

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6558501号
(P6558501)

(45) 発行日 令和1年8月14日(2019.8.14)

(24) 登録日 令和1年7月26日(2019.7.26)

(51) Int.Cl.		F I			
F 1 6 C	32/04	(2006.01)	F 1 6 C	32/04	A
F 1 6 C	41/00	(2006.01)	F 1 6 C	41/00	
F 0 4 D	29/058	(2006.01)	F 0 4 D	29/058	
F 0 4 D	27/00	(2006.01)	F 0 4 D	27/00	Z

請求項の数 5 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2018-534210 (P2018-534210)	(73) 特許権者	000002853
(86) (22) 出願日	平成28年8月18日 (2016.8.18)		ダイキン工業株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/003771		大阪府大阪市北区中崎西2丁目4番12号
(87) 国際公開番号	W02018/033945		梅田センタービル
(87) 国際公開日	平成30年2月22日 (2018.2.22)	(74) 代理人	110001427
審査請求日	平成30年10月16日 (2018.10.16)		特許業務法人前田特許事務所
		(72) 発明者	阪脇 篤
			大阪府大阪市北区中崎西2丁目4番12号
			梅田センタービル ダイキン工業株式会
			社内
		(72) 発明者	平田 和也
			大阪府大阪市北区中崎西2丁目4番12号
			梅田センタービル ダイキン工業株式会
			社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気軸受装置、及びそれを用いた流体機械システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回転電気機械(4)に連結された回転軸(5)に電磁力を付与する複数の電磁石(51~54)を有した磁気軸受(21,22)と、

上記回転軸(5)の変位に応じた出力信号を出力する変位センサ(31,32)と、

上記電磁石(51~54)を制御する制御器(40)と、

を備え、

上記制御器(40)は、上記回転電気機械(4)の制御の為、又は上記回転電気機械(4)が用いられる流体機械システム(1)の制御の為、又は該流体機械システム(1)を用いた装置(100)の制御の為を検出され、且つ上記変位センサ(31,32)の周囲温度の変化に応じて生じた上記出力信号のレベル変化に相関する1つ又は複数の参照値(R)に基づいて該レベル変化を補償し、該レベル変化が補償された上記出力信号に基づいて上記制御を行うことを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項2】

請求項1において、

上記制御器(40)は、1つ又は複数のパラメータを用いた変換則によって上記出力信号を変換して上記補償を行うように構成されており、上記参照値(R)に応じて該パラメータを修正することを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項3】

請求項2において、

上記制御器(40)は、上記参照値(R)の変動幅が所定範囲内に収まっているか否かの判定結果を用いて、上記パラメータを修正することを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項4】

請求項1から請求項3の何れかにおいて、

上記流体機械システム(1)は、冷媒回路(110)に設けられた圧縮機であり、

上記回転電気機械(4)は、上記圧縮機(1)を駆動する電動機であり、

上記制御器(40)は、上記回転電気機械(4)の回転速度、上記回転電気機械(4)の制御装置が実装された制御基板(160a)において検出された温度、上記冷媒回路(110)における冷媒圧力、冷媒流量、及び上記回転電気機械(4)の電流値のうちの何れか1つの検出値、又は2つ以上の上記検出値を組み合わせて求めた値を、上記参照値(R)として用いることを特徴とする磁気軸受装置。

10

【請求項5】

請求項1から請求項4の何れかの磁気軸受装置(10)と、

上記回転電気機械(4)と、

上記回転電気機械(4)に回転軸(5)によって連結された流体機械(3)と、を備えたことを特徴とする流体機械システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気軸受装置及び磁気軸受を用いた流体機械システムに関するものである。

20

【背景技術】

【0002】

電動機等の回転電気機械を有したシステムでは、回転軸を非接触で支持するために、磁気軸受が用いられることがある。このような磁気軸受では、変位センサで検出した回転軸の変位に基づいて、電磁石の電磁力を制御して回転軸の位置制御を行うのが一般的である。

【0003】

この変位センサは、周囲の温度によって、いわゆるドリフトを出力に生じるので、正確な位置制御を行うにはドリフトの対策が必要となる。ドリフトの対策例としては、変位センサの近傍に温度センサを設け、その温度センサの出力を用いて変位センサに生じたドリフトを打ち消すようにしたものがある(例えば特許文献1を参照)。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平7-139546号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、回転軸の周囲は一般的にはスペースに余裕がなく、変位センサの近傍に温度センサを取り付けられない場合もある。また、温度センサを取り付けるスペースがあったとしても、温度センサの設置はコストアップに繋がる。

40

【0006】

本発明は上記の問題に着目してなされたものであり、磁気軸受装置において、変位センサの近傍に温度センサを設けることなく、変位センサ自身及び周囲温度の変化に応じて生じた出力信号のレベル変化を補償できるようにすることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の課題を解決するため、第1の態様は、回転電気機械(4)に連結された回転軸(5)に電磁力を付与する複数の電磁石(51~54)を有した磁気軸受(21,22)と、上記回転軸(5)の変位に応じた出力信号を出力する変位センサ(31,32)と、

50

上記電磁石（51～54）を制御する制御器（40）と、
を備え、

上記制御器（40）は、上記回転電気機械（4）の制御の為、又は上記回転電気機械（4）
が用いられる流体機械システム（1）の制御の為、又は該流体機械システム（1）を用いた
装置（100）の制御の為に検出され、且つ上記変位センサ（31,32）の周囲温度の変化に応
じて生じた上記出力信号のレベル変化に相関する1つ又は複数の参照値（R）に基づいて
該レベル変化を補償し、該レベル変化が補償された上記出力信号に基づいて上記制御を行
うことを特徴とする。

【0008】

この構成では、回転電気機械（4）の制御の為等の目的で検出された参照値（R）を用い
て変位センサ（31,32）の出力信号のレベル変化が補償される。

10

【0009】

また、第2の態様は、第1の態様において、

上記制御器（40）は、1つ又は複数のパラメータを用いた変換則によって上記出力信号
を変換して上記補償を行うように構成されており、上記参照値（R）に応じて該パラメー
タを修正することを特徴とする。

【0010】

この構成では、容易且つ正確に上記出力信号のレベル変化が補償される。

【0011】

また、第3の態様は、第2の態様において、

上記制御器（40）は、上記参照値（R）の変動幅が所定範囲内に収まっているか否かの
判定結果を用いて、上記パラメータを修正することを特徴とする。

20

【0012】

この構成では、例えば、磁気軸受装置を用いたシステムの状態が安定したか否かに応じ
て変換則のパラメータが修正される。

【0013】

また、第4の態様は、第1から第3の態様の何れかにおいて、

上記流体機械システム（1）は、冷媒回路（110）に設けられた圧縮機であり、

上記回転電気機械（4）は、上記圧縮機（1）を駆動する電動機であり、

上記制御器（40）は、上記回転電気機械（4）の回転速度、上記回転電気機械（4）の制
御装置が実装された制御基板（160a）において検出された温度、上記冷媒回路（110）に
おける冷媒圧力、冷媒流量、及び上記回転電気機械（4）の電流値のうちの何れか1つの
検出値、又は2つ以上の上記検出値を組み合わせて求めた値を、上記参照値（R）として
用いることを特徴とする。

