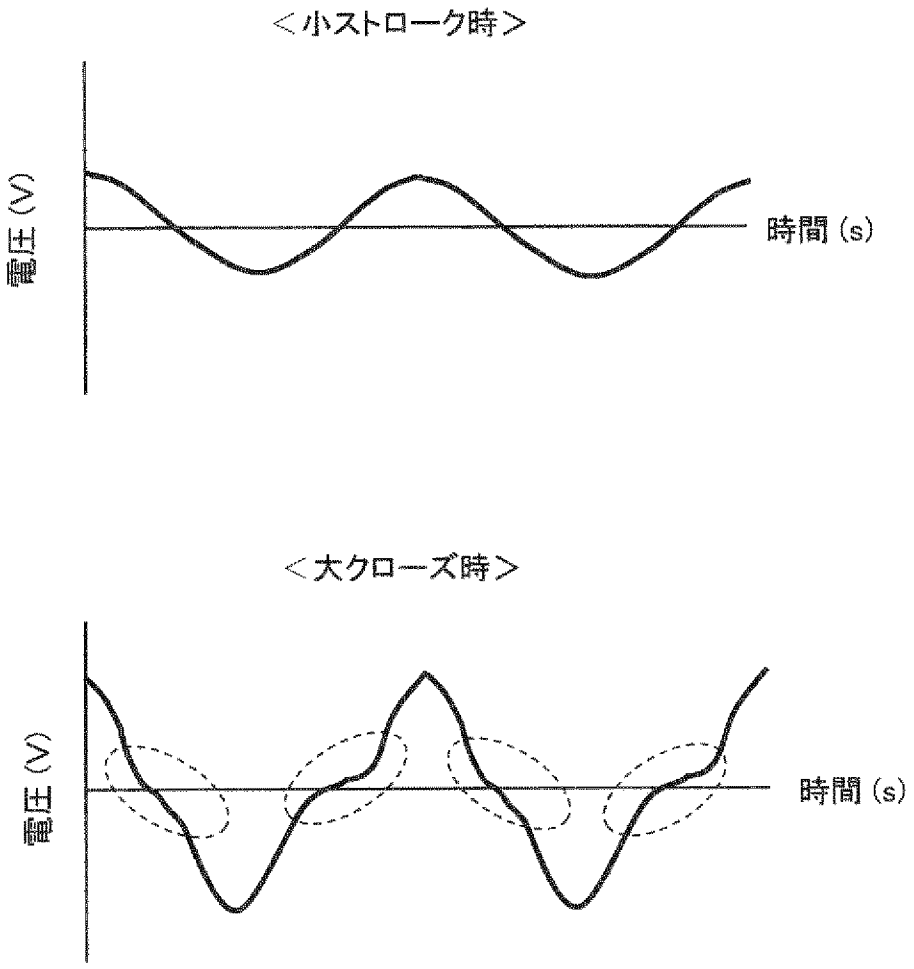
[図16]

図 16


133b
可動子位置 xm
ゲイン（倍）
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-90
-60
-30
0
30
60
30
電気角 (deg)
-10
0
10
下死点
位置 (mm)
上死点
端部誘起電圧
調整ゲイン

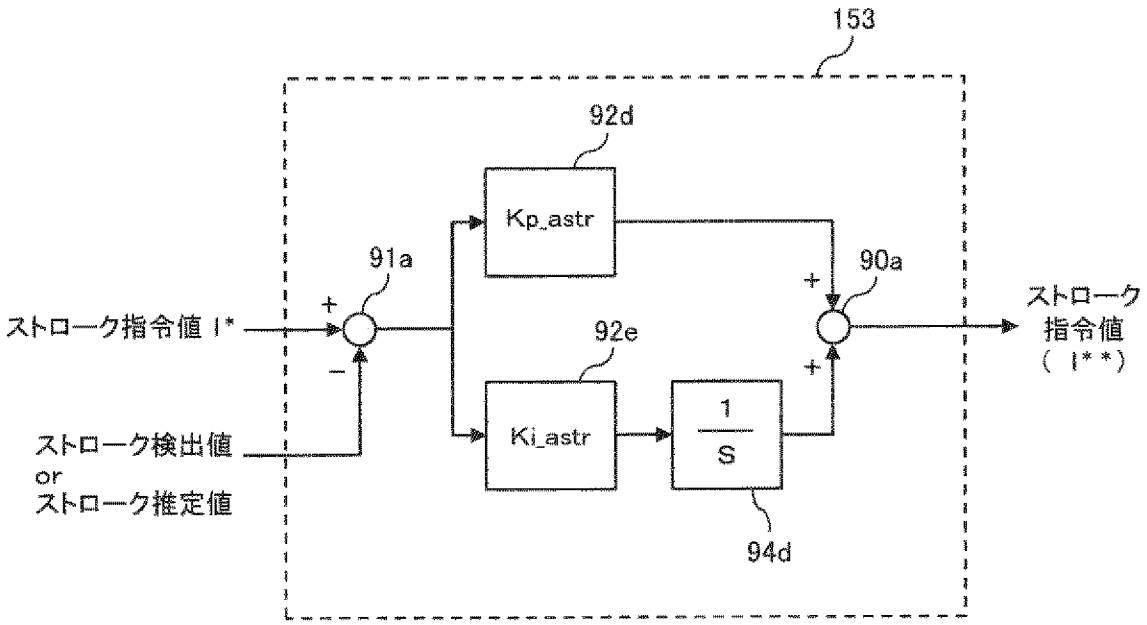
[図17]

図 17



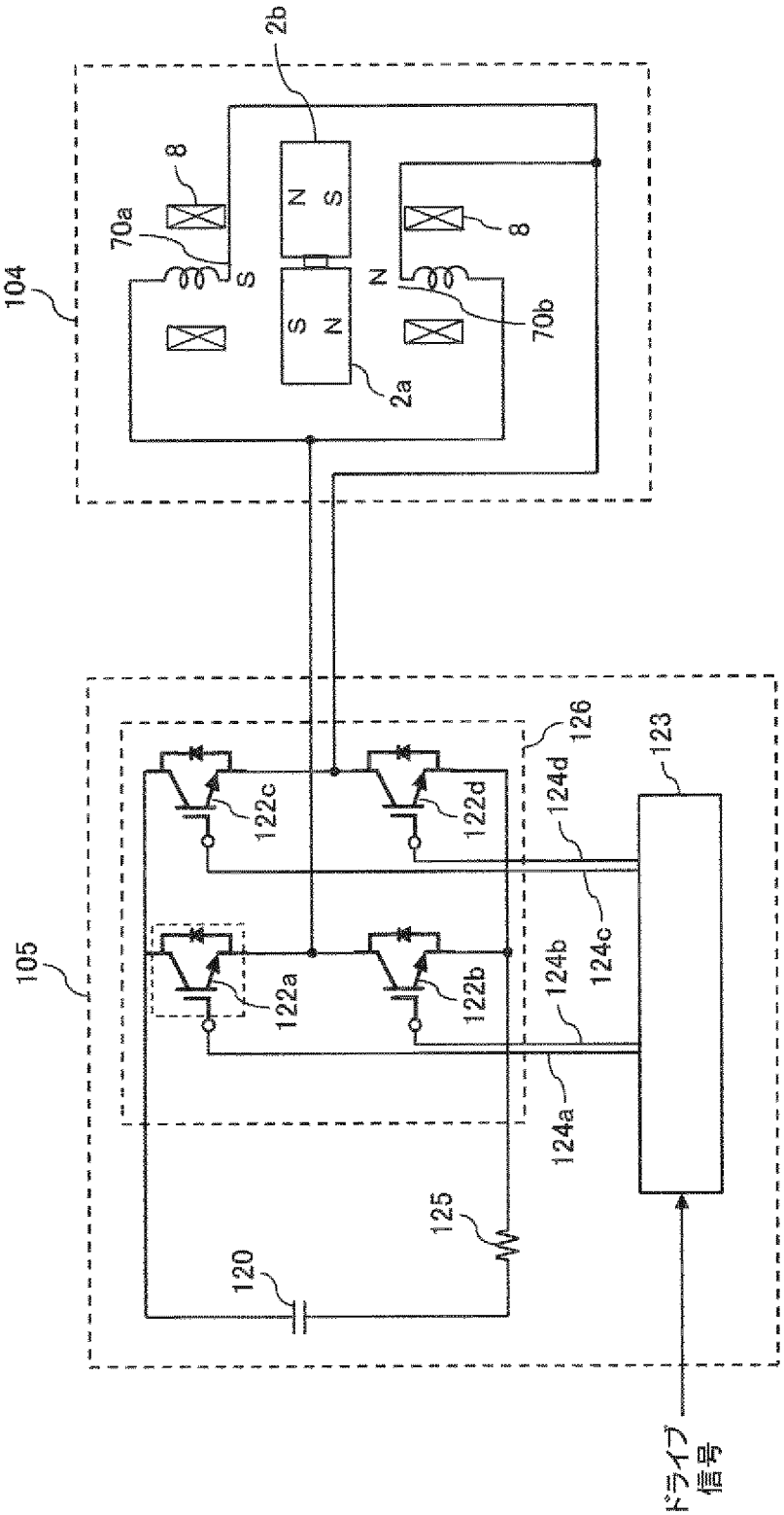
[図18]

