(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 2019/008907 A1

(51) 国際特許分類:
H02P 25/064 (2016.01) *F04B 35/00* (2006.01)
F04B 27/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/018667

(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 2017-132634 2017年7月6日(06.07.2017) JP

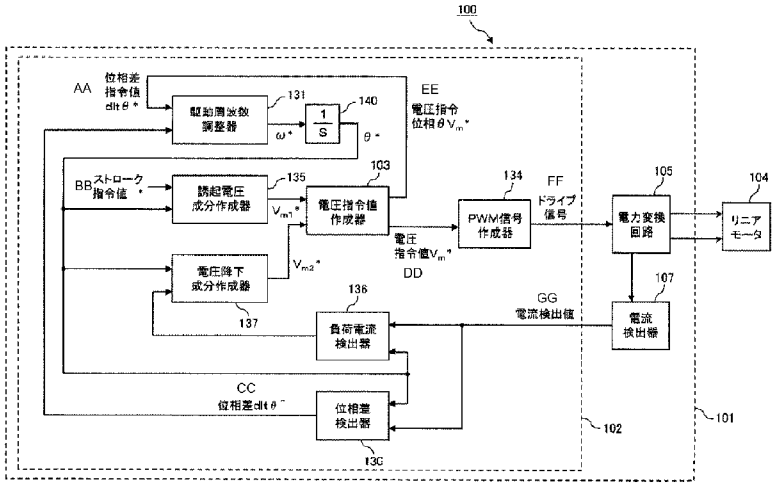
(71) 出願人:日立オートモティブシステムズ株式会社(**HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.**) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 Ibaraki (JP). 株式会社日立産機システム(**HITACHI INDUSTRIAL EQUIPMENT SYSTEMS CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒1010022 東京都千代田区神田練塀町３番地 Tokyo (JP).

(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). 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). 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). 小林 寛 (**KOBAYASHI Kan**); 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP).

(54) **Title:** LINEAR MOTOR SYSTEM

(54) 発明の名称： リニアモータシステム

図 1



103 Voltage command value generator
104 Linear motor
105 Power conversion circuit
107 Current detector
130 Phase difference detector
131 Drive frequency regulator
134 PWM signal generator
135 Induced voltage component generator
136 Load current detector
137 Voltage drop component generator

AA Phase difference command value
BB Stroke command value
CC Phase difference
DD Voltage command value
EE Voltage command phase
FF Drive signal
GG Detected current value

(57) **Abstract:** Provided is a linear motor system that can highly efficiently drive a linear motor at a mechanical resonant frequency that incorporates a load, without the need for a sensor that detects induced voltage that changes in accordance with fluctuations in the load. A linear motor system 100 that comprises a linear motor 104 that has a winding 8 to which at least alternating current voltage is applied and a mobile element 6 to which an elastic body 23 is connected. The resonant frequency of the mobile element 6 is dependent on the elastic body 23 and the load of the linear motor 104. The linear

WO 2019/008907 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)）

motor system 100 also has a linear motor drive device 102 that detects a fundamental wave amplitude for the current flowing in the winding 8 and increases the phase difference between the alternating current voltage Vm and the current Im flowing in the winding 8 in accordance with increases in the fundamental wave amplitude.

(57) 要約：負荷の変動に応じて変化する誘起電圧を検出するセンサを要することなく、負荷を含めた機械的な共振周波数で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。リニアモータシステム１００は、少なくとも交流電圧が印加される巻線８及び弾性体２３が接続する可動子６を有するリニアモータ１０４を備え、弾性体２３とリニアモータ１０４の負荷によって可動子６の共振周波数が変動する。そして、リニアモータシステム１００は、巻線８に流れる電流の基本波振幅を検出し、基本波振幅の増加に応じて、交流電圧Ｖｍと巻線８に流れる電流Ｉｍの位相差を大きくするリニアモータ駆動装置１０２を有する。

明　細　書

発明の名称 ： リニアモータシステム

技術分野

[0001] 本発明は、リニアモータシステムに係り、特に、弾性体を接続させた可動子を有するリニアモータを備えるリニアモータシステムに関する。

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。機械的な共振周波数は、可動子の摩擦や、可動子に接続する負荷に応じて変動するため、共振周波数を効果的に推定することが望まれる。

[0003] 例えば、特許文献１は、サーチコイルからの誘起電圧の位相を検出し、リニアモータに流れる電流位相との位相差を検出し、位相差に応じてピストンの共振周波数に一致させる構成が開示されている。また、特許文献１には、出力電圧の周波数に応じた値だけ出力電圧の電圧値を補正してピストンのストロークを一定に保持する構成が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平１１－３５１１４３号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献１は、リニアコンプレッサーの巻線にサーチコイルを具備し、誘起電圧の位相を検出している。しかしながら、サーチコイルを用いると配線が煩雑になるだけでなく、ノイズの影響を受けやすくなるため、高精度に共振周波数に制御することは容易ではない。また、出力電圧の周波数に応じた値だけ出力電圧の電圧値を補正し、リニアコンプレッサーのピストンのストロークを一定に保持する具体的構成については何ら記載されておらず、所望のストロークに制御することは容易ではない。

そこで、本発明は、負荷の変動に応じて変化する誘起電圧を検出するセンサを要することなく、負荷を含めた機械的な共振周波数で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。

課題を解決するための手段

[0006] 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、少なくとも交流電圧が印加される巻線及び弾性体が接続する可動子を有するリニアモータを備え、前記弾性体と前記リニアモータの負荷によって可動子の共振周波数が変動するリニアモータシステムであって、前記交流電圧の駆動周波数が共振周波数となるよう、前記交流電圧と前記巻線に流れる電流の位相差を調整するリニアモータ駆動装置を有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、少なくとも交流電圧が印加される巻線及び弾性体が接続する可動子を有するリニアモータを備え、前記弾性体と前記リニアモータの負荷によって可動子の共振周波数が変動するリニアモータシステムであって、前記負荷の増加に応じて、前記交流電圧と前記巻線に流れる電流の位相差を大きくするリニアモータ駆動装置を有することを特徴とする。

更にまた、本発明に係るリニアモータシステムは、少なくとも交流電圧が印加される巻線及び弾性体が接続する可動子を有するリニアモータを備え、前記弾性体と前記リニアモータの負荷によって可動子の共振周波数が変動するリニアモータシステムであって、前記巻線に流れる電流の基本波振幅を検出し、前記基本波振幅の増加に応じて、前記交流電圧と前記巻線に流れる電流の位相差を大きくするリニアモータ駆動装置を有することを特徴とする。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、負荷の変動に応じて変化する誘起電圧を検出するセンサを要することなく、負荷を含めた機械的な共振周波数で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。

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

[0008] [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]磁極の縦断面と磁束の流れを示す模式図である。

[図4]磁極歯に発生する極性の説明図である。

[図5]可動子に接続される外部機構の説明図である。

[図6]駆動周波数とストロークの関係の説明図である。

[図7]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。

[図8]印加電圧と電流のベクトル図である。

[図9]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10]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11]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12]図１に示す制御部を構成する誘起電圧成分作成器の構成例を示す説明図である。

[図13]図１２に示す誘起電圧成分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14]位置推定部の構成例を示す説明図である。

[図15]図１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16]図１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17]図１に示す制御部を構成する電圧降下成分作成器の構成例を示す説明図である。

[図18]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19]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20]交流電圧指令位相と駆動周波数指令値の時間変化を示す説明図である。

[図21]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22]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23]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24]図２３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25]図２３に示す制御部を構成する電圧降下成分作成器の構成例を示す説明図である。

[図26]図２３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27]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の回路図である。

[図28]図２７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29]負荷電流検出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

[0009] 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。

実施例 1

[0010] 本実施例では、説明の便宜上、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。

[0011] ＜リニアモータシステム１００＞

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、電流検出器１０７、制御部１０２、及び電力変換回路１０５を有する。

本実施例では、可動子６が鉛直方向に移動するが、電機子９及び可動子６（界磁子）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。なお、以下では、可動子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、電流検出器１０７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。制御部１０２の詳細は後述する。

詳細は後述するが、電力変換回路１０５は、直流電圧源１２０（図２１）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。

[0012] ＜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。

[0013] 図３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３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。

[0014] ［可動子６に付与する推力］

図４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４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４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４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。

[0015] 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。

[0016] 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４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呼ぶ。

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。

[0017] [可動子６外部の機構]

図５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５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６（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。

[0018] 図６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６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。

[0019] [駆動時の位相関係]

図７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

７の上図に可動子６の位置と速度の時間変化、図７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７の上図と下図は、同じタイミングの波形である。図８は、図７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７および図８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。

[0020] 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。以下、共振周波数の検出又は推定方法、駆動周波数の制御、および巻

線８に印加する電圧や電流の制御について説明する。

[0021] ＜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推定値ｄｌｔθ＾（以下、単に位相差と称する）が位相差指令値ｄｌｔθ*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、負荷電流検出器１３６、誘起電圧成分を作成する誘起電圧成分作成器１３５、電圧降下成分を作成する電圧降下成分作成器１３７、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。

[0022] 制御部１０２は、電流検出器１０７によるモータ電流Ｉｍを入力する。モータ電流Ｉｍは交流波形である。制御部１０２に入力されたモータ電流Ｉｍは、制御部１０２を構成する位相差検出器１３０及び負荷電流検出器１３６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*とモータ電流Ｉｍ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。

[0023] 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。

[0024] ＜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の駆動周波数調整器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）。

[0025] ＜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。

[0026] [数1]

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

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。

[0027]

[数2]

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

[0028] [数3]

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

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。

[0029] 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。

[0030] [数4]

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

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。

[0031] 上述の式（１）～式（４）では、基準位相θ*に対する可動子６の位置ｘｍの位相を算出しているが、同様にモータ電流Ｉｍを用いることにより、次式

（５）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。

[0032] [数5]

$$\hat{\theta_{pos}} = tan^{-1}\left(\frac{b_1}{a_1}\right) = tan^{-1}\left(\frac{\int_{-2\pi}^{0} I_m \cdot sin\omega_0 t\, dt}{\int_{-2\pi}^{0} I_m \cdot cos\omega_0 t\, dt}\right) \quad \cdots (5)$$

図９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（５）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。

[0033] 図１０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１０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、モータ電流Ｉｍ）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。

[0034] 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。

[0035] 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*に対するモータ電流Ｉｍ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モータ電流Ｉｍ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、モータ電流Ｉｍ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モータ電流Ｉｍ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、モータ電流Ｉｍ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。

[0036] ＜駆動周波数調整器１３１＞

図１１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。

[0037] [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。

[0038] ＜誘起電圧成分作成器１３５＞

図１２は、図１に示す制御部１０２を構成する誘起電圧成分作成器１３５

の構成例を示す説明図である。誘起電圧成分作成器１３５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_{m1}*を生成する。

図１２の上図は、ストローク制御器を構成しない、いわゆるオープン指令型の構成例である。誘起電圧成分作成器１３５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*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られる基準位相θ*を入力する。

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ｌ*と、基準位相θ*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、乗算器９２ｅにて誘起電圧定数Ｋｅ*を乗じ、誘起電圧に相当する電圧指令値（V_{m1}*）を生成する。

[0039] 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１２の構成の基となる演算式を次式（６）に示す。

[0040] [数6]

$$v_m^* = \dot{x}_m^* = (l^* \cdot sin\omega_0 t) = l^* \cdot \omega_0 \cdot cos\omega_0 t \qquad \cdots (6)$$

速度指令値ｖｍ*は、ストローク指令値ｌ*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１２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。

[0041] 図１２の下図は、ストローク制御器を構成する、いわゆるクローズ指令型の構成例である。誘起電圧成分作成器１３５ａは、既知の位置センサによ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。

[0042] ＜ストローク制御器１５３＞

図１３は、図１２の下図に示す誘起電圧成分作成器１３５ａ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１３に示すように、ストローク制御器１５３は、ストローク指令値ｌ*と、ストローク検出値また

はストローク推定値との差を減算器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。

[0043] なお、位置推定をする場合は、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（７）で位置推定値ｘｍ＾を求める。

[0044] [数7]

$$\hat{x_m} = \frac{1}{K_e^*}\left\{\int (V_m^* - R_m^* \cdot I_m)dt - L_m^* \cdot I_m\right\} \quad \cdots (7)$$

式（７）中、Ｖｍ*はリニアモータ１０４に印加する電圧指令値Ｖｍ*である。

[0045] 図１４は、位置推定部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。図１４に示すように、位置推定部３０８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、位置推定部３０８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に示すトローク検出器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。

[0046] ＜負荷電流検出器１３６＞

図１５は、図１に示す制御部１０２を構成する負荷電流検出器１３６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１３６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１３６は、図９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。

[0047] 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１５の構成により、負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄを検出することができる。

[0048] 図１６は、図１に示す制御部１０２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１３６ｂ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の基本周波数のｃｏｓ成分（Ｉｍ＿ｃｏｓ）を抽出する。次に、モータ電流Ｉｍの基本周波数のｃｏｓ成分（Ｉｍ＿ｃｏｓ）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１６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。

[0049] 図７および図８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１６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１６の構成とした場合、演算負荷低減に有効である。

[0050] ＜電圧降下成分作成器１３７＞

図１７は、図１に示す制御部１０２を構成する電圧降下成分作成器１３７の構成例を示す説明図である。電圧降下成分作成器１３７は、負荷電流検出器１３６で検出した負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄと、基準位相θ*とを入力し、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_{m2}*）を出力する。

[0051] 負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄに、予め設定あるいは推定した抵抗値Ｒｍ*とインダクタンス値Ｌｍ*を乗算器９２で乗ずる。次に、負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄと抵抗値Ｒｍ*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の出力を乗じ、負荷電流Ｉｍ＿Ｉｄとインダクタンス値Ｌｍ*を乗算器９２にて乗じた値に、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_{m2}*）として出力する。