30

【0014】

この構成では、冷媒回路を有したシステムに上記磁気軸受装置を用いた際に、第1から
第3の態様で得られる効果を発揮する。

【0015】

また、第5の態様は、第1から第4の態様の何れかの磁気軸受装置（10）と、

上記回転電気機械（4）と、

上記回転電気機械（4）に回転軸（5）によって連結された流体機械（3）と、
を備えたことを特徴とする流体機械システムである。

40

【0016】

この構成では、流体機械システムにおいて、上記磁気軸受装置で得られる効果を発揮す
る。

【発明の効果】

【0017】

上記の各態様によれば、磁気軸受装置において、変位センサの近傍に温度センサを設け
ることなく、変位センサ自身及び周囲温度の変化に応じて生じた出力信号のレベル変化を
補償できる。

50

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】図1は、本発明の実施形態に係る空気調和装置の配管系統図である。

【図2】図2は、本発明の実施形態1に係る圧縮機の構成例を示す。

【図3】図3は、ラジアル磁気軸受の構成例を示す横断面図である。

【図4】図4は、ラジアル磁気軸受の構成例を示す縦断面図である。

【図5】図5は、スラスト磁気軸受の構成例を示す平面図である。

【図6】図6は、スラスト磁気軸受の構成例を示す縦断面図である。

【図7】図7は、回転軸の変位量と変位センサの出力電圧との関係を例示する。

【図8】図8は、ラジアル制御部及びスラスト制御部で行われる出力信号の補償の概念を示す。 10

【図9】図9は、ラジアル変位センサにおけるドリフトを説明する図である。

【図10】図10は、ラジアル制御部で行われる出力信号の補償の説明するブロック図である。

【図11】図11は、温度センサの安定化指標の出力のタイミングチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。なお、以下の実施形態は、本質的に好ましい例示であって、本発明、その適用物、あるいはその用途の範囲を制限することを意図するものではない。 20

【0020】

《発明の実施形態1》

以下では、本発明に係る実施形態として、磁気軸受装置を有した圧縮機を空気調和装置に用いた例について説明する。

【0021】

全体構成

図1は、本発明の実施形態に係る空気調和装置(100)の配管系統図である。同図に示すように、空気調和装置(100)は、冷媒回路(110)を備えている。この冷媒回路(110)は、冷媒が充填された閉回路であり、圧縮機(1)、凝縮器(120)、膨張弁(130)、蒸発器(140)、及び電動機冷却制御装置(150)が設けられている。圧縮機(1)には、種々の圧縮機を採用できる。この例では、構造を後に詳述するターボ圧縮機を採用している。この圧縮機(1)は、電動機(4)で駆動されており、電動機(4)には電動機制御装置(160)から電力が供給される。 30

【0022】

凝縮器(120)及び蒸発器(140)は、例えば、クロスフィン型の熱交換器を採用できる。また、膨張弁(130)には、例えば電子膨張弁を用いる。なお、この冷媒回路(110)には、冷媒圧力を検出するセンサ、冷媒温度を検出するセンサが設けられている(何れも図示を省略)。

【0023】

圧縮機 40

図2は、本発明の実施形態1に係る圧縮機(1)の構成例を示す。この圧縮機(1)は、いわゆるターボ圧縮機であり、本発明の流体機械システムの一例である。図2に示すように、圧縮機(1)は、ケーシング(2)と、圧縮機構(3)と、電動機(4)と、回転軸(5)と、ラジアルタッチダウン軸受(6)と、スラストタッチダウン軸受(7)と、磁気軸受装置(10)とを備えている。

【0024】

- ケーシング -

ケーシング(2)は、両端が閉塞された円筒状に形成され、円筒軸線が水平向きとなるように配置されている。ケーシング(2)内の空間は、壁部(2a)によって区画され、壁部(2a)よりも右側の空間が圧縮機構(3)を収容する圧縮機構室(S1)を構成し、壁部 50

(2a) よりも左側の空間が電動機(4)を收容する電動機室(S2)を構成している。そして、ケーシング(2)内を軸方向に延びる回転軸(5)が圧縮機構(3)と電動機(4)とを連結している。

【0025】

- 圧縮機構 -

圧縮機構(3)は、流体(この例では冷媒)を圧縮するように構成されている。圧縮機構(3)は、本発明の流体機械の一例である。この例では、圧縮機構(3)は、羽根車(3a)と、インレットガイドベーン(3b)とを備えている。羽根車(3a)は、複数の羽根によって外形が略円錐形状となるように形成され、回転軸(5)の一端に固定されている。また、インレットガイドベーン(3b)は、流体(冷媒)の吸入口に設けられ、吸入量の制御を行う弁である。

10

【0026】

- 電動機 -

電動機(4)は、回転軸(5)を回転駆動するように構成されている。この例では、電動機(4)は、固定子(4a)と回転子(4b)とを有している。固定子(4a)は、円筒状に形成されてケーシング(2)内に固定されている。回転子(4b)は、円柱状に形成され、固定子(4a)の内周に回転可能に設置されている。また、回転子(4b)の中心部に軸孔が形成され、その軸孔に回転軸(5)が固定されている。

【0027】

- 電動機制御装置 -

電動機制御装置(160)は、電動機(4)に供給する電力を制御することによって、電動機(4)の発停、回転速度を制御する。この例では、電動機制御装置(160)は、コンバータ回路、インバータ回路、マイクロコンピュータを備え(何れも図示は省略)、それらが基板(以下、制御基板(160a))上に実装されている。マイクロコンピュータは、インバータ回路が有するスイッチング素子のスイッチング動作を制御する。そのため、マイクロコンピュータは、電動機(4)の回転速度や電動機(4)の電流値の情報が入力されている。つまり、この空気調和装置(100)では、マイクロコンピュータを介して、電動機(4)の回転速度や電動機(4)の電流値を取得できる。また、制御基板(160a)には、スイッチング素子などの保護の目的で温度センサ(図示を省略)が設けられており、マイクロコンピュータは、インバータ回路の制御の際に、その温度センサの検出値を利用する。そのため、空気調和装置(100)では、マイクロコンピュータを介して、制御基板(160a)において検出された温度情報を取得できる。

20

30

【0028】

- 電動機冷却制御装置 -

この圧縮機(1)では、凝縮器(120)内の冷媒を電動機(4)の内部に流すことで電動機(4)を冷却している。この例では、電動機(4)は、電動の開閉弁(150a)を介して凝縮器(120)に配管接続されている。また、電動機(4)は、蒸発器(140)とも配管(以下、戻し配管)で接続されており、電動機(4)内を流通して電動機(4)を冷却した冷媒が蒸発器(140)に戻されている。上記戻し配管の途中には温度センサ(150b)が設けられている。電動機冷却制御装置(150)は、温度センサ(150b)の検出値に応じて、開閉弁(150a)を制御し、電動機(4)に流入する冷媒の流量を制御する。それにより、この冷媒回路(110)では、電動機(4)の温度を所定温度範囲に維持することができる。