図 18


153
92d
Kp_astr
91a
90a
ストローク指令値 l*
+
−
92e
Ki_astr
1
S
+
+
ストローク
指令値
(l* *)
ストローク検出値
or
ストローク推定値
94d

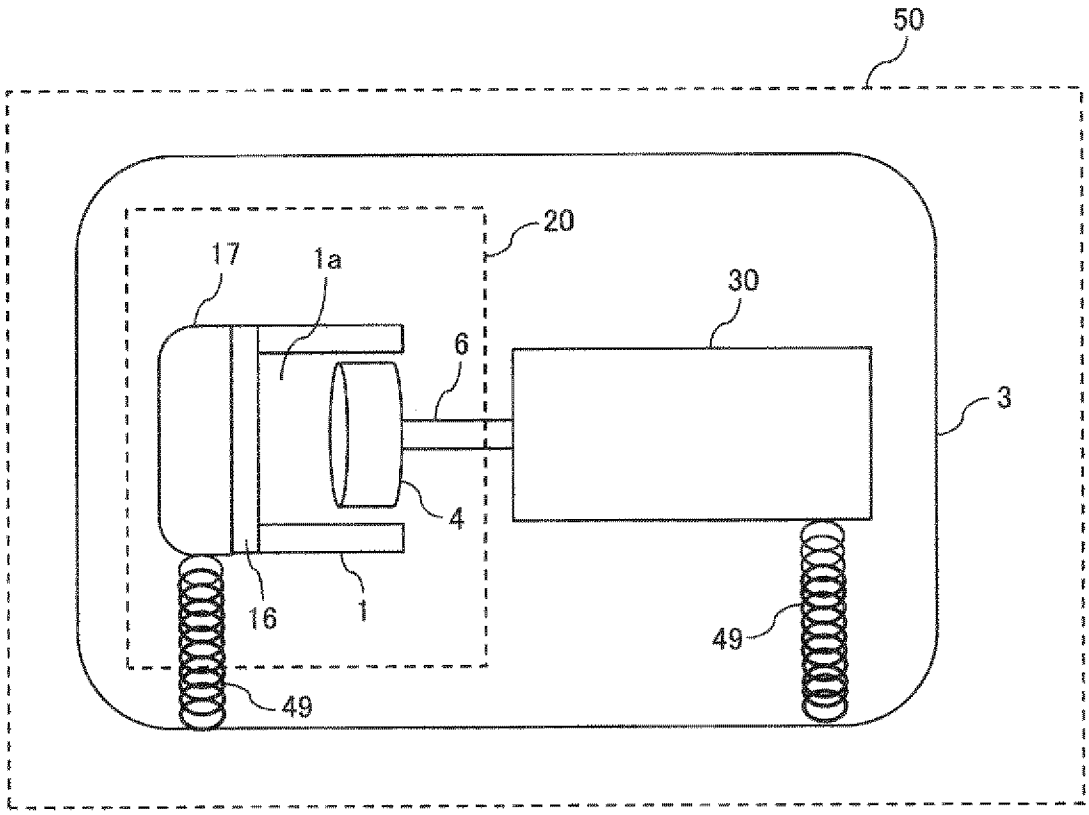
[図19]

図 19


2b
8
70a
N
S
8
104
S
N
N
70b
S
N
2a
105
126
123
122c
122d
124d
124c
122a
122b
124b
124a
125
120
ドライブ信号

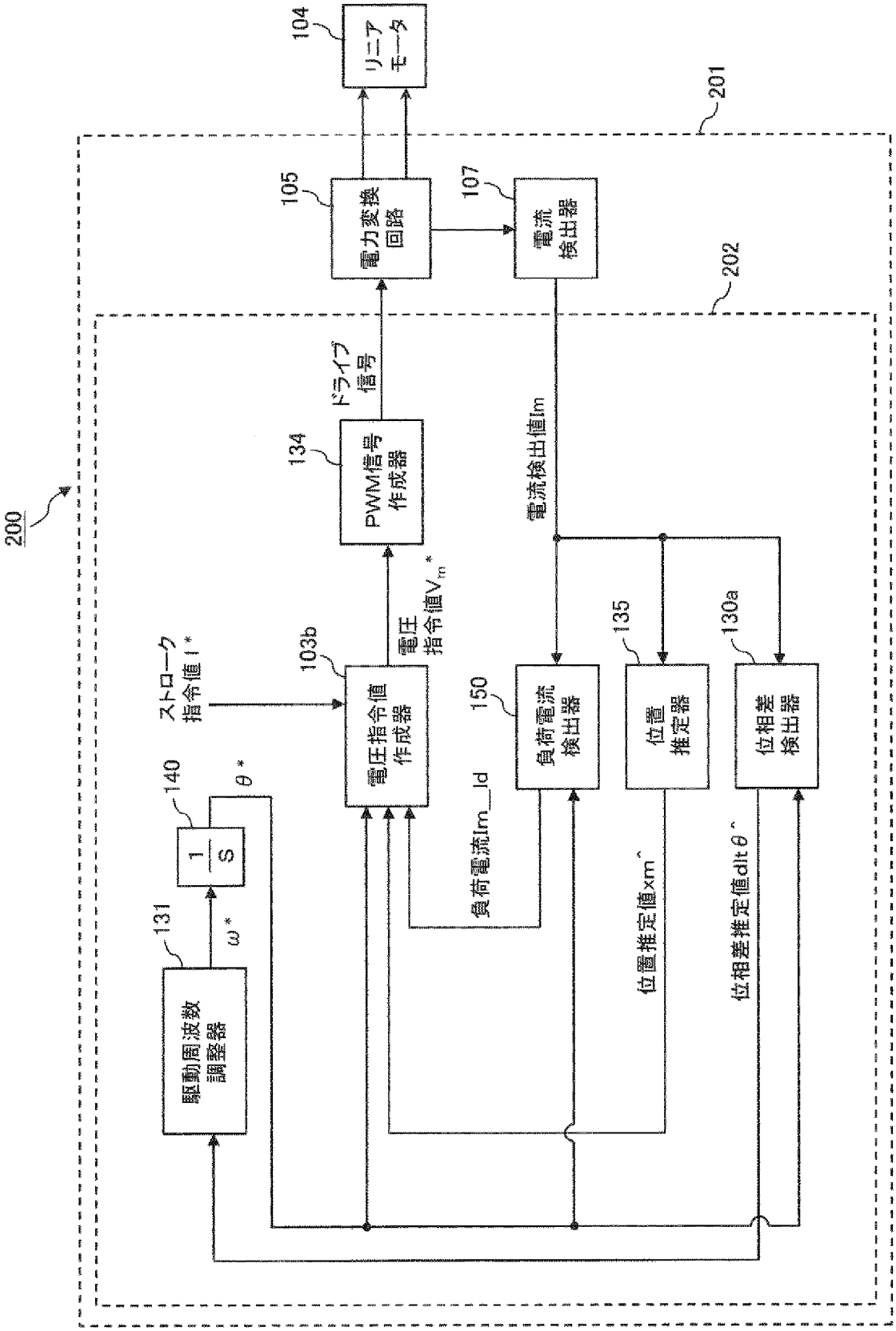
[図20]