[0052] ＜電圧指令値作成器１０３＞

図１８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。図１８に示すように、電圧指令値作成器１０３は、誘起電圧成分作成器１３５から入力される誘起電圧に相当する電圧指令値（V_{m1}*）と、電圧降下成分作成器１３７から入力される電圧降下分に相当する電圧指令値（V_{m2}*）とを加算器９０で加算して、交流電圧指令値（V_m*）として出力する。入力する２つの電圧指令値（V_{m1}*及びV_{m2}*）はどちらも交流波形となるため、電圧指令値作成器１０３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。

電圧指令値作成器１０３は電圧位相算出器１３８を有し、出力する交流電圧指令値V_m*の位相である交流電圧指令位相θ_{Vm}*を出力する。

[0053] 図１９は、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り、電圧指令値作成器１０３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１９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１９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１９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１９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、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_{m2}*）をベクトル加算することで、負荷電流に応じて電圧指令値Ｖｍ*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_m*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、速度指令値が同じでも、負荷条件に応じて電圧指令値V_m*を適切に制御する。

[0054] 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Ｖｍ*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。

[0055] ＜電圧位相算出器１３８＞

電圧位相算出器１３８は、例えば、逆正接演算器などを用いて、交流電圧指令位相（θ_{Vm}*）を出力する。電圧位相の定義は種々あるが、本実施例では、図１９に示すように、正弦波状に変化する可動子位置（図１９の水平軸）から９０度反時計方向に回転した垂直軸（図１９の垂直軸）を基準とした位相とする。

すなわち、無負荷状態では交流電圧指令位相（θ_{Vm}*）はゼロ近傍となり、重負荷状態では正値の値となる。

[0056] ［位相差指令値の与え方］

駆動周波数調整器１３１の構成を説明する際において、簡略化のために位相差指令値ｄＩｔθ*を、例えば、０°としたが、本実施例は図１に示す通り、電圧指令値作成器１０３の出力である交流電圧指令位相（θV_m*）を位相

差指令値ｄｌｔθ*として、駆動周波数調整器１３１に入力する。

仮に、電圧指令値作成器１０３で電圧降下分に相当する電圧指令値（V_{m2}*）に相当する電圧指令値をベクトル加算したのに関わらず、位相差指令値ｄｌｔθ*を０°に固定した場合、減駆動周波数調整器１３１を構成する減算器９１（図１１）で求める位相差指令値ｄｌｔθ*と位相差検出器１３０で求めた位相差ｄｌｔθ^の差は、負値となり、駆動周波数調整器１３１は、駆動周波数指令値ω＊を増加させる制御を実行する。その結果、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よりも高い周波数で収束してしまう。

[0057] 一方、本実施例の通り、電圧指令値作成器１０３の出力である交流電圧指令位相（θV_m*）の負値を位相差指令値ｄｌｔθ*として、駆動周波数調整器１３１に入力した場合、ベクトル加算の結果、進んだ電圧位相を考慮するため、駆動周波数調整器１３１は、駆動周波数指令値ω*を増加させる制御は実行されず、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収束する。

[0058] これにより、負荷の変化（負荷電流）に応じて電圧指令値V_m*の振幅が増加すると共に、交流電圧指令位相（θV_m*）の分、位相が進んでも、駆動周波数が共振周波数よりも高く制御されること無く、幅広い負荷条件においても高効率で駆動することが可能になる。

なお、図１８では、電圧位相算出器１３８の出力に、乗算器９２で－１を乗じているが、電圧位相の定義によっては不要である。

[0059] ［負荷への追従性］

図２０は、交流電圧指令位相と駆動周波数指令値の時間変化を示す説明図であり、時間的に負荷が変わっていった時の交流電圧指令位相（θV_m*）と駆動周波数指令値の変化を説明する図である。図２０の交流電圧指令位相（θV_m*）は、正弦波状に変化する可動子位置（図１９の水平軸）から９０度反時計方向に回転した垂直軸（図１９の垂直軸）を基準とした位相として示している。

このように、リニアモータ１０４が駆動中に、負荷がＬ１→Ｌ２→Ｌ３と変化（Ｌ２＞Ｌ１＞Ｌ３）するのに応じて、交流電圧指令位相と駆動周波数指令値がそれぞれθ１→θ２→θ３（θ２＞θ１＞θ３）とｆ１→ｆ２→ｆ３（ｆ２＞ｆ１＞ｆ３）のように変化する。

[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２１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，１２

２ｂ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２１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] ［電流検出器１０７］

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を設けることができる。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。

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。

[0064] 以上のように、本実施例によれば、負荷の変動に応じて変化する誘起電圧を検出するセンサを要することなく、負荷を含めた機械的な共振周波数で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、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。

実施例 2

[0065] 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。

[0066] ＜密閉型圧縮機５０＞

図２２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。

[0067] 可動子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２２中では図示せず）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、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決まる機械的な共振周波数に近い。

[0068] 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。

[0069] 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。

[0070] 図２３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２３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１３６ａ、電圧降下成分を作成する電圧降下成分作成器１３７ａ、及び電圧指令値Ｖｍ*を出力する電圧指令値作成器１０３ａが異なる。以下では、これら、負荷電流検出器１３６ａ、電圧降下成分作成器１３７ａ、及び電圧指令値作成器１０３ａ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１３６ａ＞

図２４は、図２３に示すリニアモータシステム２００の制御部２０２を構成する負荷電流検出器１３６ａの構成例を示す説明図である。図２４に示すように、負荷電流検出器１５０ａは、電流検出器１０７よりモータ電流Ｉｍを入力すると共に位相指令値である基準位相θ*を入力し、モータ電流Ｉｍの基本周波数のｃｏｓ成分（Ｉｍ＿ｃｏｓ）及びｓｉｎ成分（Ｉｍ＿ｓｉｎ）をそれぞれ抽出して出力する。

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、正弦及び余弦

それぞれの１次のフーリエ係数を得て、モータ電流Ｉｍの基本周波数のｓｉｎ成分（Ｉｍ＿ｓｉｎ）として負荷電流Ｉｍ＿ｓｉｎ、及びモータ電流Ｉｍの基本周波数のｃｏｓ成分（Ｉｍ＿ｃｏｓ）として負荷電流Ｉｍ＿ｃｏｓを、それぞれ電圧降下成分作成器１３７ａへ出力する。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。図２４の構成とした場合、後述するベクトル和の演算を容易化でき、制御部２０２への実装に望ましい。

[0072] ＜電圧降下成分作成器１３７ａ＞

図２５は、図２３に示すリニアモータシステム２００の制御部２０２を構成する電圧降下成分作成器１３７ａの構成例を示す説明図である。図２５に示すように、電圧降下成分作成器１３７ａは、負荷電流検出器１３６ａで検出した負荷電流Ｉｍ＿ｓｉｎ及び負荷電流Ｉｍ＿ｃｏｓを入力し、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_{m2}*Ｉｍ＿ｓｉｎ）及び電圧降下分に相当する電圧指令値（V_{m2}*Ｉｍ＿ｃｏｓ）を出力する。

[0073] 電圧降下成分作成器１３７ａは、負荷電流Ｉｍ＿ｃｏｓに、予め設定あるいは推定したリニアモータ１０４の抵抗値Ｒｍ*を乗算器９２にて乗じ、電圧指令値（V_{m2}*＿ｃｏｓ）として電圧指令値作成器１０３ａへ出力する。また、電圧降下成分作成器１３７ａは、負荷電流Ｉｍ＿ｓｉｎに、予め設定あるいは推定したリニアモータ１０４のインダクタンス値Ｌｍ*を乗算器９２にて乗じ、電圧指令値（V_{m2}*＿ｓｉｎ）として電圧指令値作成器１０３ａへ出力する。

[0074] ＜電圧指令値作成器１０３ａ＞

図２６は、図２３に示すリニアモータシステム２００の制御部２０２を構成する電圧指令値作成器１０３ａの構成例を示す説明図である。図２６に示すように、電圧指令値作成器１０３ａは、誘起電圧成分作成器１３５より出力される可動子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_{m1}*と、電圧降下成分作成器１３７ａより出力される電圧指令値（V_{m2}*＿ｃｏｓ

）とを加算器９０にて加算して出力する。このようにｃｏｓ成分とｓｉｎ成分に分けて加算することで、電圧指令値作成器１０３ａ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。

[0075] 電圧位相の定義は種々あるが、本実施例では、上述の実施例１において図１９に示したように、正弦波状に変化する可動子位置（図１９の水平軸）から９０度反時計方向に回転した垂直軸（図１９の垂直軸）を基準とした位相とする。そのため、誘起電圧成分作成器１３５の出力値（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_{m1}*）と、電圧降下成分作成器１３７ａの出力である電圧指令値（V_{m2}*__ｃｏｓ）とを加算器９０で加算する。

[0076] 電圧指令値作成器１０３ａは、電圧位相算出器１３８及び平方根演算器９６を有する。

平方根演算器９６は、加算器９０による加算結果及び電圧降下成分作成器１３７ａから出力される電圧指令値（V_{m2}*__ｓｉｎ）の平方根を得て、交流電圧指令値（Ｖｍ*）をＰＷＭ信号作成器１３４へ出力する。また、電圧位相算出器１３８は、加算器９０による加算結果及び電圧降下成分作成器１３７ａから出力される電圧指令値（V_{m2}*__ｓｉｎ）を入力し、例えば、逆正接演算器などを用いて交流電圧指令位相（θV_m*）を駆動周波数調整器１３１へ出力する。

[0077] 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。

実施例 3

[0078] 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２７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２８は図２７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２８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。

[0079] 図２７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。

[0080] エアサスペンションシステム３００は、図２８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２７）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。

[0081] エアサスペンション３０１，３０２は、図２８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。

[0082] 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。

[0083] 図２７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。

[0084] 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。

[0085] リニアモータ１０４の可動子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決まる機械的な共振周波数で可動子６を往復動させる場合、上述の実施例２において図２２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決まる機械的な共振周波数に近い。

[0086] このように、リニアモータ１０４を圧縮要素の動力とする場合は、圧縮要素の条件（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。

[0087] ＜負荷電流検出器１３６ｂ＞

図２９は、負荷電流検出器１３６ｂの構成例を示す図である。負荷電流検出器１５０ｂは、モータ電流Ｉｍを入力し、モータ電流Ｉｍの基本周波数のｃｏｓ成分（Ｉｍ＿ｃｏｓ）とｓｉｎ成分（Ｉｍ＿ｓｉｎ）をそれぞれ抽出して出力する。

[0088] 入力値の正弦を出力する正弦演算器８１と、入力値で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。その出力を一次遅れフィルタ１４１ａでローパスフィルタ（低域通過フィルタ）処理し、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。一次遅れフィルタ１４１ａのフィルタ時定数（Ｔ＿Ｉｄ）若しくは遮断周波数は、外部から変更できるようになっている。

[0089] 図２９に示す負荷電流検出器１３６ｂの構成では、一次遅れフィルタ１４１ａのフィルタ時定数（Ｔ＿Ｉｄ）若しくは遮断周波数は、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、変更できるようになっている。これにより、圧力の変化によっても負荷電流検出

への影響を軽減できる。

[0090] 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、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。

[0091] 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。

[0092] 実施例１乃至実施例３において、リニアモータ１０４を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、同様の効果を得られる。

電力変換回路１０５は、電流を出力する態様であってもよい。この場合は、電圧指令値作成器１０３に代えて電流指令値作成器を設ければよい。

符号の説明

[0093] 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、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、１００，２００…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…電圧指令値作成器、１０４…リニアモータ、１０５…電力変換回路、１０７…電流検出器、１２６…フルブリッジ回路、１３０…位

相差検出器、１３１…駆動周波数調整器、１３４…ＰＷＭ信号作成器、１３５…誘起電圧成分作成器、１３６…負荷電流検出器、１３７…電圧降下成分作成器、１４０…積分器

請求の範囲

[請求項1] 少なくとも交流電圧が印加される巻線及び弾性体が接続する可動子を有するリニアモータを備え、

前記弾性体と前記リニアモータの負荷によって可動子の共振周波数が変動するリニアモータシステムであって、

前記交流電圧の駆動周波数が共振周波数となるよう、前記交流電圧と前記巻線に流れる電流の位相差を調整するリニアモータ駆動装置を有することを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項2] 少なくとも交流電圧が印加される巻線及び弾性体が接続する可動子を有するリニアモータを備え、

前記弾性体と前記リニアモータの負荷によって可動子の共振周波数が変動するリニアモータシステムであって、

前記負荷の増加に応じて、前記交流電圧と前記巻線に流れる電流の位相差を大きくするリニアモータ駆動装置を有することを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項3] 少なくとも交流電圧が印加される巻線及び弾性体が接続する可動子を有するリニアモータを備え、

前記弾性体と前記リニアモータの負荷によって可動子の共振周波数が変動するリニアモータシステムであって、

前記巻線に流れる電流の基本波振幅を検出し、前記基本波振幅の増加に応じて、前記交流電圧と前記巻線に流れる電流の位相差を大きくするリニアモータ駆動装置を有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３に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記リニアモータ駆動装置は、

前記基本波振幅を用いて前記巻線の抵抗及びインダクタンスの電圧降下分に相当する第１の電圧指令値を出力する電圧降下成分作成器と、

前記可動子の速度に応じて生じる誘起電圧に相当する第２の電圧指令値を出力する誘起電圧成分作成器と、

前記第１の電圧指令値及び第２の電圧指令値をベクトル加算し第３の電圧指令値を出力する電圧指令値作成器と、を備え、

前記第３の電圧指令値に相当する電圧を前記巻線に印加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、

前記リニアモータ駆動装置は、

前記巻線に流れる基本波電流の可動子位置に直交する成分である基本波余弦成分を検出し、前記基本波余弦成分の大きさを用いて前記巻線の抵抗及びインダクタンスの電圧降下分に相当する第１の電圧指令値を出力する電圧降下成分作成器と、