40

【0029】

- タッチダウン軸受 -

この圧縮機(1)にはラジアルタッチダウン軸受(6)及びスラストタッチダウン軸受(7)の2種類のタッチダウン軸受がある。ラジアルタッチダウン軸受(6)及びスラストタッチダウン軸受(7)は、磁気軸受装置(10)が非通電であるとき(すなわち、回転軸(5)が浮上していないとき)に回転軸(5)を支持するように構成されている。

【0030】

- 磁気軸受装置 -

50

磁気軸受装置(10)は、1つまたは複数(この例では、3つ)の磁気軸受と、1つまたは複数(この例では、5つ)の変位センサ(31,32)と、制御器(40)とを備えている。この磁気軸受装置(10)が備える磁気軸受は、被支持体(例えば回転軸(5)の被支持部)を挟んで互いに対向する電磁石対を有し、電磁石対の合成電磁力(F)により被支持体を非接触に支持するように構成されている。磁気軸受では、電磁石対に流れる電流対を制御することにより、その電磁石対の合成電磁力(F)を制御してその電磁石対の対向方向における被支持体の位置を制御することができる。そして、この例では、磁気軸受装置(10)は、上記磁気軸受として、2つのラジアル磁気軸受(21)と、1つのスラスト磁気軸受(22)とを備えている。

【0031】

- ラジアル磁気軸受 -

図3は、ラジアル磁気軸受(21)の構成例を示す横断面図である。また、図4は、ラジアル磁気軸受(21)の構成例を示す縦断面図である。図3および図4に示すように、ラジアル磁気軸受(21)は、第1~第4電磁石(51~54)を有し、ヘテロポーラ型のラジアル磁気軸受を構成している。第1および第2電磁石(51,52)は、回転軸(5)の被支持部(軸部)を挟んで互いに対向し、第1および第2電磁石(51,52)の合成電磁力(F)により回転軸(5)の被支持部を非接触に支持する。第3および第4電磁石(53,54)は、回転軸(5)の被支持部(軸部)を挟んで互いに対向し、第3および第4電磁石(53,54)の合成電磁力(F)により回転軸(5)の被支持部を非接触に支持する。なお、第3および第4電磁石(53,54)の対向方向(図3では、右肩下がり方向)は、平面視において第1および第2電磁石(51,52)の対向方向(図3では、右肩上がり方向)と直交している。

【0032】

この例では、ラジアル磁気軸受(21)は、磁気軸受コア(61)と、8つのコイル(65)とを備えている。磁気軸受コア(61)は、例えば、複数の電磁鋼板が積層されて構成され、バックヨーク(62)と8つのティース(63)とを有している。バックヨーク(62)は、円筒状に形成されている。8つのティース(63)は、バックヨーク(62)の内周面に沿うように所定間隔(この例では、45°間隔)で周方向に配列され、それぞれがバックヨーク(62)の内周面から径方向内方へ向けて突出し、それぞれの内周面(突端面)が回転軸(5)の被支持部の外周面と所定のギャップを隔てて対向する。

【0033】

8つのコイル(65)は、磁気軸受コア(61)の8つのティース(63)にそれぞれ巻回されている。これにより、この例では、8つの電磁石部(第1~第8電磁石部(71~78))が構成されている。具体的には、第1電磁石部(71)と第2電磁石部(72)と第7電磁石部(77)と第8電磁石部(78)と第3電磁石部(73)と第4電磁石部(74)と第5電磁石部(75)と第6電磁石部(76)とが図3における時計回り方向に順に配列されている。

【0034】

なお、コイル(65)の巻回方向およびコイル(65)に流れる電流の向きは、第1~第4電磁石(51~54)の各々に吸引力(すなわち、回転軸(5)の被支持部(軸部)を引き寄せる方向に作用する電磁力)が発生するように設定されている。具体的には、コイル(65)の巻回方向およびコイル(65)に流れる電流の向きは、図3に示した矢印の方向に磁束が発生するように設定されている。

【0035】

- スラスト磁気軸受 -

図5は、スラスト磁気軸受(22)の構成例を示す平面図である。また、図6は、スラスト磁気軸受(22)の構成例を示す縦断面図である。図5および図6に示すように、スラスト磁気軸受(22)は、第1および第2電磁石(51,52)を有している。そして、回転軸(5)には、その他端部(羽根車(3a)が固定された一端部とは反対側の端部)に円盤状の部分(以下、円盤部(5a))がある。そして、第1および第2電磁石(51,52)は、回転軸(5)の被支持部である円盤部(5a)を挟んで互いに対向し、第1および第2電磁石(51,52)の合成電磁力(F)により回転軸(5)の被支持部(円盤部(5a))を非接触に支持す

10

20

30

40

50

る。

【0036】

具体的には、この例では、スラスト磁気軸受(22)は、2つの磁気軸受コア(61)と、2つのコイル(65)とを備えている。2つの磁気軸受コア(61)は、それぞれが円環状に形成され、回転軸(5)の被支持部(円盤部(5a))の軸方向両側に所定のギャップを隔てて配置されている。また、磁気軸受コア(61)の対向面には、円周溝が全周に亘って形成されている。2つのコイル(65)は、2つの磁気軸受コア(61)の円周溝にそれぞれ収容されている。これにより、この例では、2つの電磁石(第1電磁石(51)と第2電磁石(52))が構成されている。そして、第1および第2電磁石(51,52)に流れる電流を制御することにより、第1および第2電磁石(51,52)の合成電磁力(F)を制御すれば、第1および第2電磁石(51,52)の対向方向(すなわち、軸方向、図6では、左右方向)における回転軸(5)の被支持部(円盤部(5a))の位置を制御することができる。

10

【0037】

なお、コイル(65)の巻回方向およびコイル(65)に流れる電流の向きは、第1および第2電磁石(51,52)の各々に吸引力(すなわち、回転軸(5)の被支持部(円盤部(5a))を引き寄せる方向に作用する電磁力)が発生するように設定されている。具体的には、コイル(65)の巻回方向およびコイル(65)に流れる電流の向きは、図6に示した矢印の方向に磁束が発生するように設定されている。

【0038】

- 変位センサ -

図2に示すように、この圧縮機(1)には、ラジアル変位センサ(31)とスラスト変位センサ(32)の2種類の変位センサが設けられている。この例では、ラジアル変位センサ(31)及びスラスト変位センサ(32)は、何れも渦電流式の変位センサである。これらの変位センサ(31,32)は、被支持体(この例では、回転軸(5)の被支持部)を挟んで互に対向する電磁石対(例えば、第1および第2電磁石(51,52)の組)に対応して設けられ、その電磁石対の対向方向における、中央位置(変位の基準位置であり、例えば、第1電磁石(51)と第2電磁石(52)の間の中央位置)に対する被支持体の変位量()を検出するように構成されている。