図 20



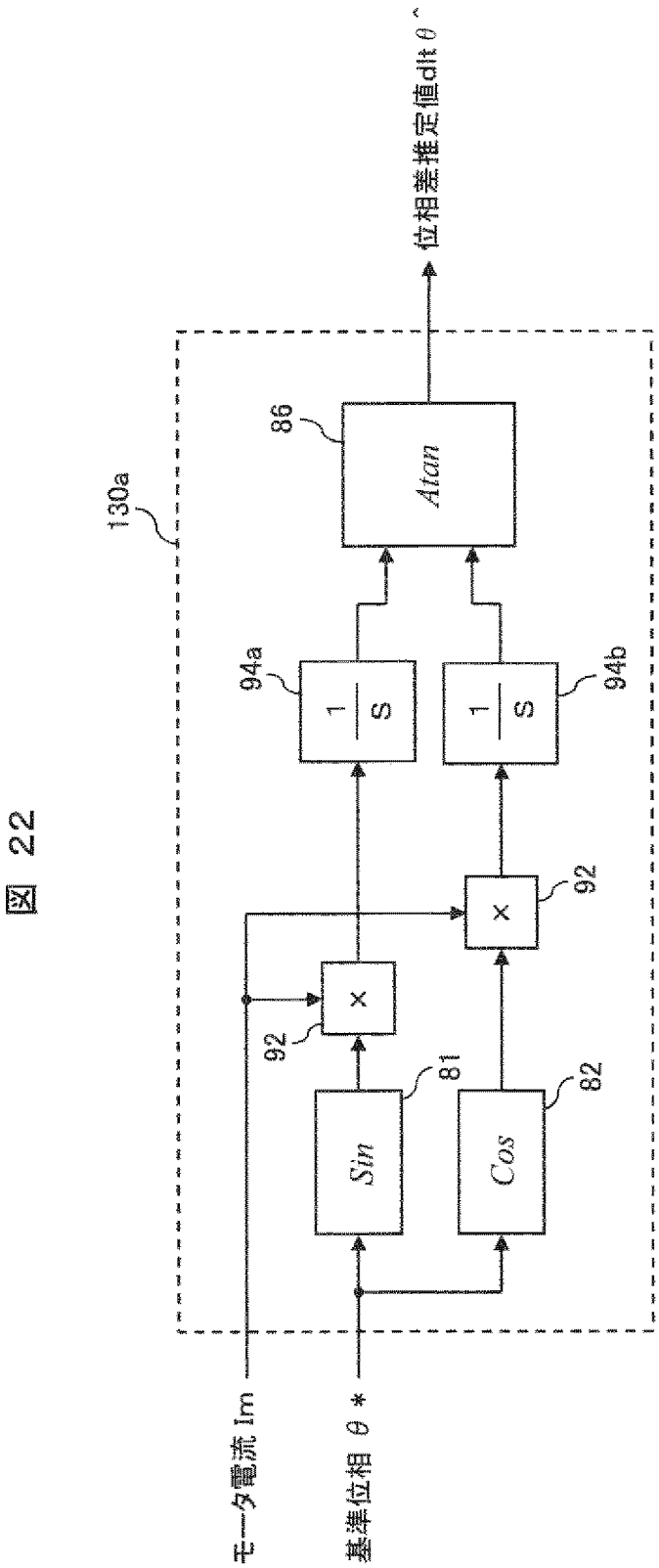
[図21]

図 21


200
201
202
104
リニア モータ
105
電力変換 回路
107
電流 検出器
ドライブ 信号
134
PWM信号 作成器
電流検出値Im
ストローク 指令値 l*
103b
電圧指令値 作成器
電圧 指令値Vm*
150
負荷電流 検出器
135
位置 推定器
130a
位相差 検出器
140
1/S
θ*
131
駆動周波数 調整器
ω*
負荷電流Im_Id
位置推定値xm^
位相差推定値dltθ^

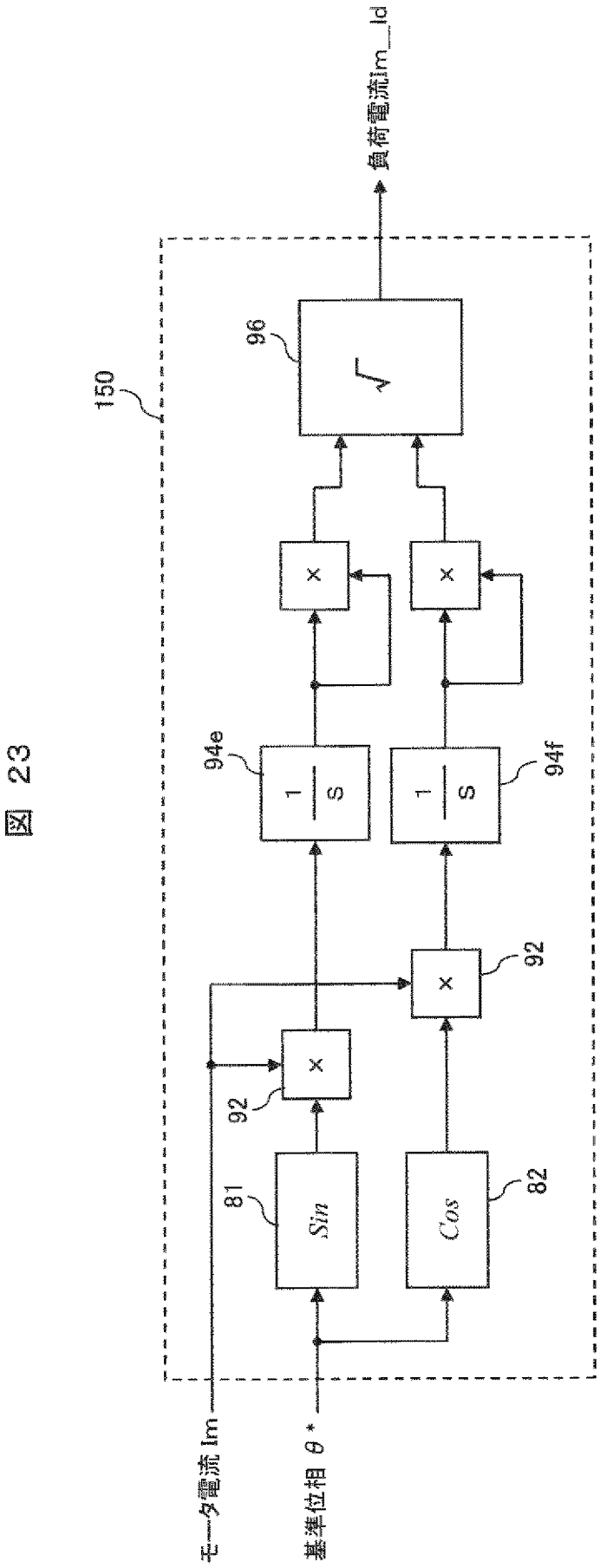
[図22]