前記可動子の速度に応じて生じる誘起電圧に相当する第２の電圧指令値を出力する誘起電圧成分作成器と、

前記第１の電圧指令値及び第２の電圧指令値をベクトル加算し第３の電圧指令値を出力する電圧指令値作成器と、を備え、

前記第３の電圧指令値に相当する電圧を前記巻線に印加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、

前記リニアモータ駆動装置は、

前記基本波振幅又は基本波余弦成分の大きさの低域通過フィルタ処理後の値である負荷電流を出力する負荷電流検出器を備え、

前記電圧降下成分作成器は、前記負荷電流に基づき前記第１の電圧指令値を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、

前記リニアモータ駆動装置は、

前記基本波振幅又は基本波余弦成分の大きさの低域通過フィルタ処理後の値である負荷電流を出力する負荷電流検出器を備え、

前記電圧降下成分作成器は、前記負荷電流に基づき前記第１の電圧指令値を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8] 請求項３に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記リニアモータ駆動装置は、

前記基本波振幅を用いて前記巻線の抵抗及びインダクタンスの電圧降下分に相当する第１の電圧指令値の正弦成分及び前記第１の電圧指令値の余弦成分を出力する電圧降下成分作成器と、

前記可動子の速度に応じて生じる誘起電圧に相当する第２の電圧指令値を出力する誘起電圧成分作成器と、

前記第１の電圧指令値の余弦成分及び第２の電圧指令値をベクトル加算し第３の電圧指令値を出力すると共に、前記第１の電圧指令値の正弦成分に基づき電圧指令位相を出力する電圧指令値作成器と、を備え、

前記第３の電圧指令値及び前記電圧指令位相に相当する電圧を前記巻線に印加す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８に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記リニアモータ駆動装置は、

前記基本波振幅又は基本波余弦成分の大きさの低域通過フィルタ処理後の値である負荷電流の正弦成分及び前記負荷電流の余弦成分を出力する負荷電流検出器を備え、

前記電圧降下成分作成器は、前記負荷電流の正弦成分及び前記負荷電流の余弦成分に基づき前記第１の電圧指令値の正弦成分及び前記第１の電圧指令値の余弦成分を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９に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記可動子にピストンが接続され、前記ピストンが負荷として流体又は空気を圧縮する圧縮機であ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１０に記載のリニアモータシステムにおいて、

前記低域通過フィルタ処理の遮断周波数を前記圧縮機の吸入または吐出圧力に応じて変更す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４に記載のリニアモータシステムにおいて、

車体側と車輪側との間に介装され空気の給排に応じて車高調整を行う複数のエア室に、 前記可動子にピストンが接続され、前記ピストンが負荷として流体又は空気を圧縮する圧縮機にて圧縮した空気を供給するエアサスペンションシステム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] 請求項５に記載のリニアモータシステムにおいて、

車体側と車輪側との間に介装され空気の給排に応じて車高調整を行う複数のエア室に、 前記可動子にピストンが接続され、前記ピストンが負荷として流体又は空気を圧縮する圧縮機にて圧縮した空気を供給するエアサスペンションシステムであることを特徴とするリニアモータシステム。

[請求項14] 請求項８に記載のリニアモータシステムにおいて、

車体側と車輪側との間に介装され空気の給排に応じて車高調整を行う複数のエア室に、 前記可動子にピストンが接続され、前記ピストンが負荷として流体又は空気を圧縮する圧縮機にて圧縮した空気を供給するエアサスペンションシステムであることを特徴とするリニアモータシステム。

[図1]

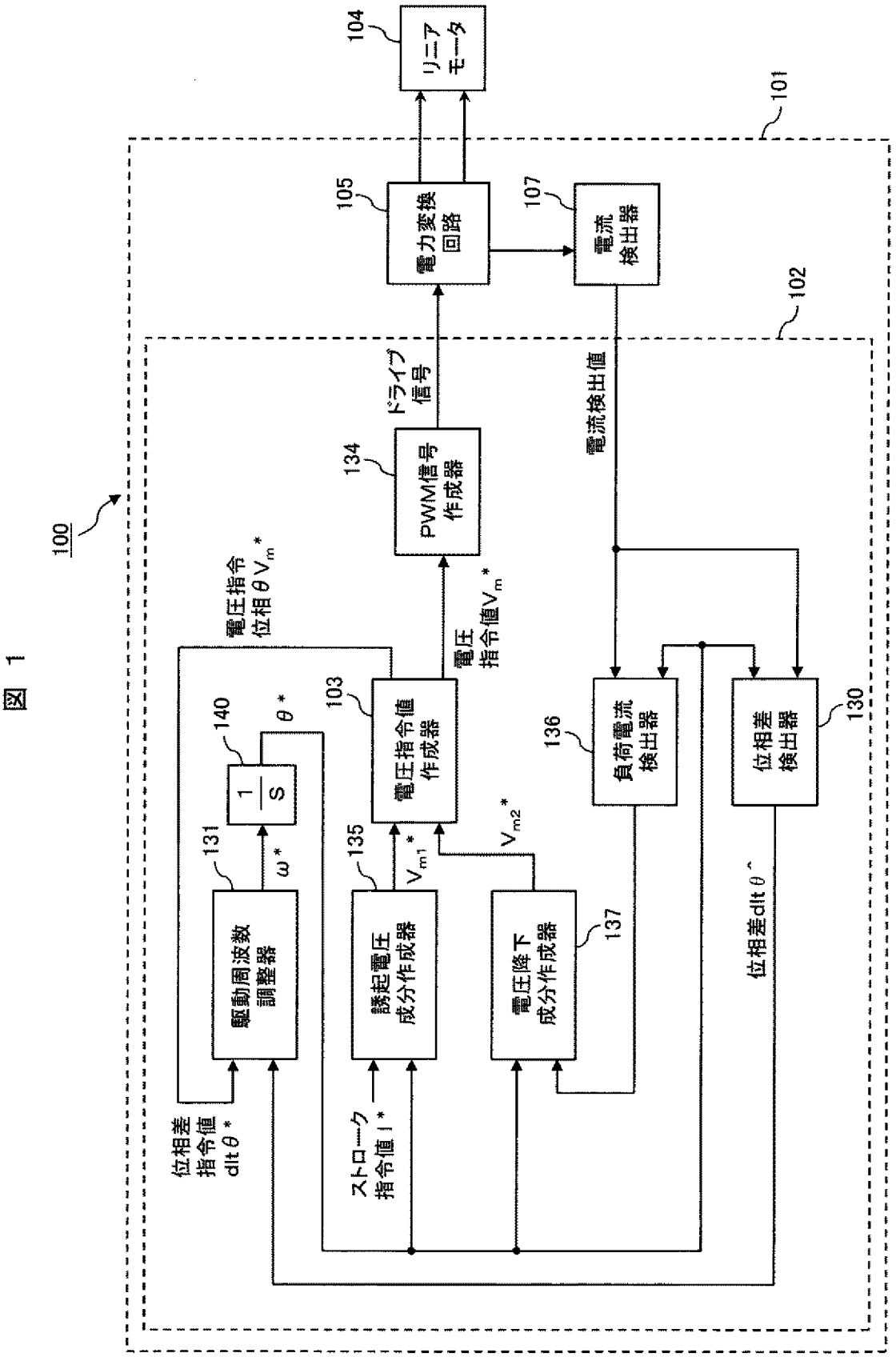
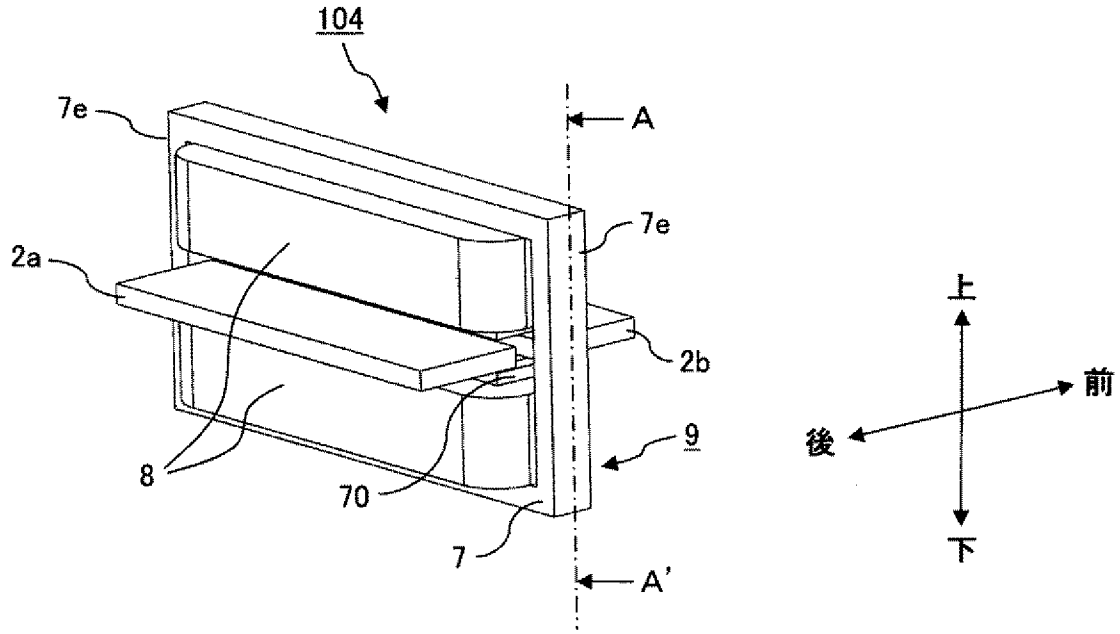

100
101
102
104
リニア モータ
105
電力変換 回路
107
電流 検出器
ドライブ 信号
134
PWM信号 作成器
電流検出値
電圧指令 位相θVm*
電圧 指令値Vm*
103
電圧指令値 作成器
140
1/S
θ*
131
ω*
駆動周波数 調整器
135
Vm1*
誘起電圧 成分作成器
Vm2*
電圧降下 成分作成器
137
136
負荷電流 検出器
位相差 検出器
130
位相差dlt θ^
位相差 指令値 dltθ*
ストローク 指令値 l*

図 1

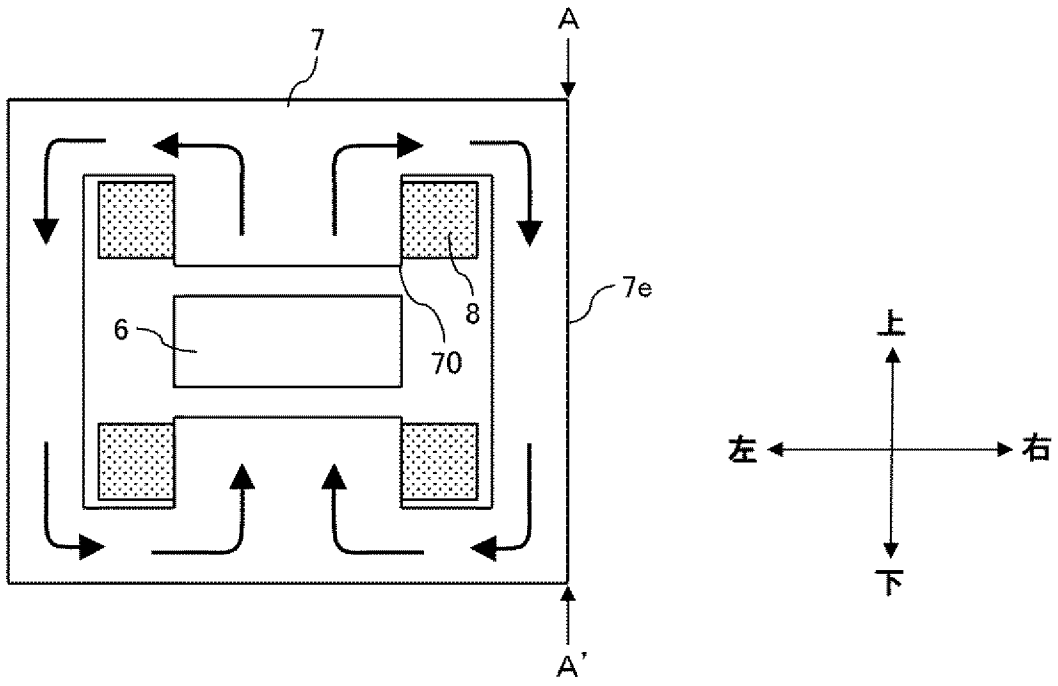
[図2]

図 2



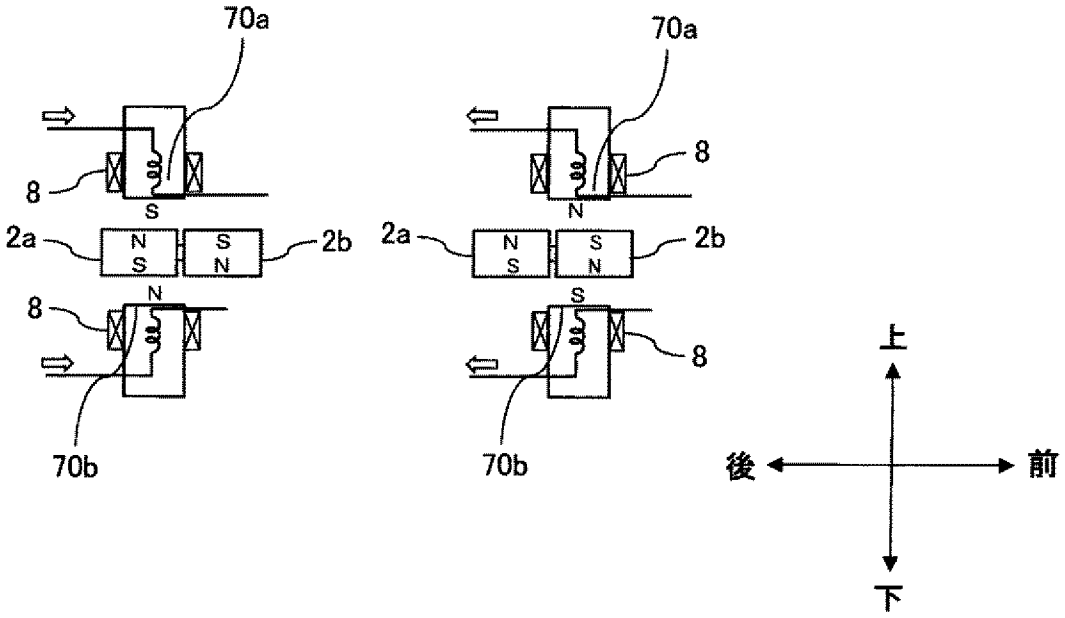
[図3]