20

【0039】

- ラジアル変位センサ(31) -

この例では、ラジアル変位センサ(31)は、各ラジアル磁気軸受(21)に2つずつ設けられている。つまり、圧縮機(1)には、4つのラジアル変位センサ(31)がある。これらのラジアル変位センサ(31)は、回転軸(5)における被支持部の中央位置に対する変位量()を検出するものであり、各ラジアル磁気軸受(21)では、一方のラジアル変位センサ(31)が、第1電磁石(51)と第2電磁石(52)の対向方向(以下、X方向)を検出する。X方向は、ラジアル磁気軸受(21)の径方向であって、図3では、右肩上がり方向である。また、もう一方のラジアル変位センサ(31)は、第3電磁石(53)と第4電磁石(54)の対向方向(すなわち、X方向と直交する径方向(以下、Y方向と呼ぶ)であり、図3では、右肩下がり方向)における変位量()を検出する。

30

【0040】

- スラスト変位センサ(32) -

スラスト変位センサ(32)は、圧縮機(1)に1つのみ設けられている。このスラスト変位センサ(32)は、スラスト磁気軸受(22)における第1電磁石(51)と第2電磁石(52)の対向方向(すなわち、回転軸(5)における軸方向(以下、Z方向と呼ぶ)であり、図6では、左右方向)の変位量()を検出するものである。具体的にスラスト変位センサ(32)は、回転軸(5)の被支持部(円盤部(5a))の、中央位置に対する変位量()を検出する。

40

【0041】

制御器

制御器(40)は、被支持体(この例では、回転軸(5)の被支持部)が非接触に支持さ

50

れるように、1つまたは複数の磁気軸受(21,22)を制御する。具体的は、制御器(40)は、各磁気軸受(21,22)の電磁力を制御することによって、回転軸(5)の浮上制御動作を行う。この例では、制御器(40)は、2つのラジアル磁気軸受(21)の浮上制御動作を行うラジアル制御部(41)と、スラスト磁気軸受(22)の浮上制御動作を行うスラスト制御部(42)とを含んでいる。なお、制御器(40)は、具体的には、マイクロコンピュータとそれを動作させるためのソフトウェアを格納したメモリデバイス等を用いて構成することができる。

【0042】

- ラジアル制御部(41) -

ラジアル制御部(41)は、X方向及びY方向のそれぞれにおける回転軸(5)の位置制御を行うことによって上記浮上制御を行う。具体的に、ラジアル制御部(41)は、浮上制御動作において、X方向及びY方向の各方向について、回転軸(5)の変位量()と、予め定められた位置指令値(*)との差分値(e)がゼロに収束するように、第1~第4電磁石(51~54)を構成するそれぞれのコイル(65)に電流(制御電流(id))を流す。

【0043】

この浮上制御に際して、回転軸(5)の変位量()として、ラジアル変位センサ(31)の出力信号をそのまま用いることが考えられるが、ラジアル変位センサ(31)の出力信号には、いわゆるドリフトが含まれている可能性がある。ここでのドリフトとは、ラジアル変位センサ(31)の周囲温度の変化に応じて、ラジアル変位センサ(31)において生じた出力信号のレベル変化である。ラジアル変位センサ(31)においてこのようなドリフトが起こると、誤差を含んだ変位量()に基づいて浮上制御を行うことになるので、正確な浮上制御を行えない。そこで、ラジアル制御部(41)では、ラジアル変位センサ(31)の出力信号における上記レベル変化を補償し、レベル変化が補償された出力信号に基づいて回転軸(5)の位置の制御を行うようになっている。このレベル変化の補償については、後に詳述する。

【0044】

- スラスト制御部(42) -

スラスト制御部(42)は、Z方向における回転軸(5)の位置制御を行う。具体的に、スラスト制御部(42)は、浮上制御動作において、Z方向について、円盤部(5a)の変位量()と、予め定められた位置指令値(*)との差分値(e)がゼロに収束するように、第1および第2電磁石(51,52)を構成するそれぞれのコイル(65)に電流(制御電流(id))を流す。

【0045】

この浮上制御に際して、円盤部(5a)の変位量()として、スラスト変位センサ(32)の出力信号をそのまま用いることが考えられるが、スラスト変位センサ(32)の出力信号にドリフトが含まれている可能性がある。スラスト変位センサ(32)においてこのようなドリフトが起こると、誤差を含んだ変位量()に基づいて浮上制御を行うことになるので、正確な浮上制御を行えない。そこで、スラスト制御部(42)においても、スラスト変位センサ(32)の出力信号における上記レベル変化を補償し、レベル変化が補償された出力信号に基づいて円盤部(5a)の位置制御、すなわち回転軸(5)の位置の制御を行う。このレベル変化の補償については、後に詳述する。

【0046】

出力信号の補償

- 補償の概念 -

図7は、回転軸(5)の変位量()と変位センサ(31,32)の出力電圧(V)との関係(以下、電圧特性)を例示している。電圧特性は、図7のような直線や或いは曲線のグラフで表せる(以下、電圧特性を示す直線や曲線を電圧特性曲線と呼ぶ)。また、図8は、ラジアル制御部(41)及びスラスト制御部(42)で行われる出力信号の補償の概念を示す。図8に示すように、これらの制御部(41,42)では、1つ又は複数の変換パラメータ(C)を用いて表された変換則によって上記出力信号を変換して上記補償を行う。ここで、変

10

20

30

40

50

換則とは、出力電圧(V)を変位量()に変換する法則であり、制御部(41,42)では、電圧特性曲線を1つ又は複数の変換パラメータ(C)を係数とした関数によって表し、その関数によって変位センサ(31,32)の出力信号(出力電圧(V))を変位量()に変換する。

【0047】

一般的に、変位センサ(31,32)の電圧特性曲線は、該変位センサ(31,32)の周囲温度に応じて変化する。すなわち、変位センサ(31,32)の出力には温度依存性がある。例えば、電圧特性曲線が一次直線で表せるとすれば、変換パラメータ(C)としては、温度の関数として表されたその直線の傾きと、その直線の切片とを用意しておけば、変位センサ(31,32)の出力には温度依存性があっても正確な変位量()を求めることができる。

10

【0048】

これを実現するため、本実施形態の制御部(41,42)では、空気調和装置(100)内で得られる参照値(R)を用いて変換パラメータ(C)を求めている。ここで、参照値(R)とは、電動機(4)の制御の為、又は電動機(4)が用いられる圧縮機(1)の制御の為、又は該圧縮機(1)を用いた空気調和装置(100)の制御の為に検出されるものであって、且つ変位センサ(31,32)の周囲温度の変化に応じて生じた、変位センサ(31,32)の出力信号のレベル変化に相関する検出値である。このような参照値(R)は、磁気軸受(21,22)を有した装置における温度、圧力、電圧など種々のものを採用できる(具体例は後述する)。そして、変換パラメータ(C)は、1つの参照値(R)から求めても良いし、いくつかの参照値(R)を用いて1つの変換パラメータ(C)を算出してもよい。例えば、冷媒の流量(体積)や圧力を組み合わせて温度を算出したりするのである。

20

【0049】

本実施形態では、ラジアル制御部(41)及びスラスト制御部(42)のそれぞれにおいて、上記概念に基づく出力信号の補償を行う。以下では、代表でラジアル制御部(41)を例として、本実施形態で行われる出力信号の補償について、説明する。