図 22


位相差推定値dlt θ^
130a
86
Atan
94a
94b
1/S
1/S
92
92
81
82
Sin
Cos
モータ電流 Im
基準位相 θ*

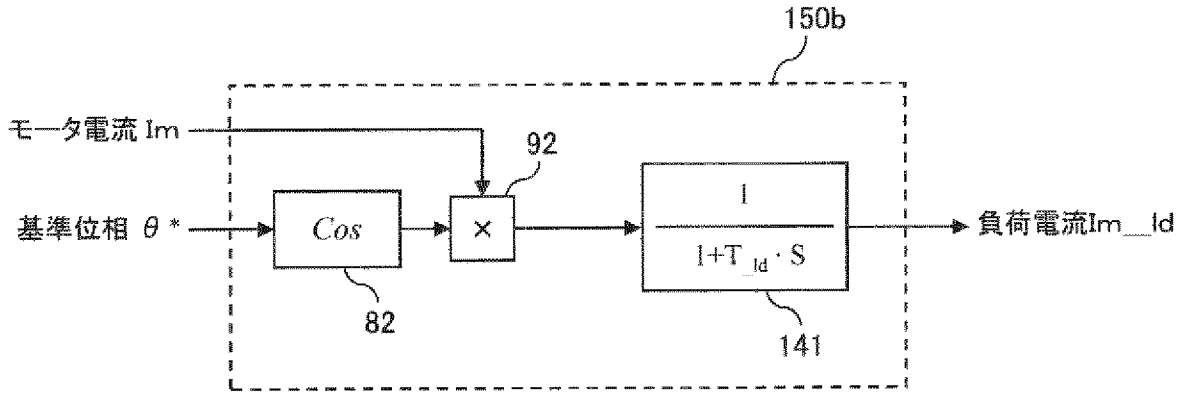
[図23]

図 23



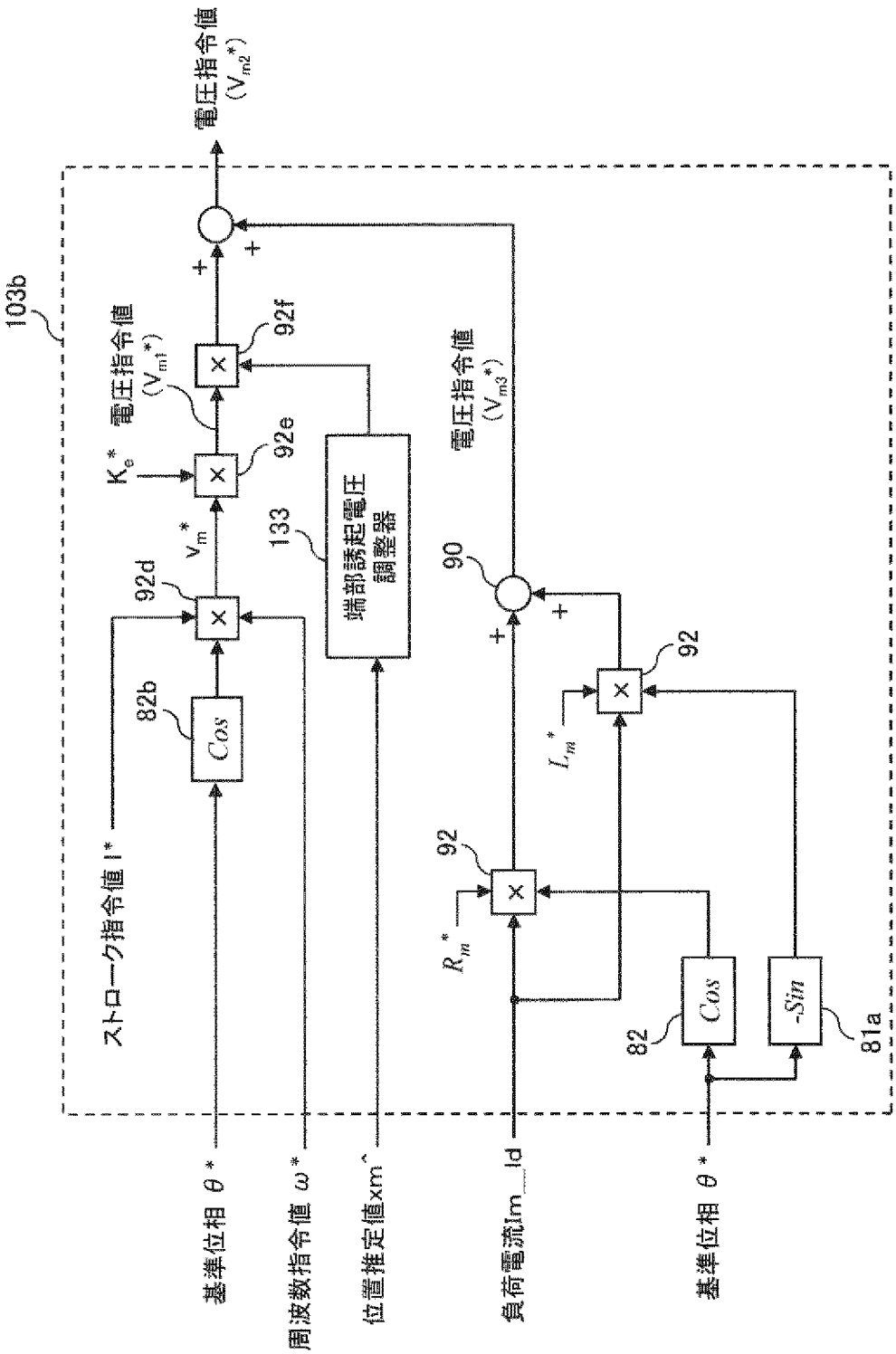
[図24]