図 3



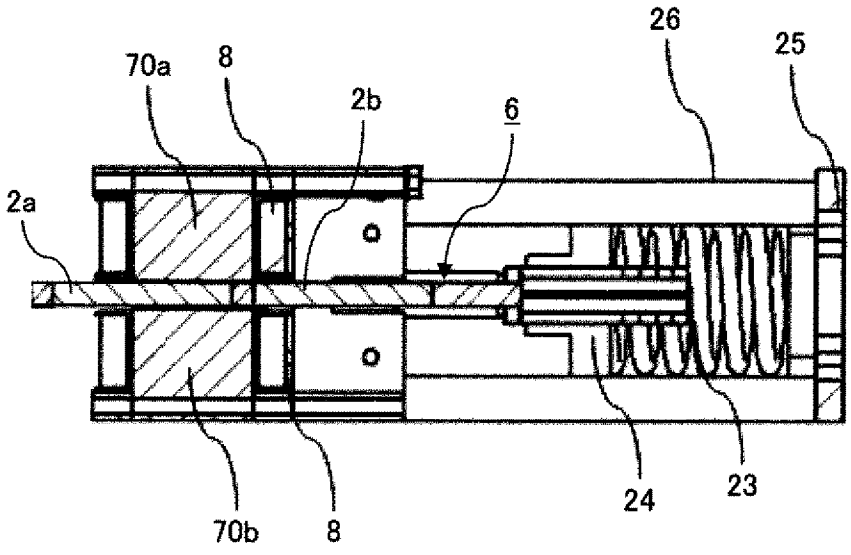
[図4]

図 4


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

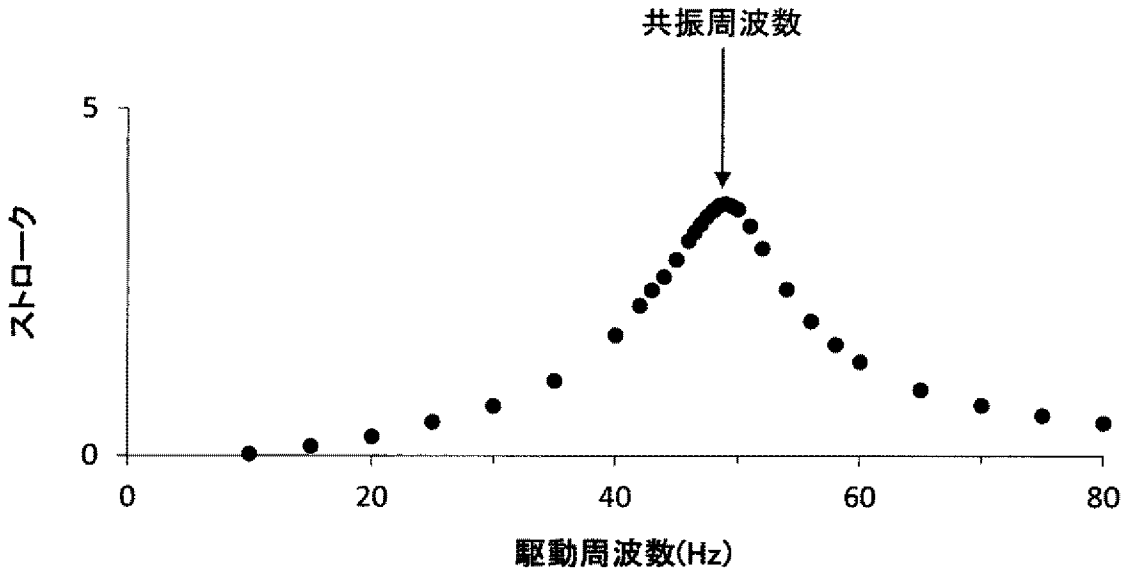
[図5]

図 5


70a
8
2b
6
26
25
2a
70b
8
24
23

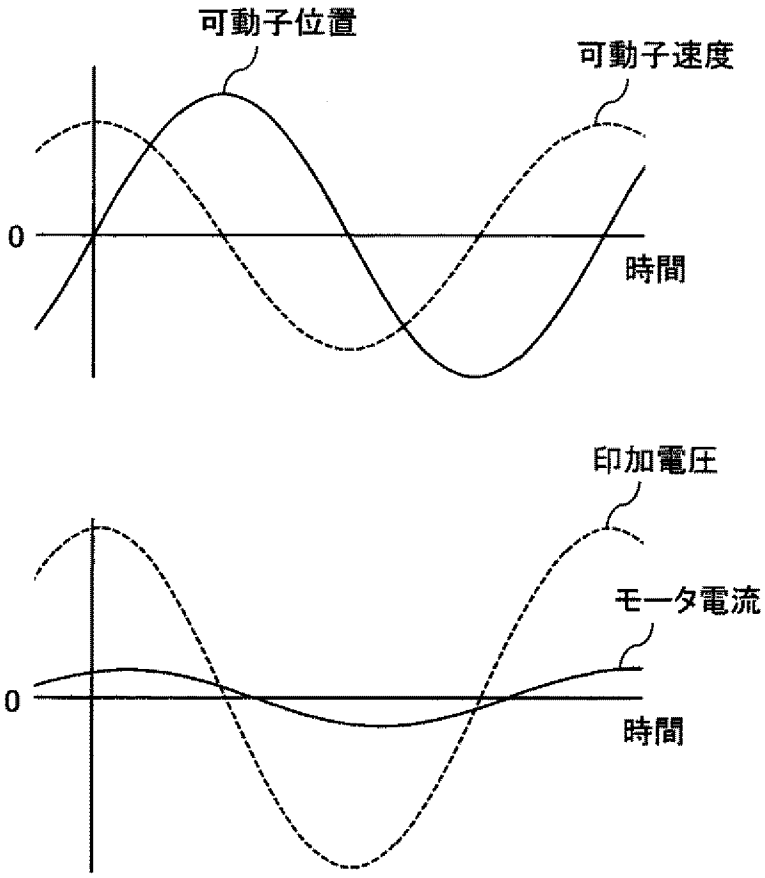
[図6]

図 6


共振周波数
5
0
ストローク
0
20
40
60
80
駆動周波数(Hz)

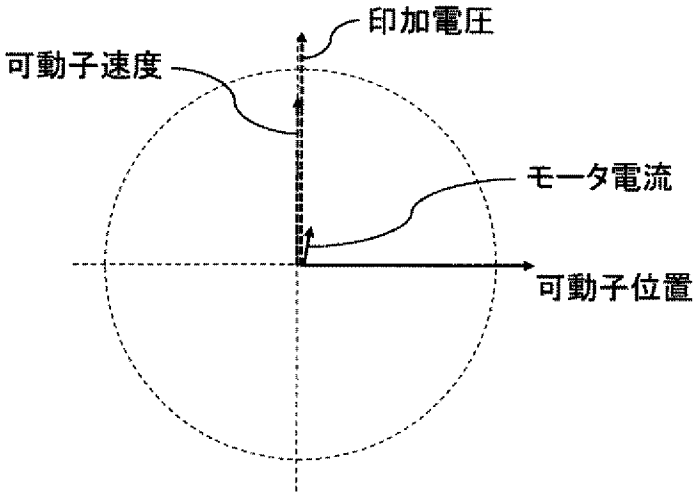
[図7]

図 7


可動子位置
可動子速度
0
時間
印加電圧
モータ電流
0
時間

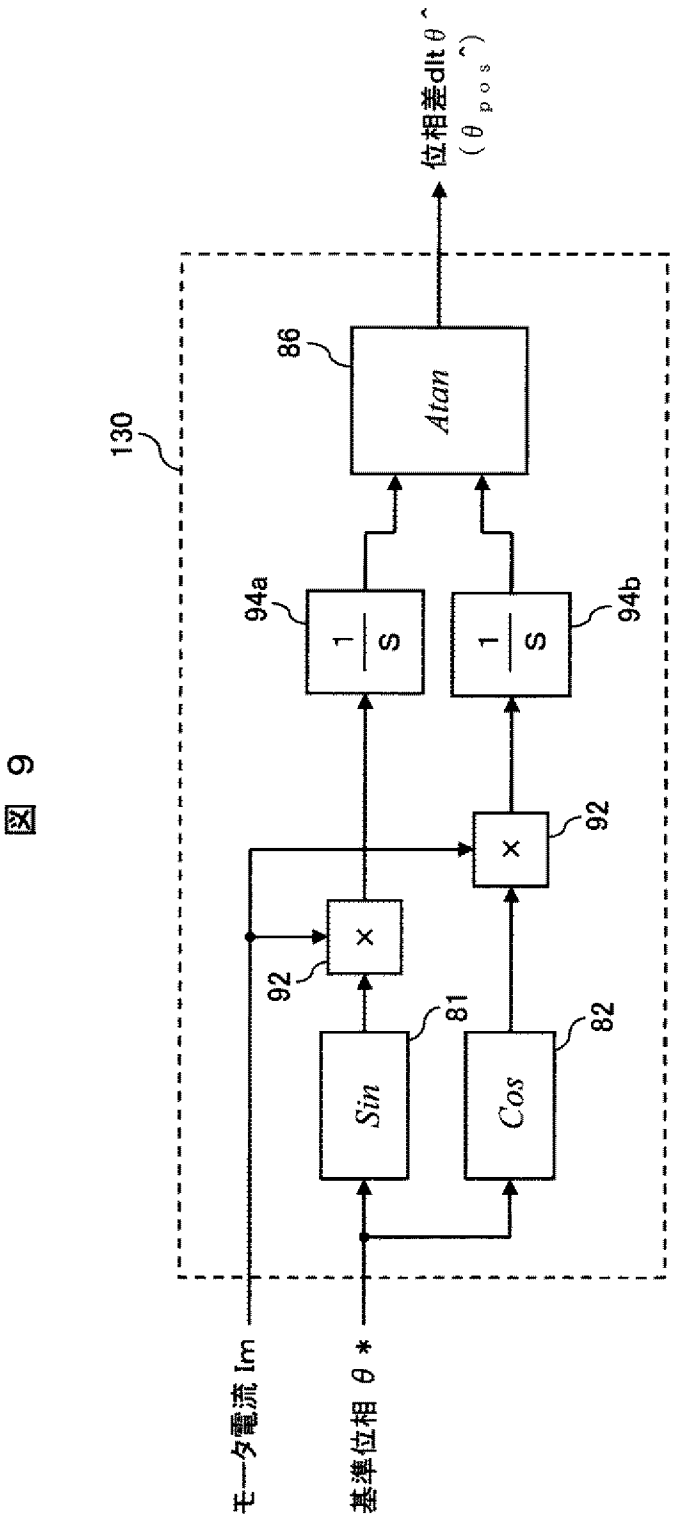
[図8]

図 8



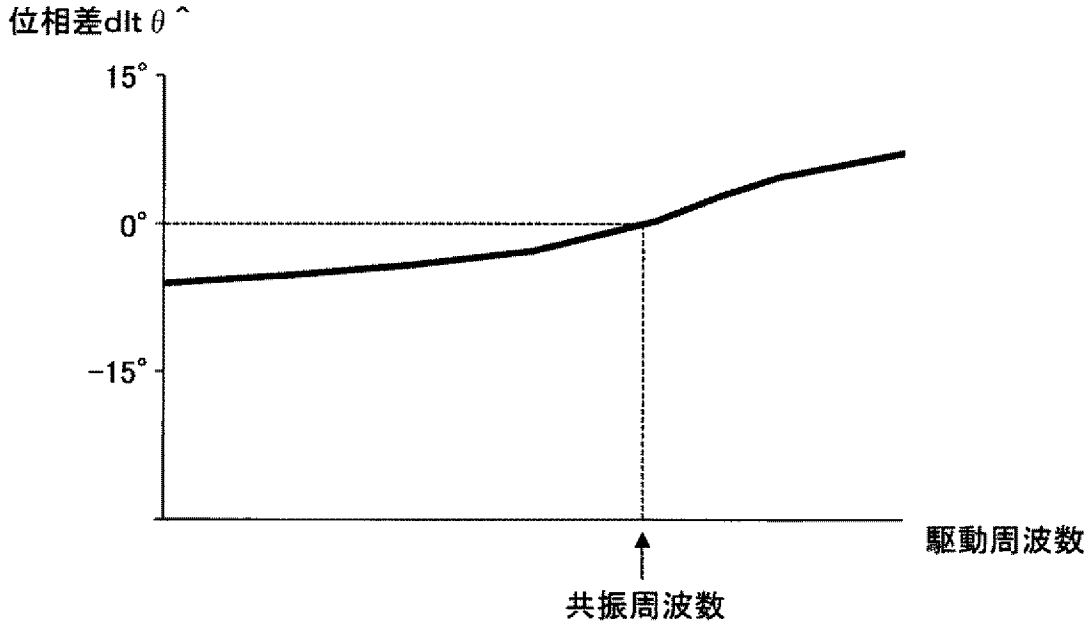
[図9]