【0050】

- ラジアル制御部(41)における補償 -

図9は、ラジアル変位センサ(31)におけるドリフトを説明する図である。このラジアル変位センサ(31)は、電圧特性が直線グラフで表せ、該ラジアル変位センサ(31)の周囲温度に応じて、その直線の切片が変化し、傾きは変化していない。ここでは、説明の便宜のため、この切片の変化量をドリフト量(D)と呼ぶことにする。

30

【0051】

そして、図10は、ラジアル制御部(41)で行われる出力信号の補償の説明するブロック図である。ラジアル制御部(41)では、参照値(R)と変換パラメータ(C)とのペアを複数組記憶した変換テーブル(図中では温度ドリフトマップと表記)を格納しておく。

【0052】

参照値(R)としては、一例として「冷媒温度」を採用することが考えられる。一般的に、「冷媒温度」は、空気調和装置(100)の制御において必要な情報であり、冷媒回路(110)には、「冷媒温度」を検出する温度センサが設けられる。例えば、本実施形態では、電動機(4)の冷却に用いる冷媒の温度を検出する温度センサ(150b)を利用することができる。圧縮機(1)では、電動機(4)の回転速度が比較的大きい場合には、回転軸(5)の温度が上昇し、更にはラジアル変位センサ(31)の温度も上昇する傾向にある。また、電動機(4)の回転速度が比較的大きい場合には、電動機(4)の冷却に利用された冷媒の温度も高くなり、その結果、温度センサ(150b)も上昇する傾向にある。すなわち、温度センサ(150b)の出力電圧値は、ラジアル変位センサ(31)のドリフト量(D)に相関することになる。そこで、ラジアル制御部(41)では、温度センサ(150b)の検出値とその検出値に対応したドリフト量(D)とのペアを複数組み格納した変換テーブルをメモリデバイスに格納しておく。図10の例では、基準の参照値(R)における切片と、テーブル化する参照値(R)における切片との差をドリフト量(D)として、テーブル化する参照値(R)とドリフト量(D)とのペアを、想定できる周囲温度の範囲に応じて、制御

40

50

器(40)の上記メモリデバイスに所定数格納する。図10の例では、参照値(R) = 23の時のドリフト量(D)を基準値(= 0 mm)としている。

【0053】

そして、ラジアル磁気軸受(21)の運転中は、ラジアル制御部(41)は、ラジアル変位センサ(31)の出力電圧(V)を検出した際に上記補償を行う。詳しくは、ラジアル制御部(41)は、変換テーブルを利用して、参照値(R)(すなわち温度センサ(150b)の検出値)に対応するドリフト量(D)を求める。この際、温度センサ(150b)による検出値が変換テーブル内に存在しない場合には、変換テーブル内の値を用いて補間するなどして、対応するドリフト量(D)を求めればよい。つまり、ドリフト量(D)を変換テーブルから求めることで変換則で使用するパラメータを修正するのである。

10

【0054】

このようにして、ドリフト量(D)が求めると、基準温度におけるラジアル変位センサ(31)の電圧特性曲線(以下、基準特性曲線)が既知であるので、現在のラジアル変位センサ(31)に対応した変位量()を求めることができる。現在の電圧特性は、図9に示すように、基準特性曲線に対して切片がずれているので、ラジアル制御部(41)は、基準特性曲線に基づく変位量()を算出し(図10では一次位置検出値)、その算出値に対してドリフト量(D)を加算している。このラジアル磁気軸受(21)には2つのラジアル変位センサ(31)が設けられているので、ラジアル制御部(41)は、それぞれのラジアル変位センサ(31)の出力信号の補償を行っている。これにより、温度の影響が補償された変位量()をX方向及びY方向のそれぞれについて求めることができる。

20

【0055】

なお、上記電圧特性を示す直線の傾きも上記周囲温度に依存する場合は、変換テーブルには、周囲温度と、該周囲温度に対応した切片の変化量と、該周囲温度に対応した傾きの変化量との3つのデータを一組として変換テーブルに格納することになる。

【0056】

また、2つのラジアル変位センサ(31)で1つの変換テーブルを共用してもよいし、ラジアル変位センサ(31)毎に別個の変換テーブルを用意しておいてもよい。

【0057】

本実施形態における効果

以上のように、本実施形態によれば、磁気軸受装置において、変位センサの近傍に温度センサを設けることなく、変位センサ自身及びその周囲温度の変化に応じて生じた出力信号のレベル変化(上記の例ではドリフト)を補償できる。

30

【0058】

なお、変換則で使用するパラメータの修正に利用できる冷媒温度は、電動機冷却制御装置(150)に係る冷媒の温度には限定されない。

【0059】

《発明の実施形態2》

本発明の実施形態2では、不連続な値を採る変換パラメータ(C)を用いた例を説明する。本実施形態では、空気調和装置(100)の運転状態が安定したか否かの指標値(以下、安定化指標と呼ぶ)を変換パラメータ(C)として用いる。

40

【0060】

図11は、温度センサ(150b)の安定化指標の出力のタイミングチャートである。図11では、温度センサ(150b)の出力(T)を空気調和装置(100)の運転開始時点から示してある。本実施形態では、温度センサ(150b)の出力(T)の振幅が所定の閾値(Tt)以上の場合に安定化指標 = 0であり、閾値(Tt)よりも小さい場合に安定化指標 = 1である。図11の例では、時刻(t) = t1以降で振幅が閾値(Tt)よりも小さくなっている。そして、本実施形態の制御部(41,42)では、この安定化指標を変換パラメータ(C)として変換則に組み込んであり、該安定化指標に応じて変換則で使用するパラメータを修正するようになっている。

【0061】

50

例えば、空気調和装置（100）では、該空気調和装置（100）の運転状態が安定する前は、変位センサ（31,32）の周囲温度が比較的低い状態で安定し、該運転状態が安定化すると該周囲温度が比較的高い状態で安定する場合がある。このような場合には、安定化指標に応じて（ここでは安定化指標が0か1かに応じて）、変換則で使用するパラメータを修正することによって、温度の影響が補償された変位量（ ）を求めることができる。したがって、本実施形態でも、磁気軸受装置において、変位センサの近傍に温度センサを設けることなく、変位センサ自身及びその周囲温度の変化に応じて生じた出力信号のレベル変化を補償できる。

【0062】

《その他の実施形態》

なお、上記実施形態で説明した、変位センサの出力信号補償は、スラスト磁気軸受、或いはラジアル磁気軸受の一方のみを備えた装置にも適用できるし、両方を備えた装置において、何れか一方の磁気軸受に対してのみ適用してもよい。

【0063】

また、上記実施形態で説明した、変位センサの出力信号補償は、圧縮機の他に、発電機（例えば水力発電や風力発電）、ポンプ等の磁気軸受の制御に利用してもよい。

【0064】

また、出力電圧（V）を変位量（ ）に変換する変換則の中で、別の法則（サブ変換則と呼ぶ）を用いて新たなパラメータを求めるような場合には、参照値（R）に応じて、使用するサブ変換則を切り換えるようにしてもよい。サブ変換則の切り換えは、例えば、