図 24



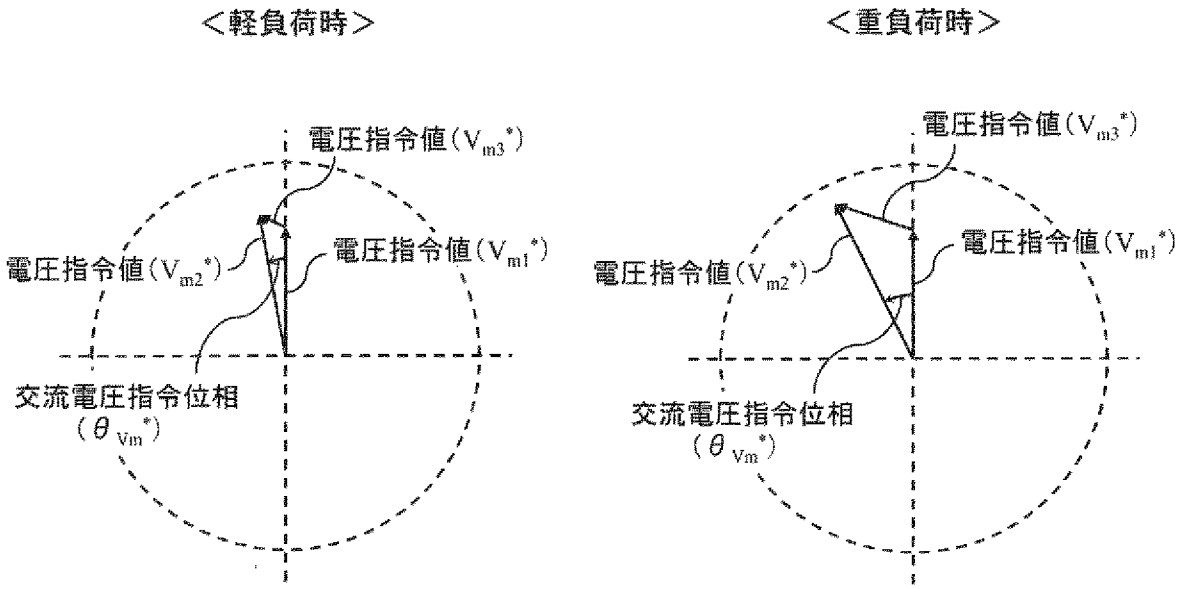
[図25]

図 25


103b
電圧指令値
(V_{m2}*)
+
+
92f
×
電圧指令値
(V_{m1}*)
K_e*
92e
×
v_m*
133
端部誘起電圧
調整器
92d
×
82b
Cos
ストローク指令値 l*
90
電圧指令値
(V_{m3}*)
+
+
92
×
I_m*
92
×
R_m*
82
Cos
-Sin
81a
基準位相 θ*
周波数指令値 ω*
位置推定値xm^
負荷電流Im_Id
基準位相 θ*

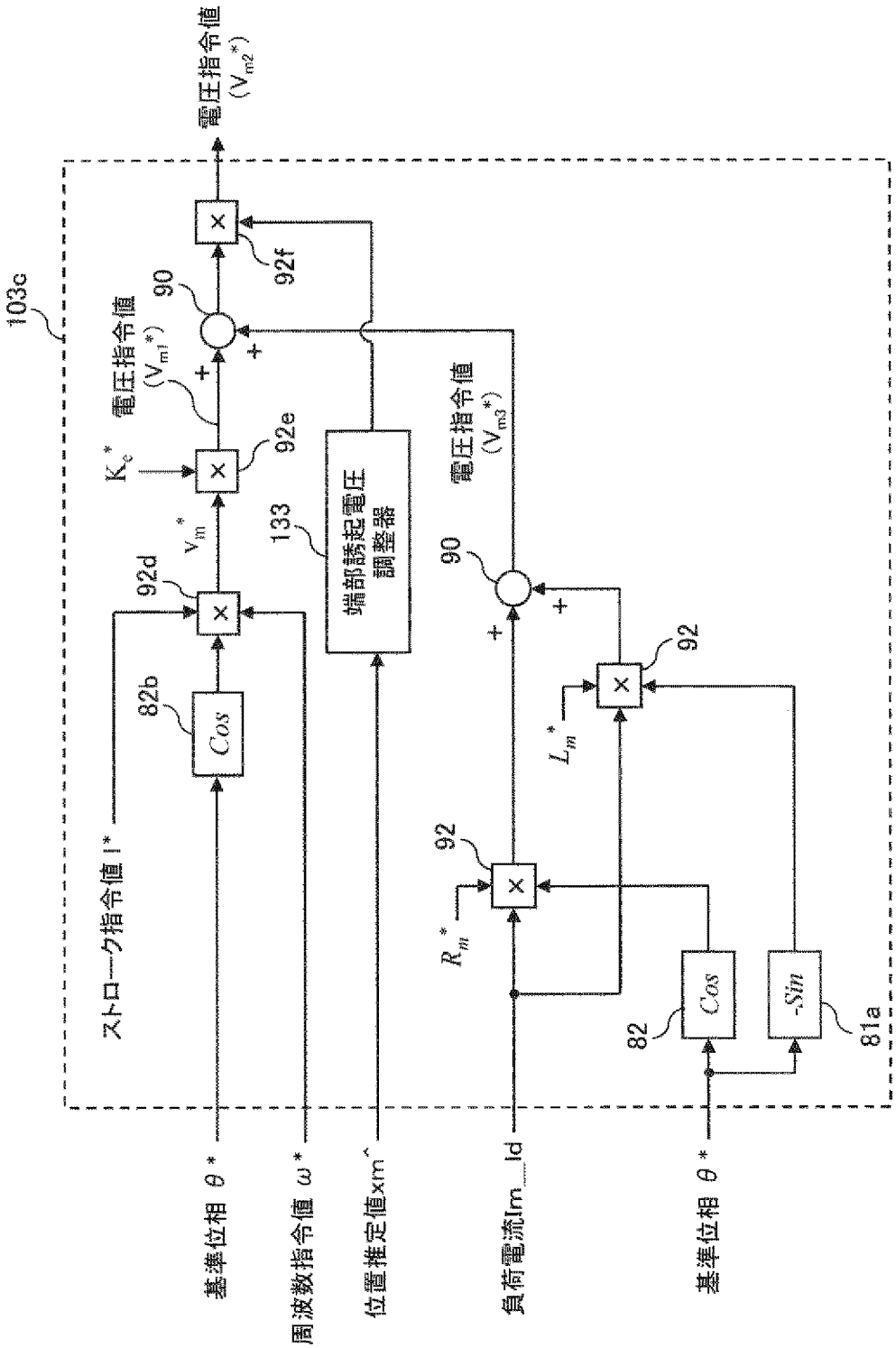
[図26]

図 26


<軽負荷時>
電圧指令値(V_{m3}^*)
電圧指令値(V_{m2}^*)
電圧指令値(V_{m1}^*)
交流電圧指令位相
(θ_{Vm}^*)
<重負荷時>
電圧指令値(V_{m3}^*)
電圧指令値(V_{m2}^*)
電圧指令値(V_{m1}^*)
交流電圧指令位相
(θ_{Vm}^*)

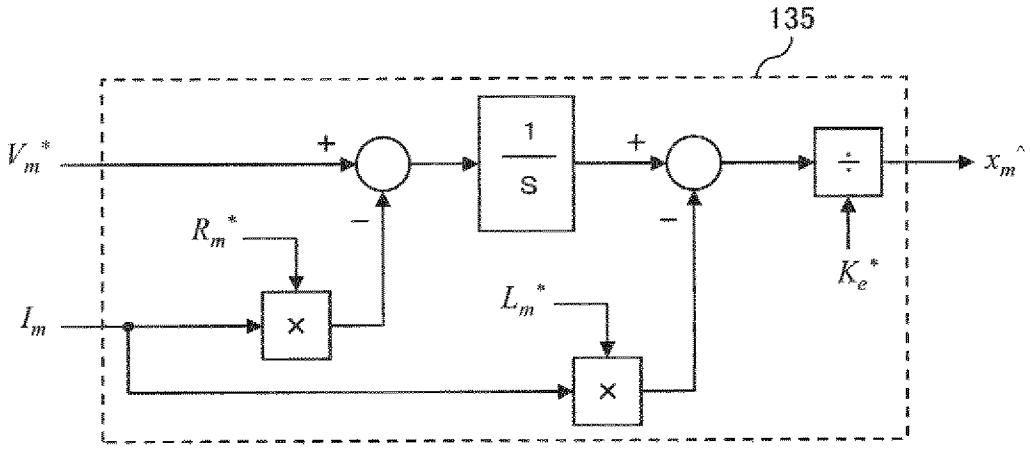
[図27]