図 9


位相差dlt θ^
(θpos^)
130
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*

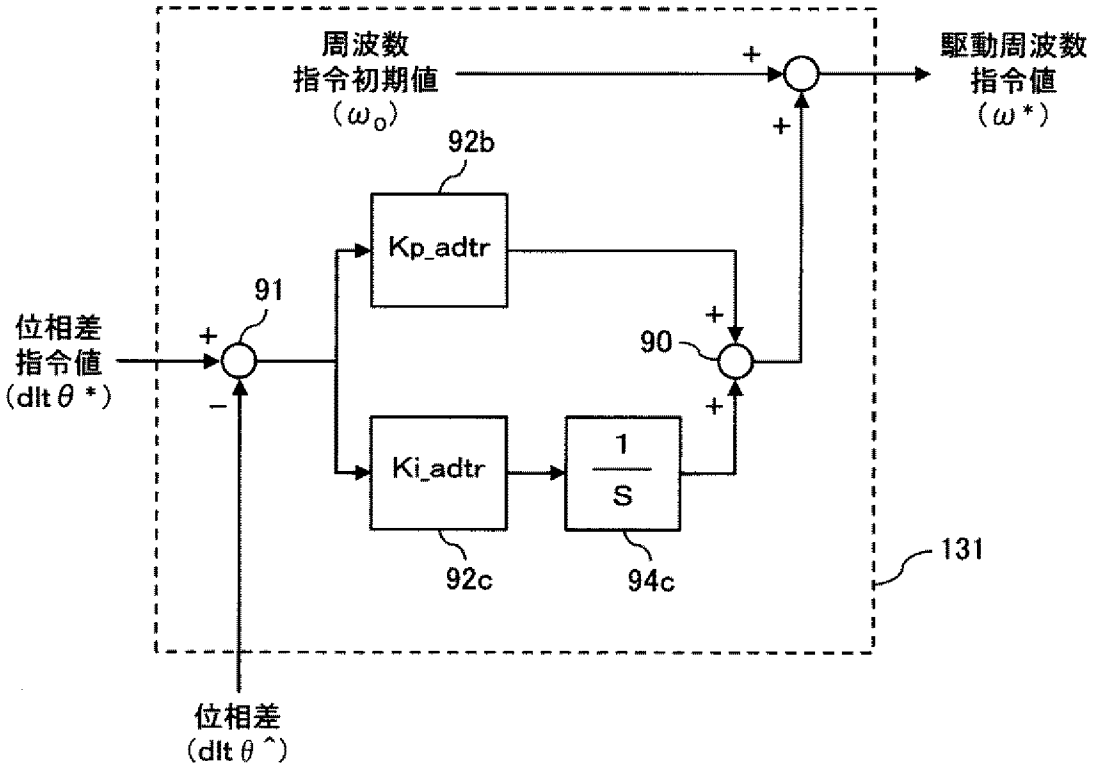
[図10]

図 10



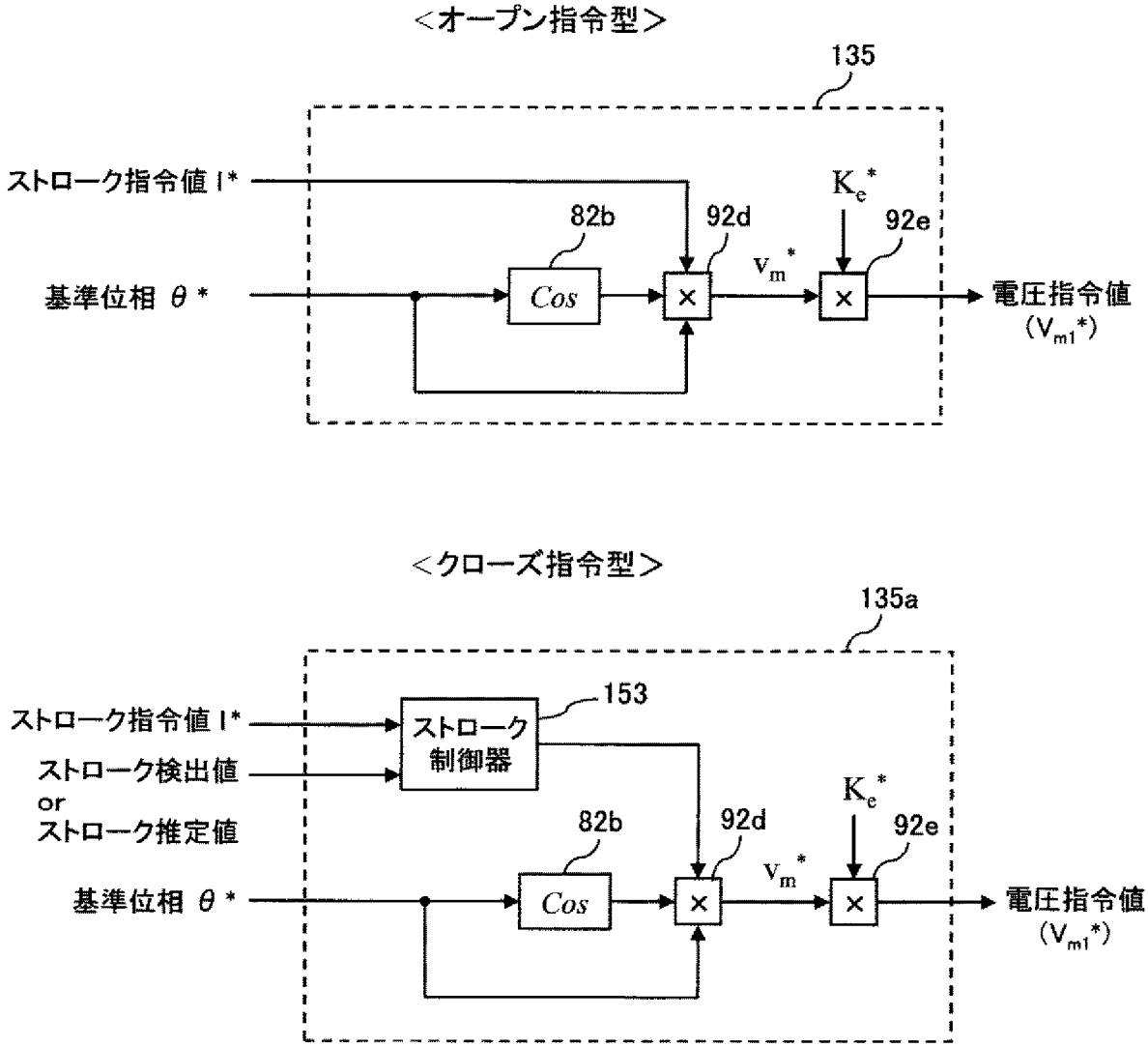
[図11]

図 11



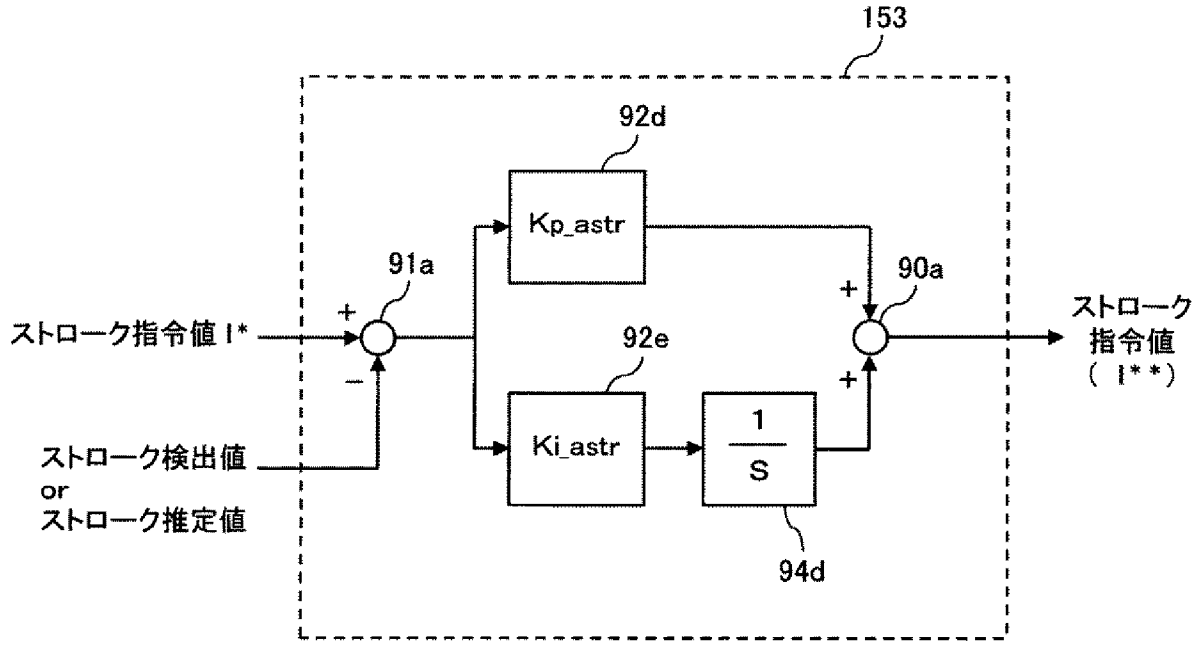
[図12]

図 12


<オープン指令型>
135
ストローク指令値 l*
基準位相 θ*
82b
Cos
92d
×
v_m^*
K_e^*
92e
×
電圧指令値
(V_{m1}^*)
<クローズ指令型>
135a
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
基準位相 θ*
153
ストローク
制御器
82b
Cos
92d
×
v_m^*
K_e^*
92e
×
電圧指令値
(V_{m1}^*)

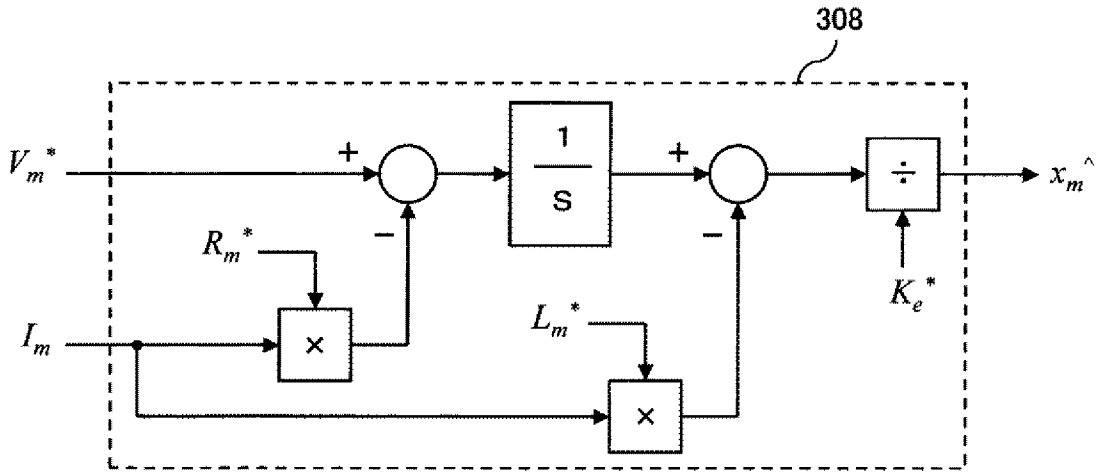
[図13]

図 13



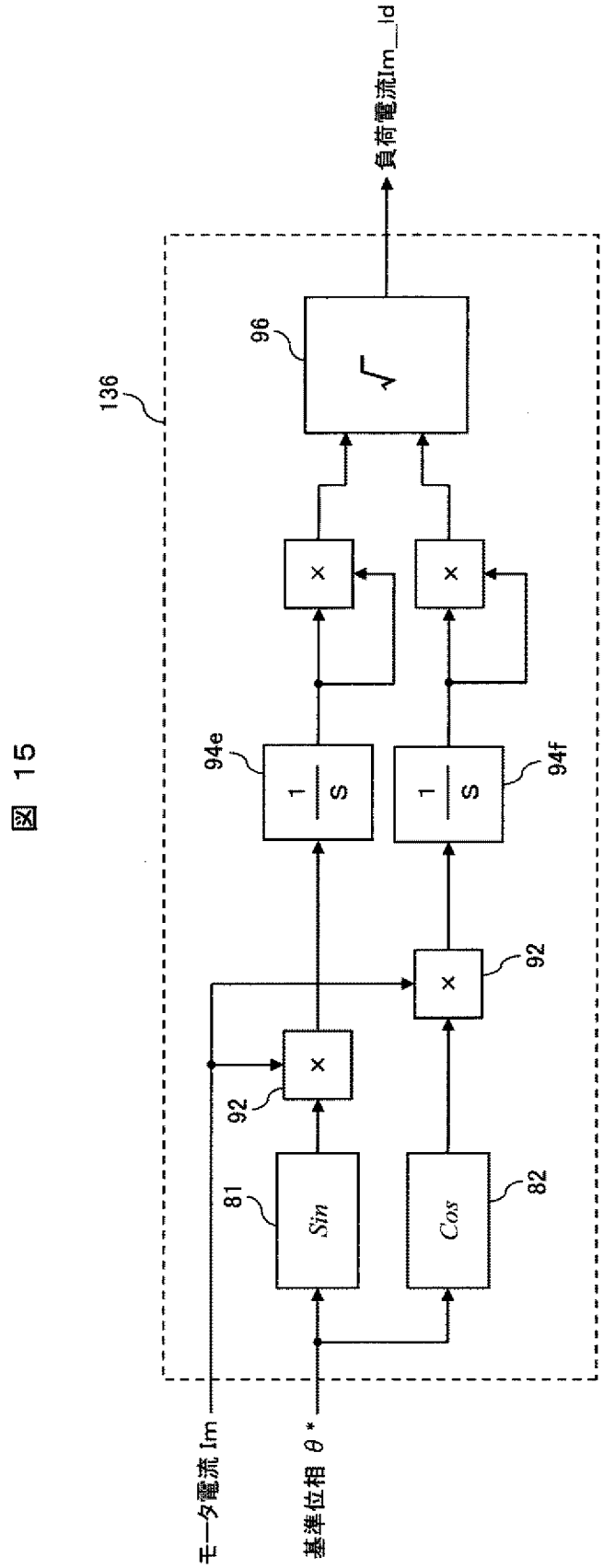
[図14]