【0065】

- サブ変換則の切り換え例 -

変換則： $z(x)=2y(x)$

$y(x)=ax+b$ （ $x > R0$ の場合）

$y(x)=ax^2$ （ $x \leq R0$ の場合）

ただし、R0は閾値であり、a、及びbは定数である。

【0066】

このように、本発明の「参照値（R）に応じて該パラメータを修正すること」は、この

【0067】

また、参照値（R）には種々の検出値を採用できる。具体的には、以下を例示できる。勿論、これらのいくつかを組み合わせると変換パラメータ（C）を求めてもよい。

【0068】

（1）回転電気機械（電動機）の回転速度

電動機（4）等の回転電気機械において回転速度が大きくなると変位センサ（31,32）の周囲温度が高くなり、回転速度が小さくなると該周囲温度が低くなる場合がある。このような場合には、回転電気機械の回転速度に応じて変換則で使用するパラメータを修正することができる。

【0069】

（2）回転電気機械の電流

回転電気機械に流れる電流が大きくなると変位センサ（31,32）の周囲温度が高くなり、電流が小さくなると該周囲温度が低くなる場合がある。このような場合には、回転電気機械の電流に応じて変換則で使用するパラメータを修正することができる。

【0070】

（3）冷媒の圧力、流量

空気調和装置（100）では、運転状態に応じて冷媒圧力が変化する。また、一般的に、空気調和装置（100）には冷媒圧力のセンサが設けられる。したがって、圧力センサの検出値が変位センサ（31,32）の周囲温度に相関する場合には、その検出値に応じて変換則

10

20

30

40

50

で使用するパラメータを修正することができる。

【0071】

また、空気調和装置(100)では、圧縮機(1)の回転速度などの情報を用いて冷媒の流量を算出できる。冷媒流量は変位センサ(31,32)の周囲温度に相関する場合があり、そのような場合には、冷媒流量に応じて変換則で使用するパラメータを修正することができる。

【0072】

(4) 制御基板における温度

制御基板(160a)には、スイッチング素子などの保護の目的で温度センサ(図示を省略)が設けられている。その温度センサが、例えば、インバータ回路が有するスイッチング素子の温度に相関している場合などには、その検出値は、変位センサ(31,32)の周囲温度に相関することが期待され、そのような場合には、その検出値に応じて変換則で使用するパラメータを修正することができる。

【0073】

(5) インレットガイドベーンの開度

レットガイドベーン(3b)の開度は、例えば流体の流量(上記の例では冷媒流量)によって制御される。つまり、インレットガイドベーン(3b)の開度は、流体の流量を反映している。したがって、流体の流量が変位センサ(31,32)の周囲温度に相関する装置では、インレットガイドベーン(3b)の開度に応じて変換則で使用するパラメータを修正することができる。

【0074】

《変位センサの応用》

上記のようにラジアル変位センサ(31)やスラスト変位センサ(32)の出力信号の補償が可能になると、回転軸(5)のダイナミックバランスの調整をより正確に行える。

【0075】

周知のダイナミックバランスの調整手法としては、いわゆる影響係数を求め、その影響係数に基づいて、必要なバランスウエイトの重量とバランスウエイトの位置とを決定する手法がある。この影響係数は、ダイナミックバランスを調整する回転体に固定された修正面に、試し錘を取り付けて、その回転体を所定の速度で回転させて、計測面にて計測される振れを元に算出するのが一般的である。しかしながら、高速回転が要求される回転体(例えば上記の回転軸(5))では、影響係数を計測する際に回転体を高速回転させる必要があるし、試し錘の取り付け作業も繁雑である。そこで、以下の例では、試し錘の取り付けも、回転軸(5)の高速回転も行うことなく影響係数を求める方法を例示する。なお、以下の例では、回転軸(5)に直交する2つの面において、いわゆる2面釣合わせを行うことを想定している。よって計測面、修正面はそれぞれ2つある。計測面は、ラジアル磁気軸受において、変位センサ(X方向及びY方向)が配置される、回転軸に直交する面である。修正面は各計測面の近くに固定される、回転軸に直交する面(図2では省略)である。

【0076】

影響係数の算出

影響係数(とする)は、磁気軸受と被支持体との間の動剛性の逆数(以下、動コンプライアンスと呼ぶ)であるGと、回転軸(5)の回転速度(周波数で表しとする)とを用いると次式で表せる。

$$j_i(\quad) = {}^2 G_{j_i}(\quad) \cdots \text{式(1)}$$

【0077】

上式から分かるように、周波数で回転軸(5)を運転している際の動コンプライアンス(G)を計測できれば、その場合の影響係数()を算出することができる。ここで、各変数の添え字jは、計測面を示している。この例では、1が羽根車側の計測面(以下、第1計測面)に対応し、2が羽根車とは反対側の計測面(以下、第2計測面)に対応するものとする。また、添え字iは、修正面を示している。この例では、1が羽根車側の修正

10

20

30

40

50

面（第1修正面）に対応し、2が羽根車とは反対側の計測面（第2修正面）対応しているものとする。例えば、 G_{11} （ ）は、回転軸（5）を周波数 で運転した場合における、第1修正面と第1計測面との間における動コンプライアンス（G）を意味する。

【0078】

そして、本実施形態では、電磁石（51～54）の電磁力によって回転軸（5）を加振し、その際の各ラジアル変位センサ（31）における変位量（ ）をサンプリングすることで電磁石から計測面への動コンプライアンス（G）（疑似動コンプライアンス（G'））を算出する。電磁石面（電磁石の配置される回転軸に直交する面）と修正面とは、軸方向の位置が異なるため、疑似動コンプライアンス（G'）は動コンプライアンス（G）とは異なるが、容易に変換可能である。この加振の制御は、本実施形態では、電磁石（51～54）の制御係を有したラジアル制御部（41）が行っている。

10

【0079】

具体的に、ラジアル制御部（41）は、まず、回転軸（5）を浮上させて静止させ、次に、一方のラジアル磁気軸受（21）によって、周波数 の加振力で回転軸（5）を加振させる。この例では、ラジアル制御部（41）は、始めに、第1ラジアル磁気軸受（21）によって、X方向に回転軸（5）を加振している。詳しくは、ラジアル制御部（41）は、X方向の電磁力を発生する第1および第2電磁石（51,52）に対する、支持力の指令値に、加振力に相当する指令値（以下、加振力指令値（Fe*））を重畳して新たな指令値を生成する。なお、加振力としては、例えば周波数 の正弦波とすることが考えられる。このようにして生成した新たな指令値に基づいて電磁石（51～54）に流す電流を制御すれば、回転軸（5）が加振されることになる。