図 27


103c
電圧指令値 (V_{m2}*)
92f
90
電圧指令値 (V_{m1}*)
K_c*
92e
V_m*
92d
82b
Cos
ストローク指令値 l*
端部誘起電圧調整器
133
電圧指令値 (V_{m3}*)
90
92
L_m*
92
R_m*
82
Cos
-Sin
81a
基準位相 θ*
周波数指令値 ω*
位置推定値xm^
負荷電流Im_Id
基準位相 θ*

[図28]

図 28



[図29]

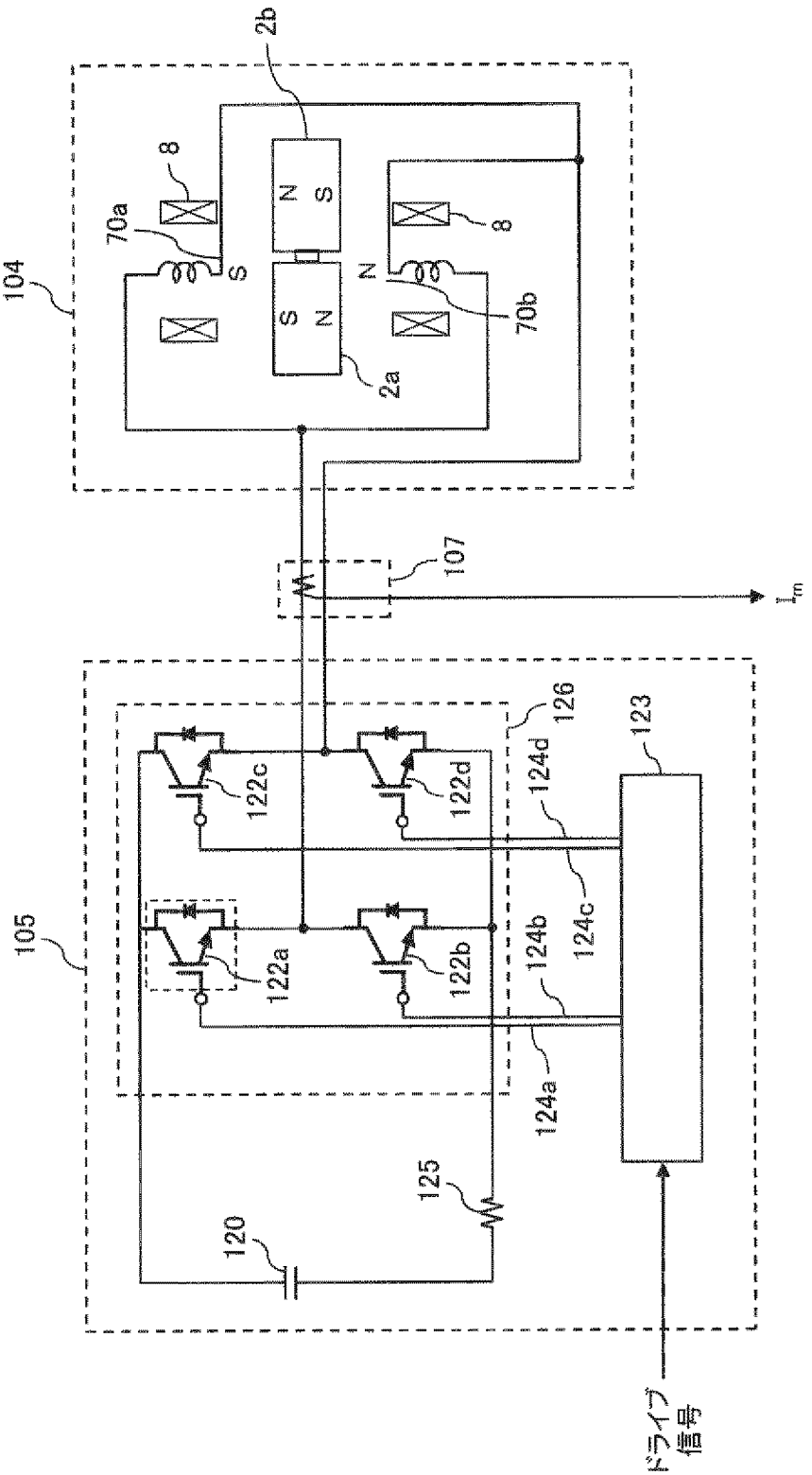
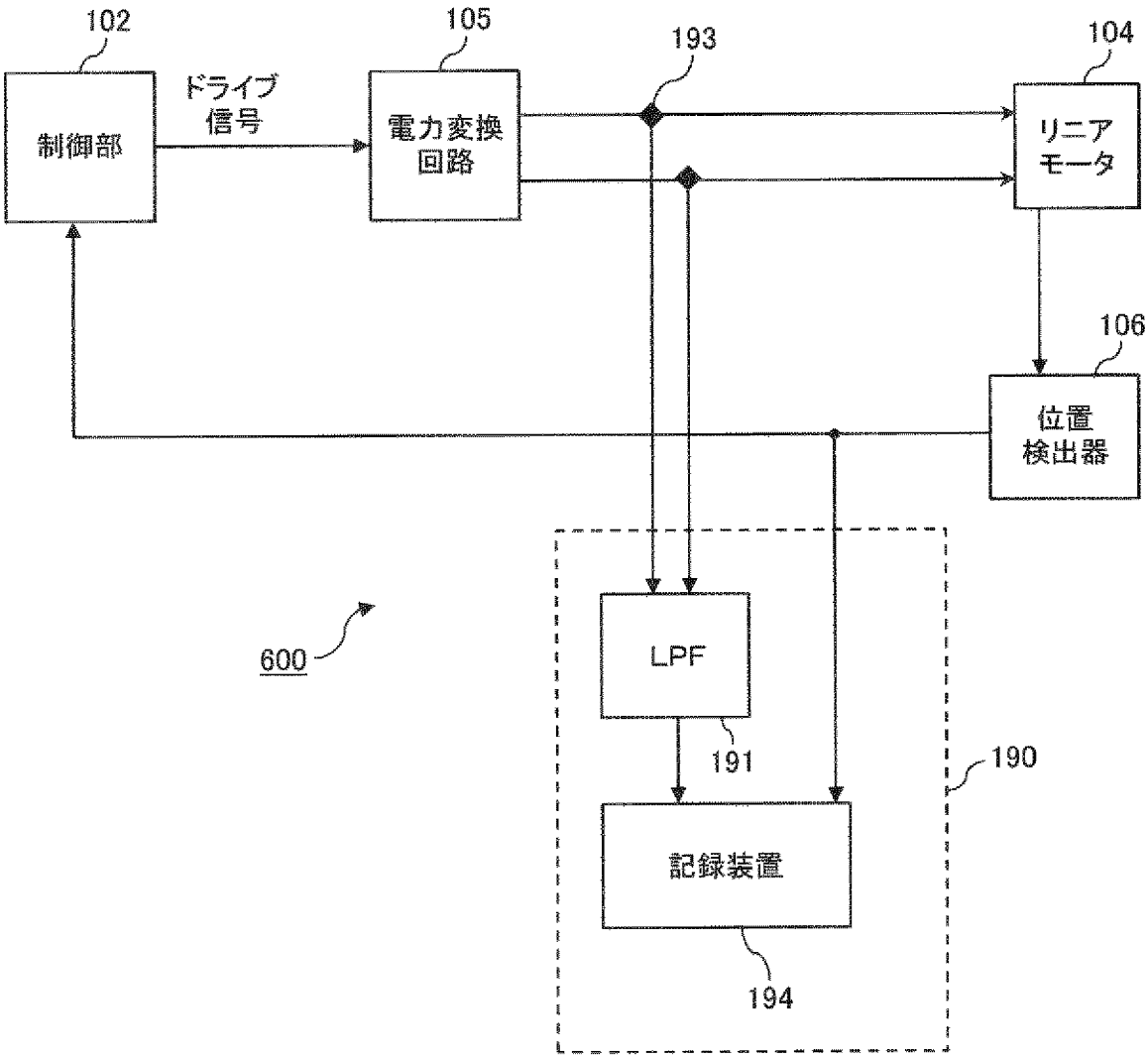