図 14



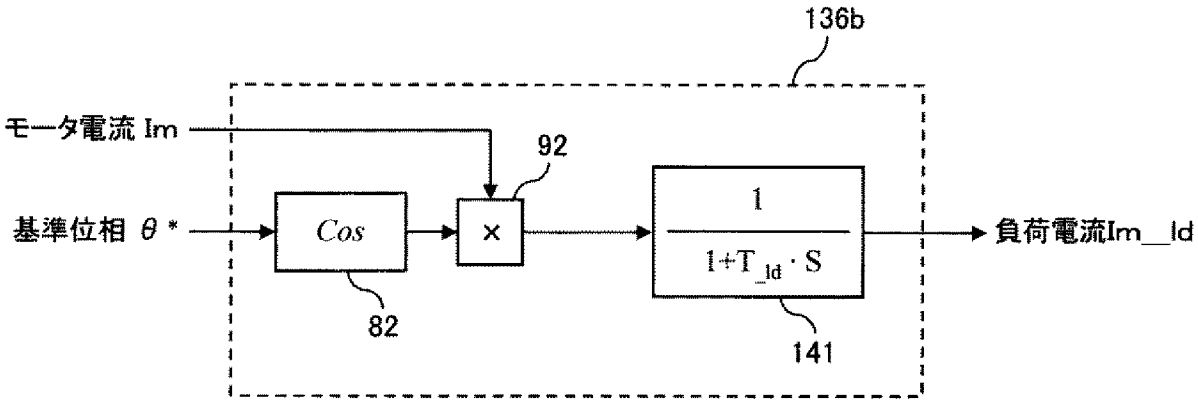
[図15]

図 15



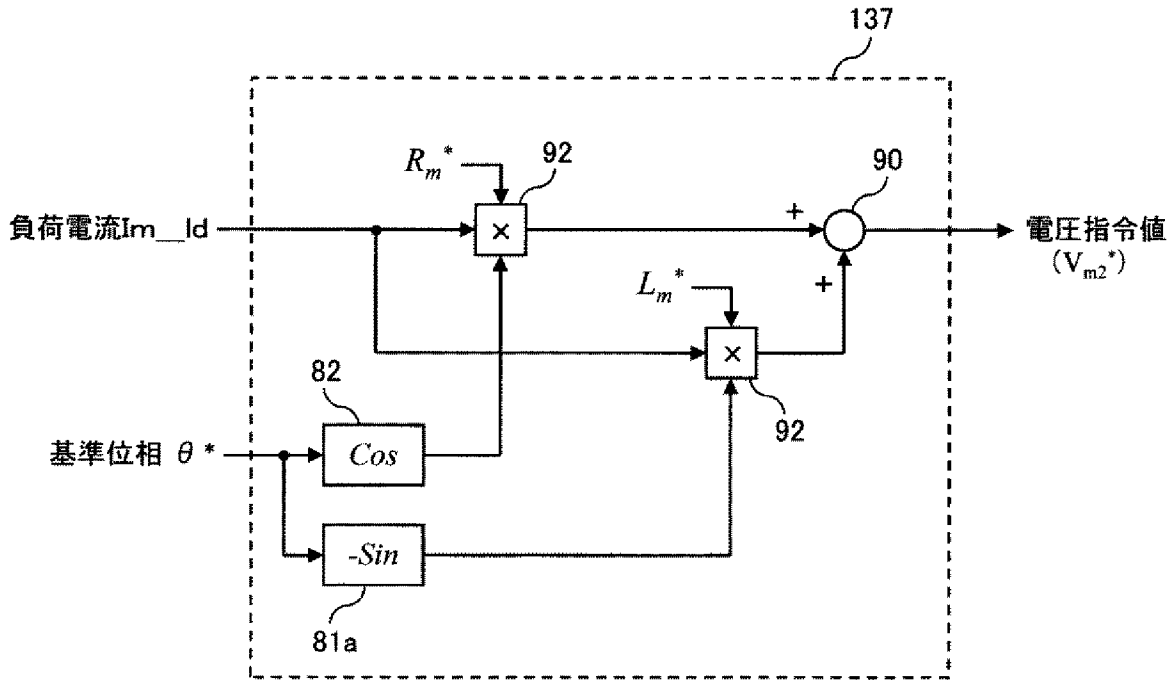
[図16]

図 16



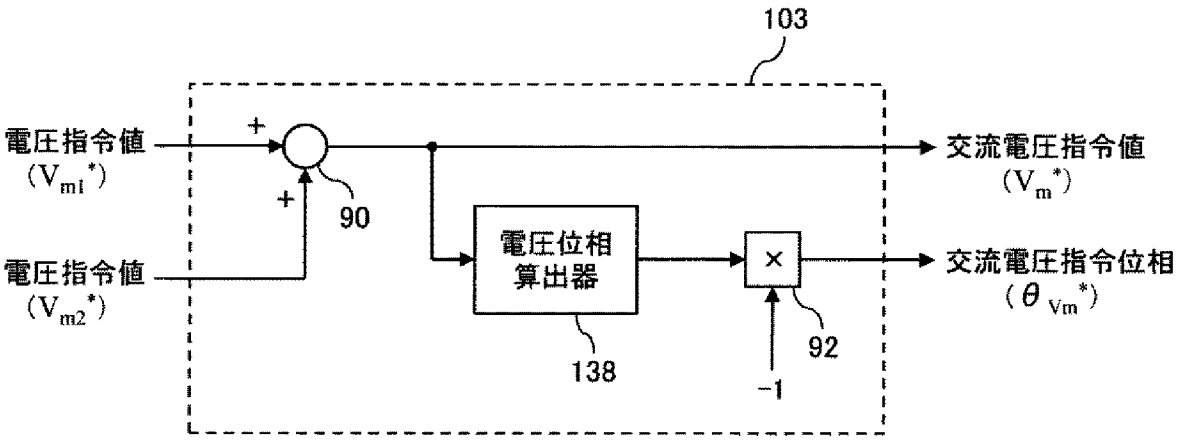
[図17]

図 17



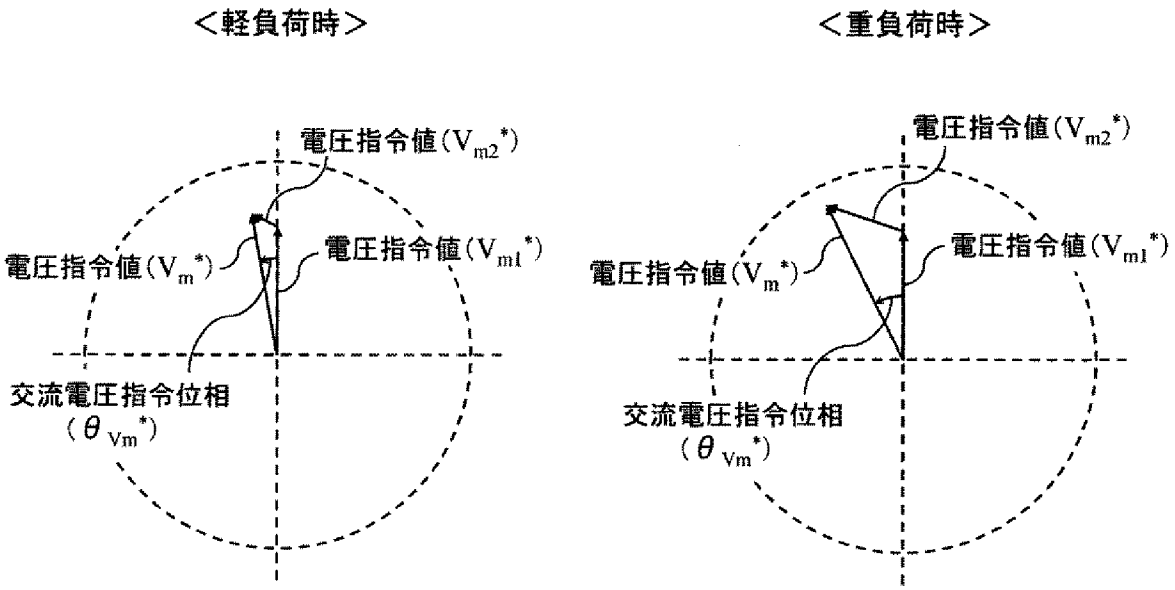
[図18]

図 18



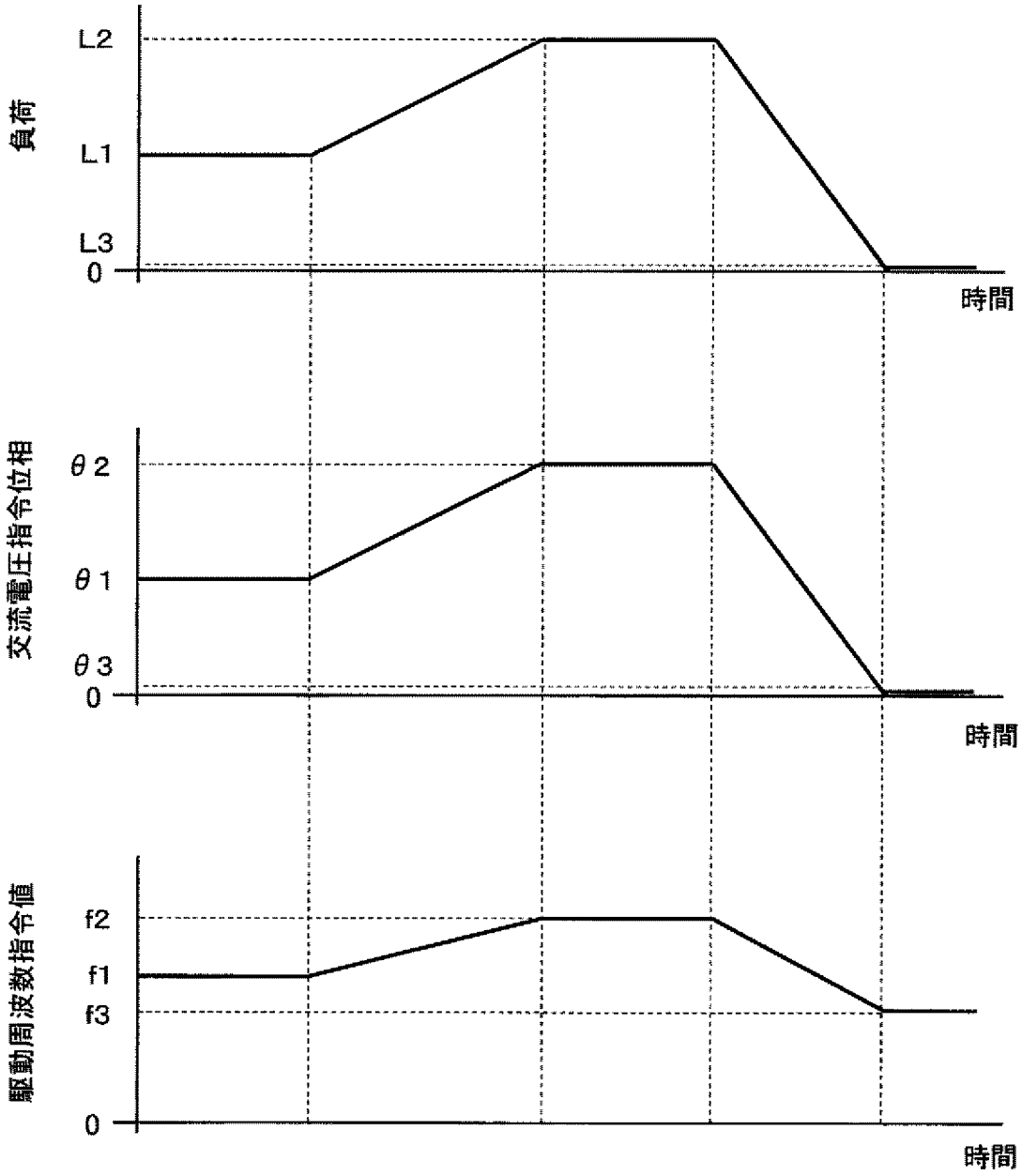
[図19]

図 19



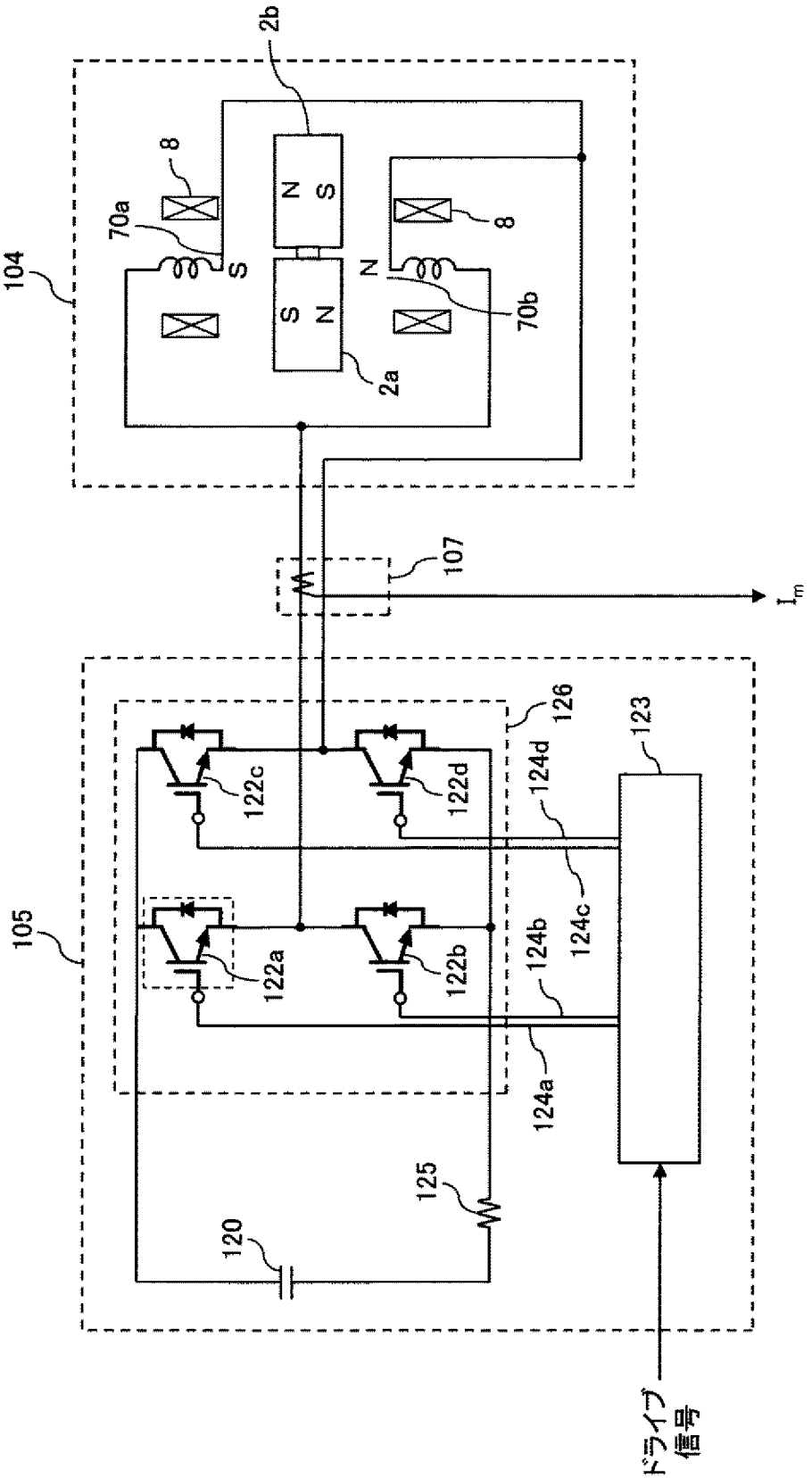
[図20]