20

【0080】

この場合、ラジアル磁気軸受（21）の制御系において、新たな指令値が入力されてから電磁石が支持力を発するまでの伝達特性が、周波数 においてゲイン0dB、位相0度であると仮定すると、加振力指令値（Fe*）に相当する力が回転軸（5）に加えられることになる。それぞれのラジアル変位センサ（31）の出力（ ）には、静止浮上させた際におけるノイズによる変動成分と、加振による変動成分とを含まれることになる。つまり、この例では、それぞれのラジアル変位センサ（31）の出力は、周波数 の正弦波成分を含んでいる。

30

【0081】

そして、ラジアル制御部（41）は、第1ラジアル磁気軸受（21）に対応したラジアル変位センサ（31）の出力（ ）、及び加振中の加振力指令値（Fe*）を、適宜、サンプリングしてフーリエ変換する。このフーリエ変換により、X方向の変位量（ ）に含まれる周波数 の成分や、加振力指令値（Fe*）に含まれる周波数 の成分を抽出できる。

【0082】

この例では、ラジアル変位センサ（31）の出力（ ）を加振力指令値（Fe*）で除算した値が疑似動コンプライアンス（G'）であるので、フーリエ変換の結果を用いると、周波数 における疑似動コンプライアンス（G'）を算出できる。具体的に、ラジアル制御部（41）は、X方向の変位量（ ）に含まれる周波数 の成分を、加振力指令値（Fe*）に含まれる周波数 の成分で除算して G'_{11} （ ）を求めている。同様に、ラジアル制御部（41）は、第2ラジアル磁気軸受（21）に対応したラジアル変位センサ（31）のX方向の変位量（ ）に含まれる周波数 の成分を、加振力指令値（Fe*）に含まれる周波数 の成分で除算して G'_{21} （ ）を求めている。

40

【0083】

更に、ラジアル制御部（41）は、第1ラジアル磁気軸受（21）によって、Y方向にも回転軸（5）を加振させる。この際、ラジアル制御部（41）は、加振中における加振力指令値（Fe*）、及びラジアル変位センサ（31）の出力（ ）を、適宜、サンプリングするとともに、Y方向加振時の G'_{11} （ ）、及び G'_{21} （ ）を算出する。そして、ラジアル制御部（41）は、X方向に加振して求めた G'_{11} （ ）とY方向に加振して求めた G'_{11} （ ）との平均値をこの装置における G'_{11} （ ）とし、X方向に加振して求

50

めた $G'_{21}(\quad)$ と Y 方向に加振して求めた $G'_{21}(\quad)$ との平均値をこの装置における $G'_{21}(\quad)$ としている。理論的には X 方向に加振した場合の動コンプライアンス (G) と Y 方向に加振した場合の動コンプライアンス (G) とは等しく、何れか一方の動コンプライアンス (G) を算出すればよいとも考えられるが、製造ばらつき等によって両者が等しくならない場合もあるので、この例では各方向の加振で得たデータを平均化している。

【0084】

更に、第2ラジアル磁気軸受(21)によって回転軸(5)を加振すれば、 $G'_{12}(\quad)$ 、及び $G'_{22}(\quad)$ を算出することができる。このように、疑似動コンプライアンス $G'_{11}(\quad)$ 、 $G'_{21}(\quad)$ 、 $G'_{12}(\quad)$ 、及び $G'_{22}(\quad)$ を求め、さらに力・モーメントのつり合いの関係から動コンプライアンス $G_{11}(\quad)$ 、 $G_{21}(\quad)$ 、 $G_{12}(\quad)$ 、及び $G_{22}(\quad)$ へ変換すると、式(1)によって影響係数 $\alpha_{11}(\quad)$ 、 $\alpha_{21}(\quad)$ 、 $\alpha_{12}(\quad)$ 、及び $\alpha_{22}(\quad)$ を算出できる。これらの影響係数(α)が求まると、周知の方法により、必要なバランスウエイトの重量と、バランスウエイトの位置を決定することができる。

10

【産業上の利用可能性】

【0085】

本発明は、磁気軸受装置、及び磁気軸受装置を用いた流体機械システムとして有用である。

【符号の説明】

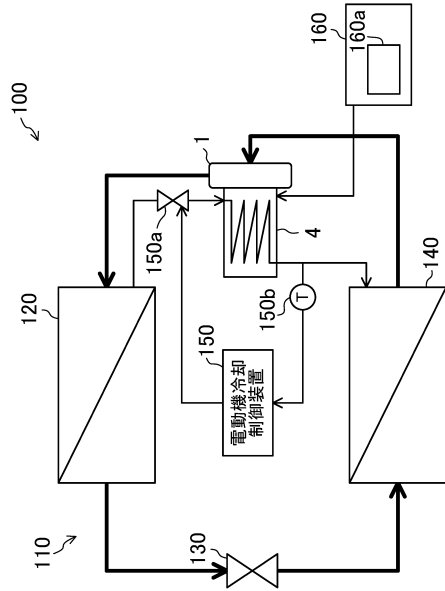
20

【0086】

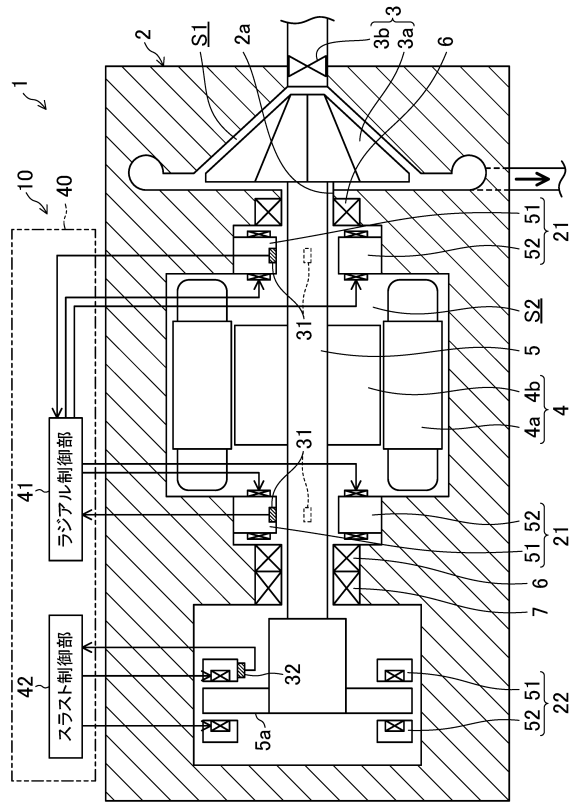
- | | |
|------|------------------|
| 1 | 圧縮機(流体機械システム) |
| 3 | 圧縮機構(流体機械) |
| 4 | 電動機(回転電気機械) |
| 5 | 回転軸 |
| 10 | 磁気軸受装置 |
| 21 | ラジアル磁気軸受(磁気軸受) |
| 22 | スラスト磁気軸受(磁気軸受) |
| 31 | ラジアル変位センサ(変位センサ) |
| 32 | スラスト変位センサ(変位センサ) |
| 40 | 制御器 |
| 51 | 第1電磁石 |
| 52 | 第2電磁石 |
| 53 | 第3電磁石 |
| 54 | 第4電磁石 |
| 100 | 空気調和装置 |
| 110 | 冷媒回路 |
| 160a | 制御基板 |