2b
8
70a
N
S
104
S
N
S
N
8
70b
2a
107
I_m
126
123
122c
122d
124d
124c
105
122a
122b
124b
124a
125
120
ドライブ信号

図 29

[図30]

図 30


102
制御部
ドライブ
信号
105
電力変換
回路
193
104
リニア
モータ
106
位置
検出器
600
LPF
191
190
記録装置
194

[図31]

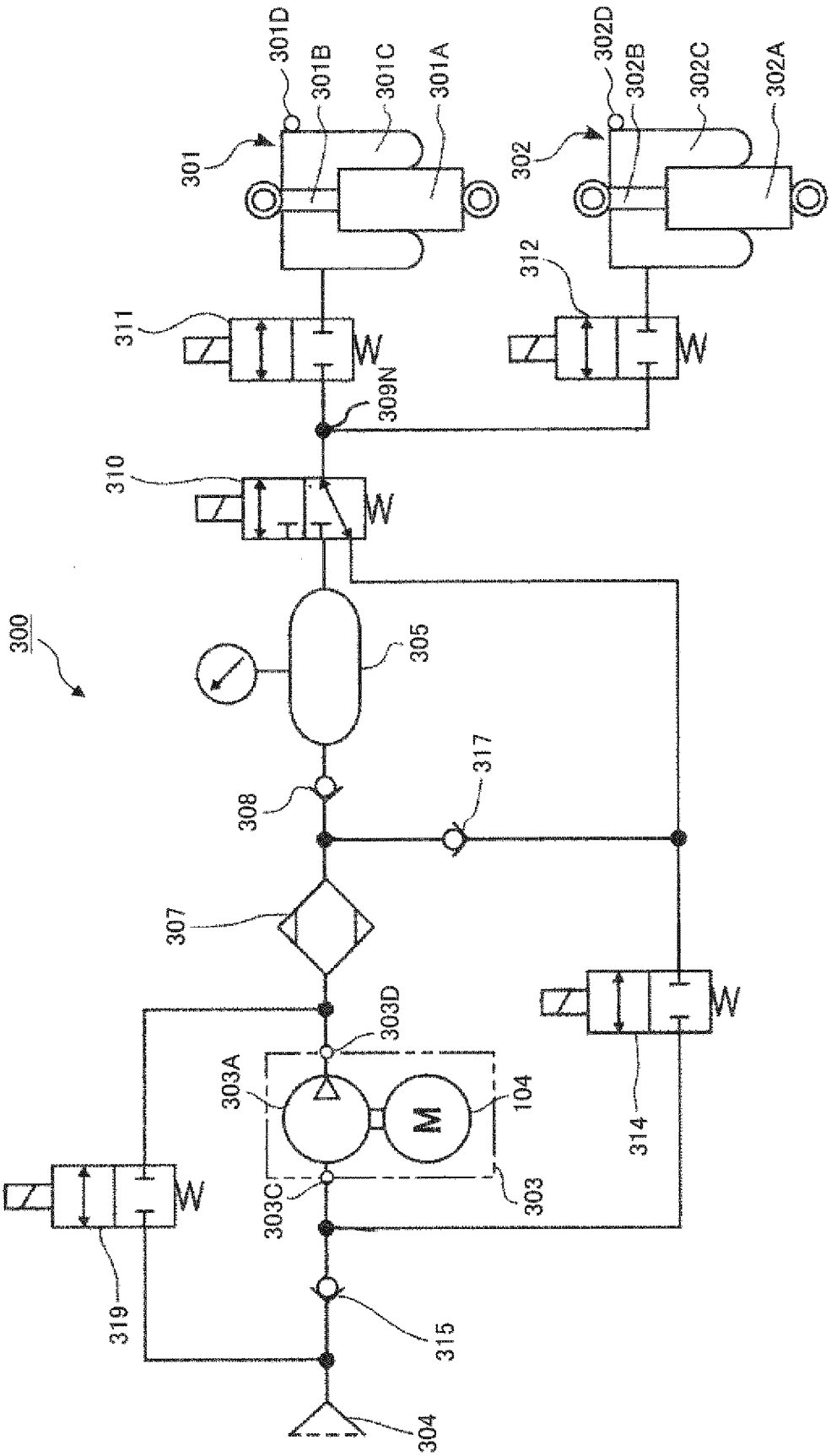
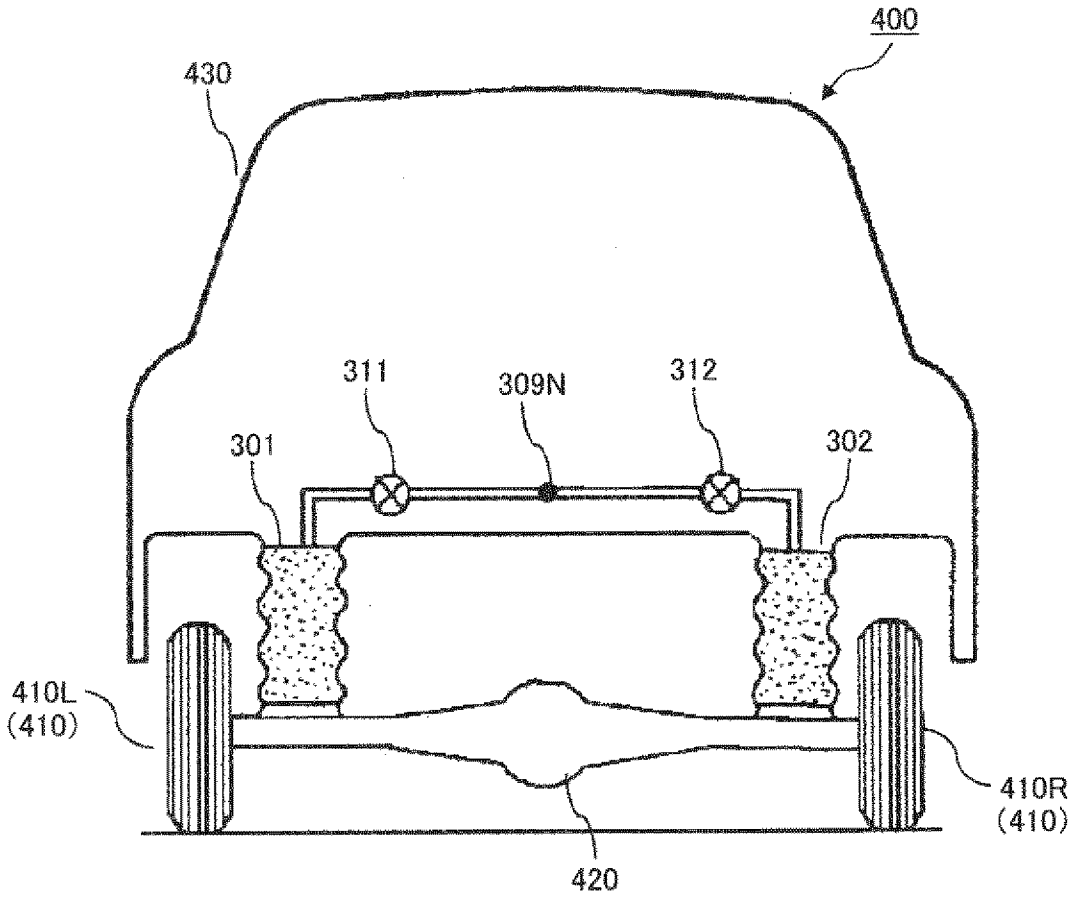