図 20



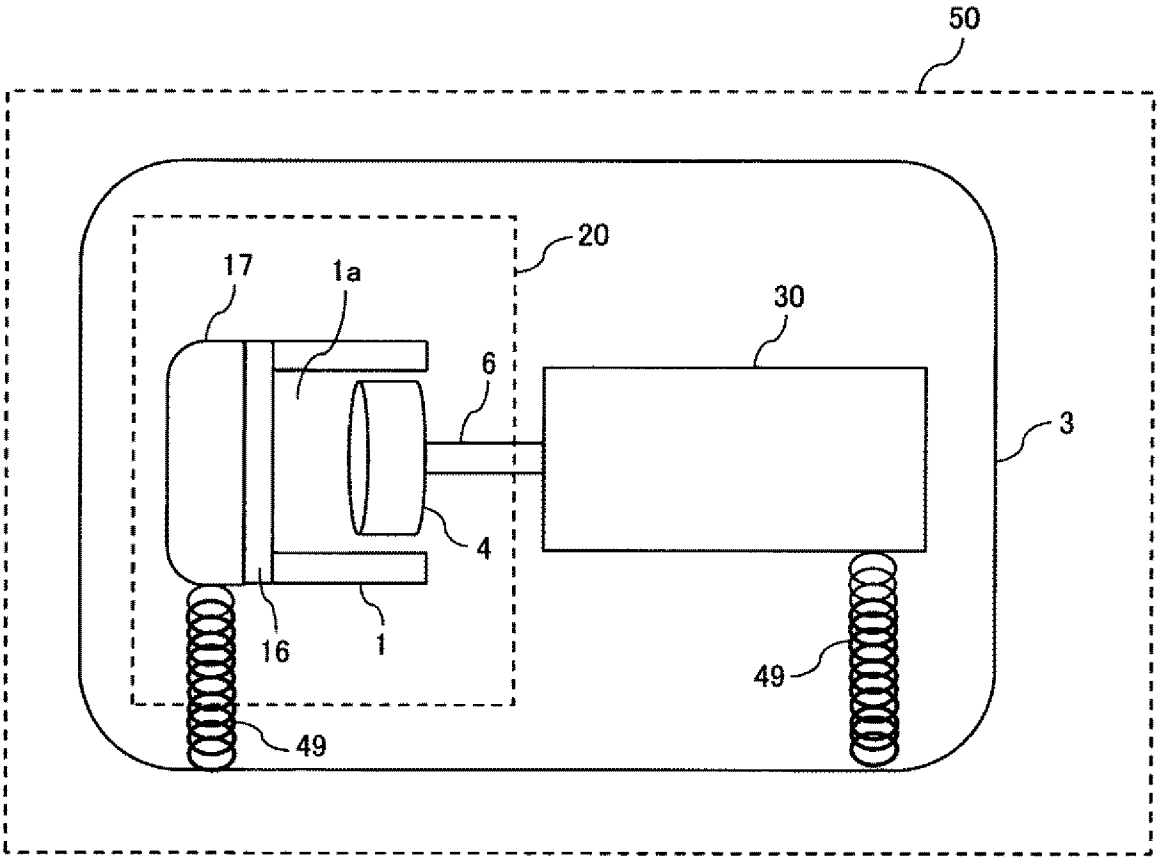
[図21]

図 21


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

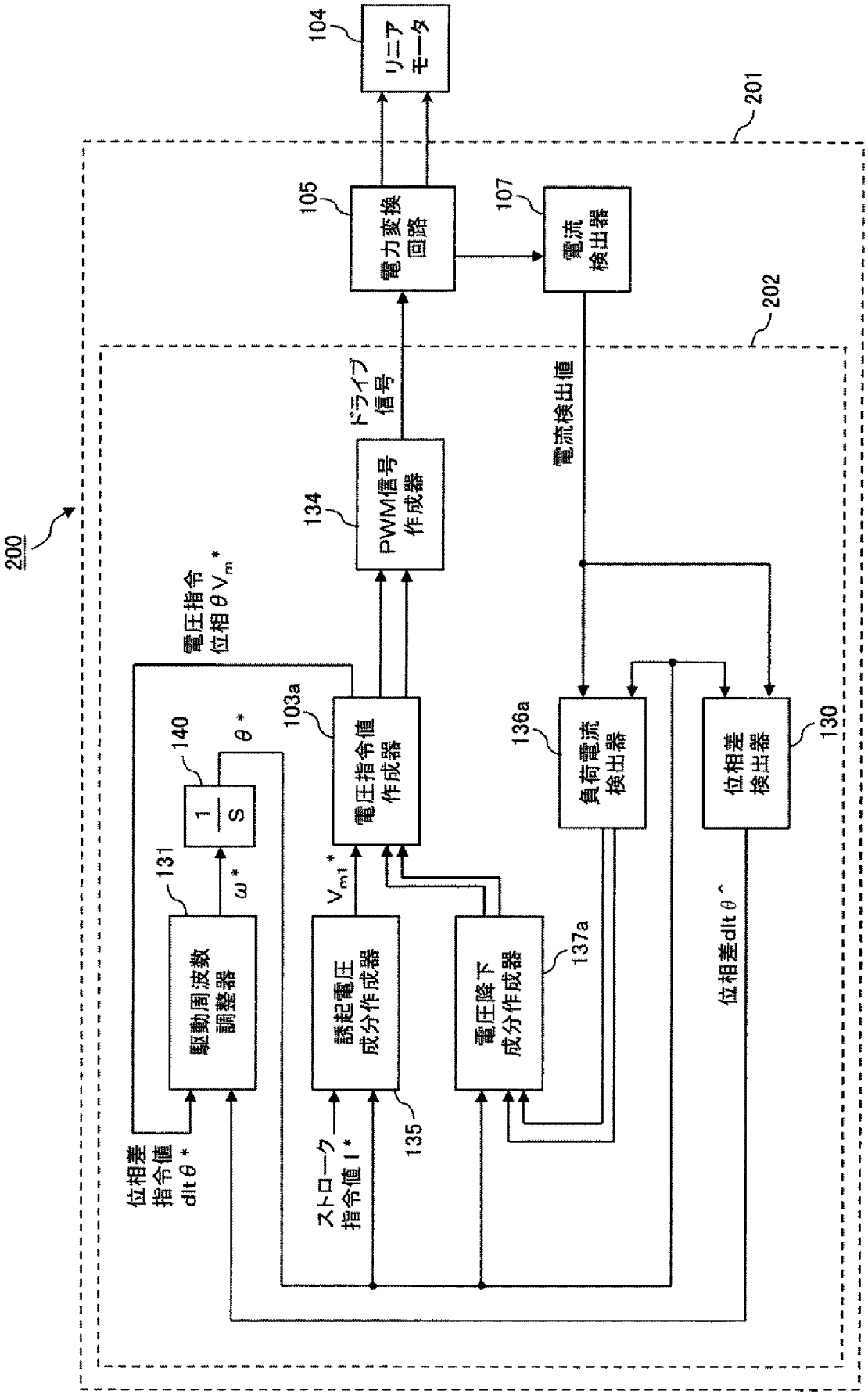
[図22]

図 22



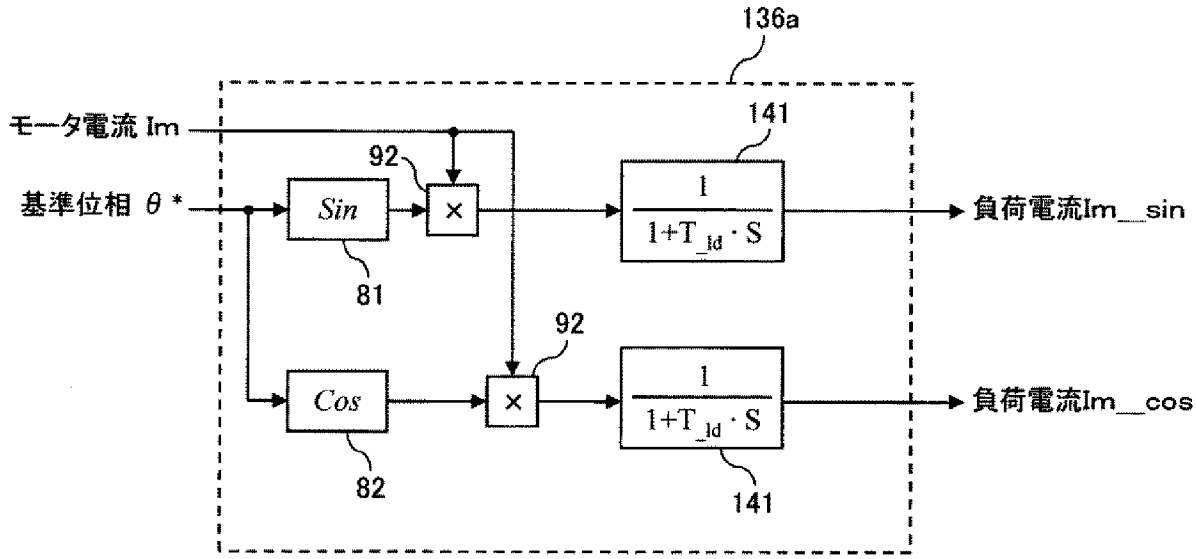
[図23]

図 23


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
電流検出値
134
PWM信号 作成器
電圧指令 位相θ Vm*
103a
電圧指令値 作成器
136a
負荷電流 検出器
130
位相差 検出器
140
θ*
1/S
131
ω*
Vm1*
駆動周波数 調整器
誘起電圧 成分作成器
電圧降下 成分作成器
137a
135
位相差 指令値 dltθ*
ストローク 指令値 l*
位相差 dltθ^

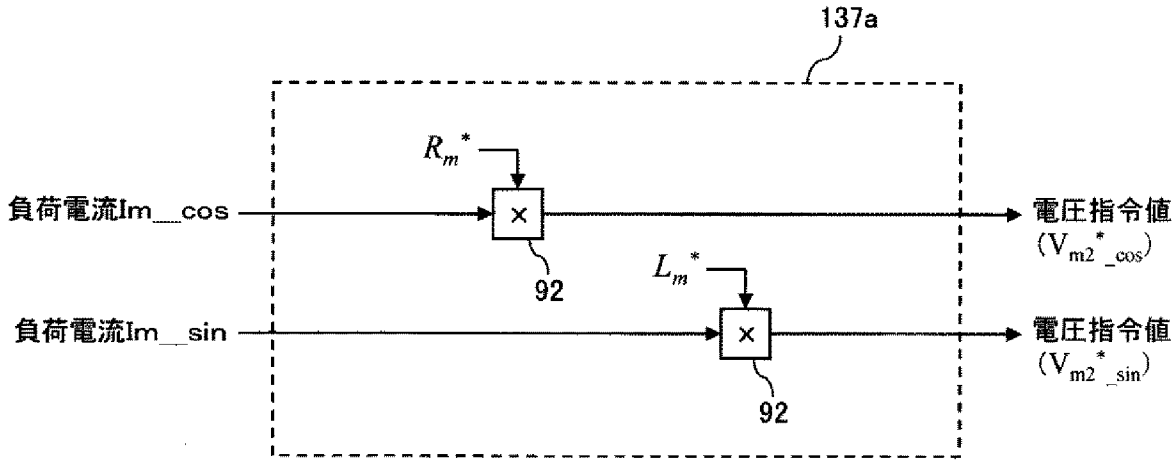
[図24]