30

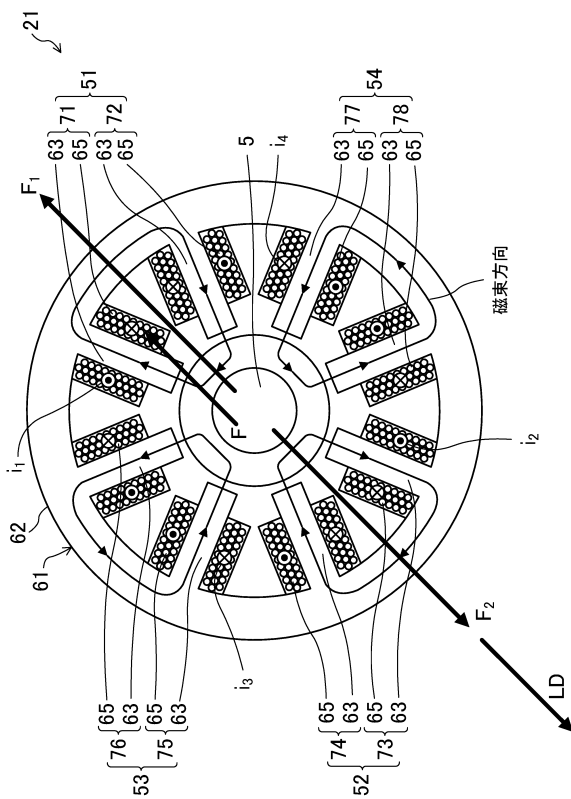
【図1】



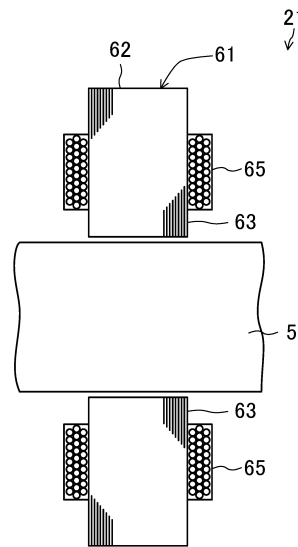
【図2】



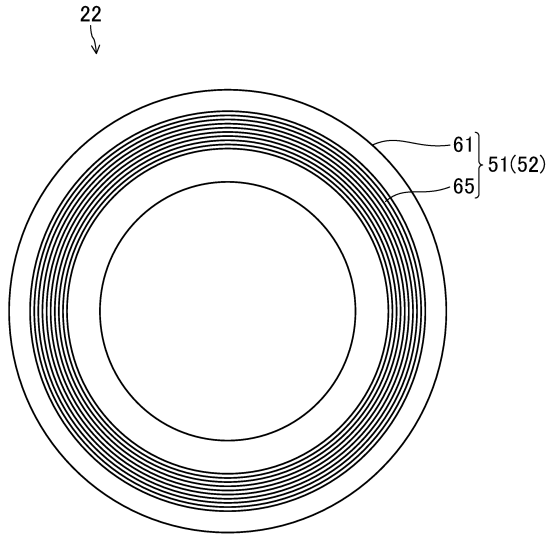
【図3】



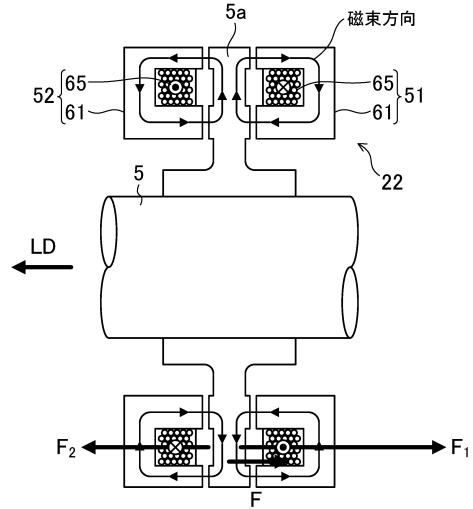
【図4】



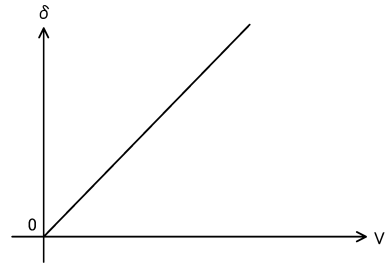
【図5】



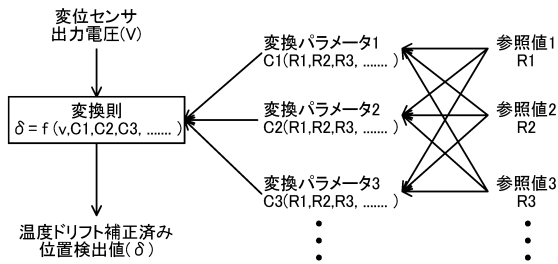
【図6】



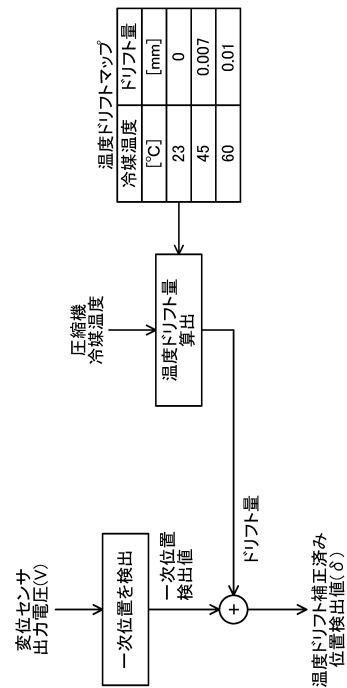
【図7】



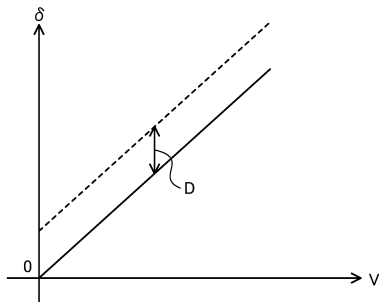
【図8】



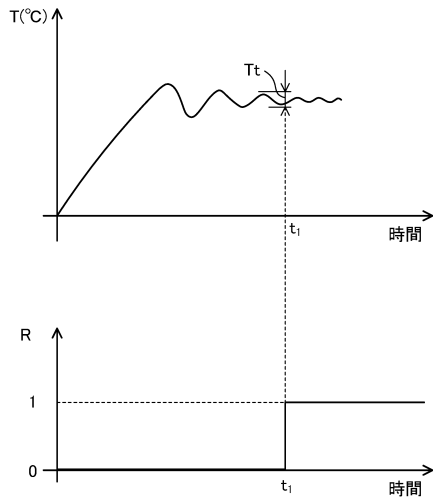
【図10】



【図9】



【 図 1 1 】



フロントページの続き

審査官 星名 真幸

(56)参考文献 特開2008-157439(JP,A)
特開平8-54020(JP,A)
特開2001-214934(JP,A)
実開平4-40308(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F16C 32/04
F04D 27/00
F04D 29/058
F16C 41/00