300
301
301A
301B
301C
301D
302
302A
302B
302C
302D
303
303A
303C
303D
304
305
307
308
309N
310
311
312
314
315
317
319
104
M

図 31

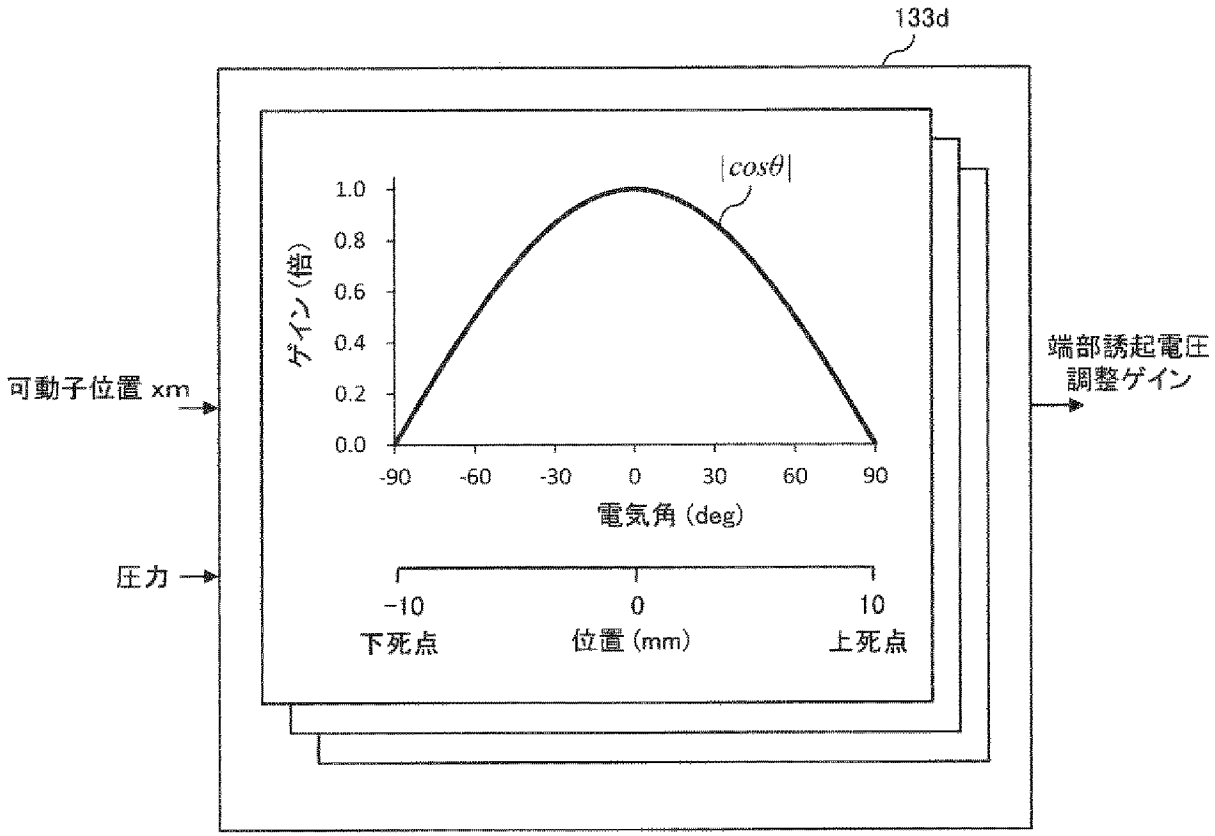
[図32]

図 32



[図33]

図 33


133d
可動子位置 xm
圧力
端部誘起電圧
調整ゲイン
|cosθ|
ゲイン（倍）
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-90
-60
-30
0
30
60
90
電気角（deg）
-10
下死点
0
位置（mm）
10
上死点

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/018678

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. H02P25/064(2016.01)i, F04B35/04(2006.01)i, H02K41/03(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl. H02P25/064, F04B35/04, H02K41/03

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2017/006744 A1 (HITACHI, LTD.) 12 January 2017, paragraphs [0011]-[0065], [0075]-[0078], fig. 1-19, 26-28 (Family: none)	1, 3, 13-14, 17-18 2, 4-12, 15-16, 19-20
Y A	WO 2012/056844 A1 (MURATA MACHINERY, LTD.) 03 May 2012, claim 4, paragraphs [0009], [0037]-[0038], [0042]-[0055], fig. 1-4, 6, 8-10 & TW 201230660 A	1, 3, 13-14, 17-18 2, 4-12, 15-16, 19-20
Y	WO 2017/051792 A1 (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.) 30 March 2017, paragraphs [0011]-[0092], fig. 1-8 & JP 2017-61235 A	17-18
A	JP 2001-190088 A (NIKON CORP.) 10 July 2001, claim 1, paragraphs [0010], [0039]-[0052], fig. 1-5, 8-10 (Family: none)	2, 4, 6, 8, 10, 12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
19 July 2018 (19.07.2018)	31 July 2018 (31.07.2018)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／０１８６７８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H02P25/064(2016.01)i, F04B35/04(2006.01)i, H02K41/03(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H02P25/064, F04B35/04, H02K41/03

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１８年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	WO 2017/006744 A1（株式会社日立製作所）2017.01.12, 段落［００１１］－［００６５］,［００７５］－［００７８］, 図１－１９，２６－２８（ファミリーなし）	1,3,13-14,17-18
A		2,4-12,15-16,19-20
Y	WO 2012/056844 A1（村田機械株式会社）2012.05.03, 請求項４，段落［０００９］,［００３７］－［００３８］,［００４２］－［００５５］, 図１－４，６，８－１０ & TW 201230660 A	1,3,13-14,17-18
A		2,4-12,15-16,19-20

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１９．０７．２０１８	３１．０７．２０１８

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｖ　４０３１
マキロイ　寛済
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３５７

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	WO 2017/051792 A1（日立オートモティブシステムズ株式会社）2017.03.30，段落［００１１］－［００９２］，図１－８ & JP 2017-61235 A	17-18
A	JP 2001-190088 A（株式会社ニコン）2001.07.10，請求項１，段落［００１０］，［００３９］－［００５２］，図１－５，８－１０（ファミリーなし）	2,4,6,8,10,12