図 24



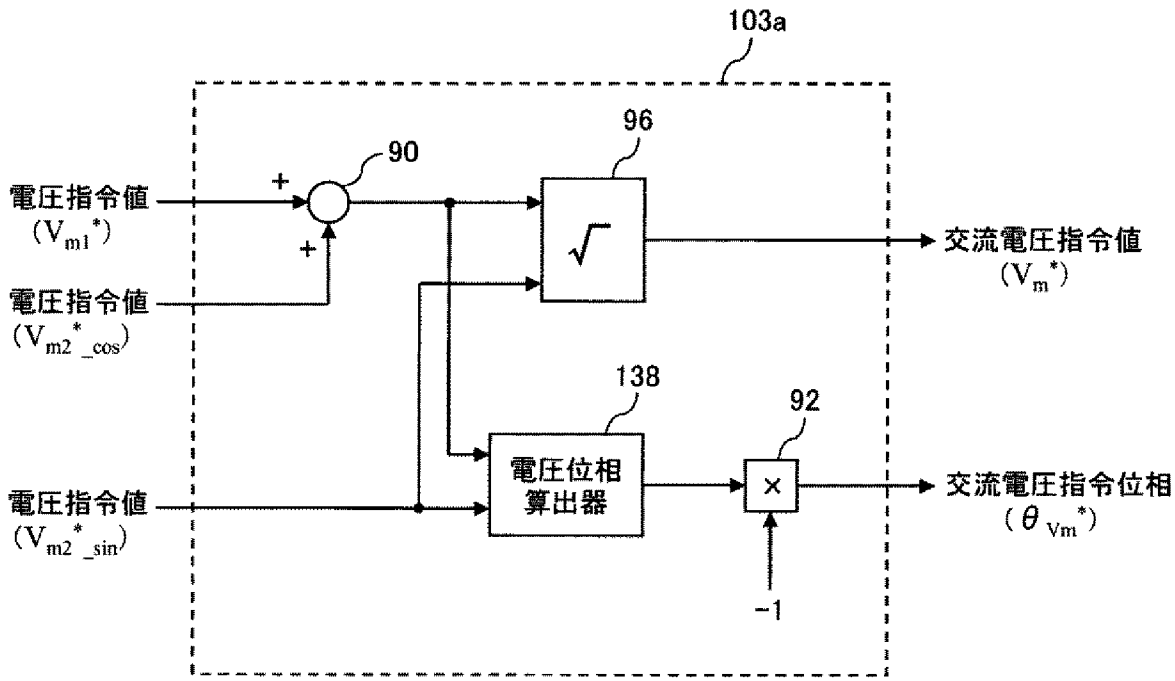
[図25]

図 25



[図26]

図 26


103a
96
90
電圧指令値
(V_{m1}^*)
+
+
電圧指令値
(V_{m2}^*_cos)
交流電圧指令値
(V_m^*)
138
92
電圧位相
算出器
電圧指令値
(V_{m2}^*_sin)
×
交流電圧指令位相
(θ_{Vm}^*)
-1

[図27]

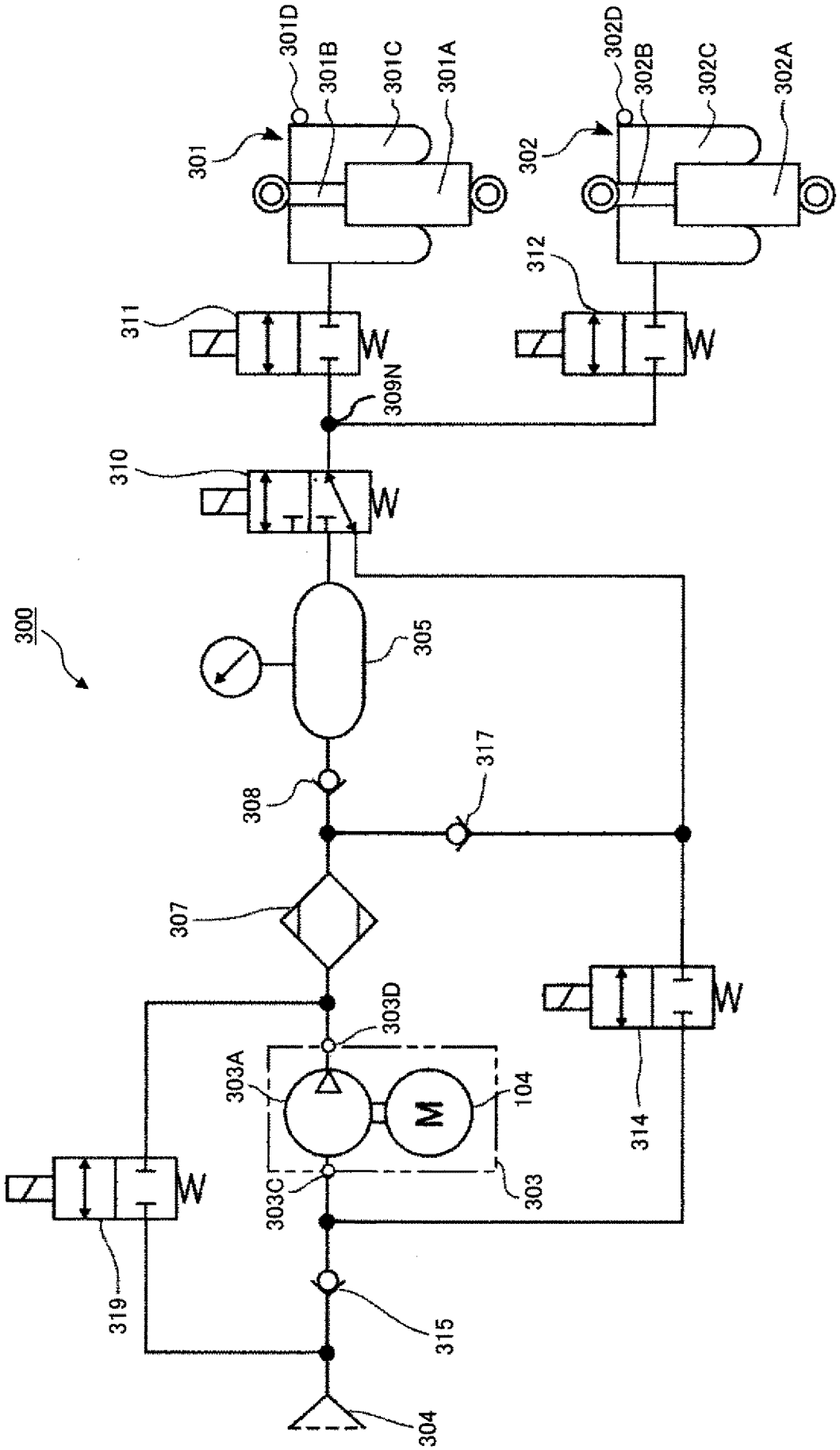
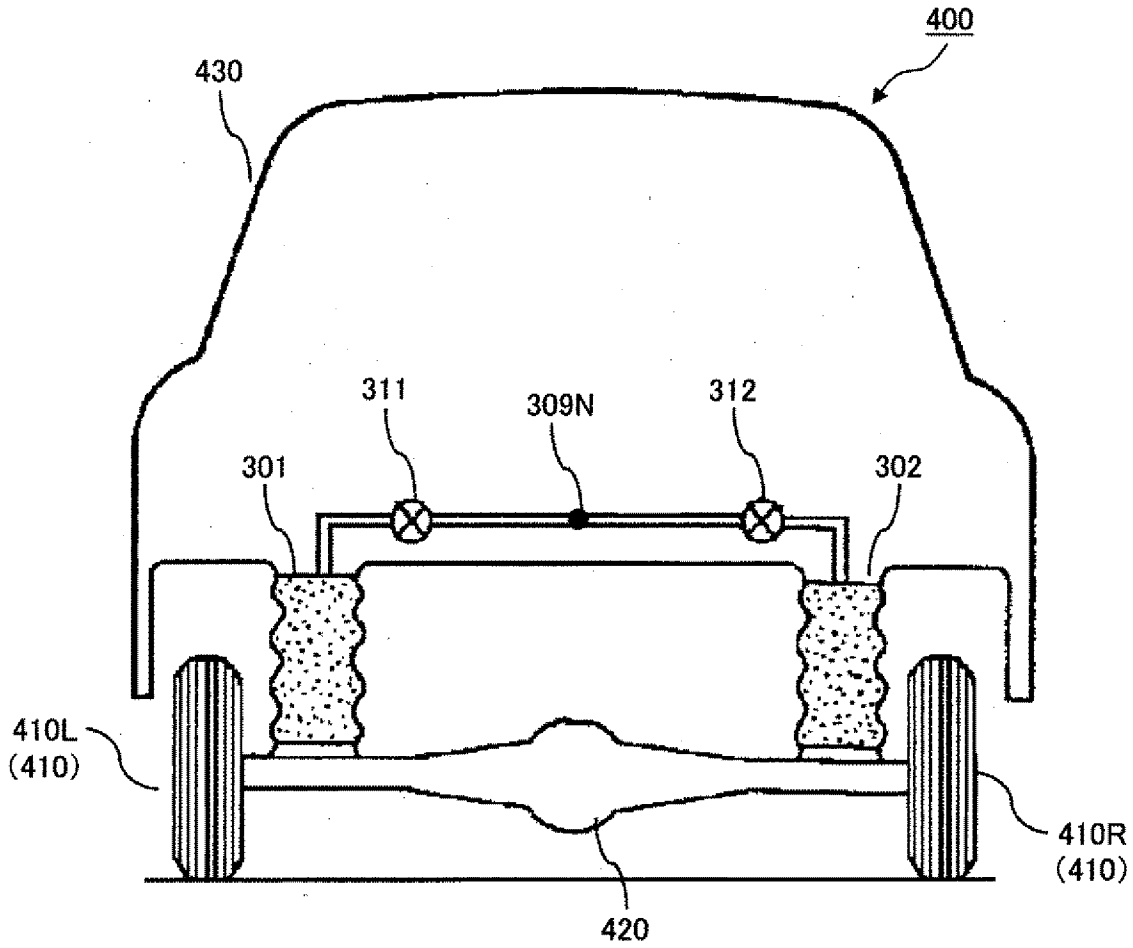

300
301
301A
301B
301C
301D
302
302A
302B
302C
302D
303
303A
303C
303D
304
305
307
308
309N
310
311
312
314
315
317
319
104
M
W

図 27

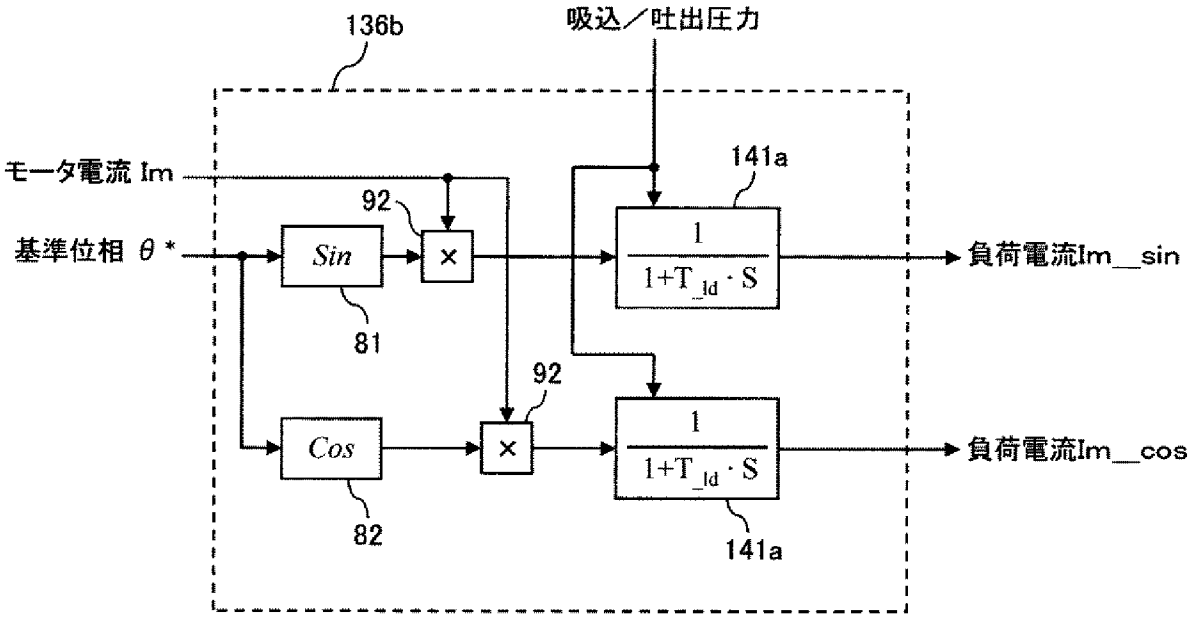
[図28]

図 28



[図29]

図 29


136b
吸込／吐出圧力
モータ電流 Im
基準位相 θ*
92
Sin
81
×
141a
1
1+T_ld・S
負荷電流Im_sin
92
Cos
82
×
1
1+T_ld・S
141a
負荷電流Im_cos

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/018667

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. H02P25/064(2016.01)i, F04B27/02(2006.01)i, F04B35/00(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, F04B27/02, F04B35/00

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.
X A	JP 9-112438 A (SANYO ELECTRIC CO., LTD.) 02 May 1997, paragraphs [0018]-[0045], fig. 1-12 (Family: none)	1-2 3-14
A	JP 2014-527593 A (WHIRLPOOL S.A.) 16 October 2014, paragraphs [0020]-[0060], fig. 1-9 & US 2014/0340003 A1, paragraphs [0060]-[0088], fig. 1-9	3-14
A	JP 11-351143 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 21 December 1999, paragraphs [0013]-[0022], fig. 1-7 (Family: none)	3-14

☐ 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
30 July 2018 (30.07.2018)	07 August 2018 (07.08.2018)

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／ＪＰ２０１８／０１８６６７

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, F04B27/02(2006.01)i, F04B35/00(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, F04B27/02, F04B35/00

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
X A	JP 9-112438 A（三洋電機株式会社）1997.05.02, 段落[0018]-[0045]、図 1-12（ファミリーなし）	1-2 3-14
A	JP 2014-527593 A（ワールプール・エシ・ア）2014.10.16, 段落[0020]-[0060]、図 1-9 & US 2014/0340003 A1, 段落[0060]-[0088]、図 1-9	3-14
A	JP 11-351143 A（松下電器産業株式会社）1999.12.21, 段落[0013]-[0022]、図 1-7（ファミリーなし）	3-14

☐　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
３０．０７．２０１８	０７．０８．２０１８

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　５５６１
樋口　幸太郎
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３５７