

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7479560号
(P7479560)

(45)発行日 令和6年5月8日(2024.5.8)

(24)登録日 令和6年4月25日(2024.4.25)

(51)国際特許分類 F I
F 2 5 B 47/02 (2006.01) F 2 5 B 47/02 5 5 0 Q

請求項の数 6 (全19頁)

(21)出願番号	特願2023-500450(P2023-500450)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和3年2月19日(2021.2.19)	(74)代理人	110001195 弁理士法人深見特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/006293	(72)発明者	坂廻 和憲 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開番号	WO2022/176148	(72)発明者	柿森 健吾 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開日	令和4年8月25日(2022.8.25)	(72)発明者	本行 朱音 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
審査請求日	令和5年7月4日(2023.7.4)	(72)発明者	津村 晃弘

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 冷凍サイクル装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

圧縮機、室外熱交換器、絞り装置、室内熱交換器、および、四方弁を含み、冷媒が循環するように構成された冷媒回路と、

前記圧縮機を可変速制御するインバータとを備え、

前記冷媒回路は、前記四方弁の切り替えによって前記圧縮機から吐出された冷媒が前記室外熱交換器に導入される除霜運転を行なうことが可能なように構成され、

前記圧縮機は、圧縮機構部と、前記圧縮機構部を駆動するモータとを含み、

前記インバータは、運転モードとして、指令値に対応する回転速度に近づくように前記モータを制御する速度制御モードと、前記モータに流れる電流を検出して前記モータの出力が目標値に近づくように前記モータの回転速度を制御する出力制御モードとを有し、

前記インバータは、前記除霜運転において、前記出力制御モードを用いて動作することが可能に構成され、

前記出力制御モードは、外部から与えられる指令値が示す値が、前記インバータの直流電圧と前記モータの特性値と前記モータの電流とによって定まる回転速度上限値以上になった場合に選択される、冷凍サイクル装置。

【請求項2】

圧縮機、室外熱交換器、絞り装置、室内熱交換器、および、四方弁を含み、冷媒が循環するように構成された冷媒回路と、

前記圧縮機を可変速制御するインバータとを備え、

前記冷媒回路は、前記四方弁の切り替えによって前記圧縮機から吐出された冷媒が前記室外熱交換器に導入される除霜運転を行なうことが可能なように構成され、
 前記圧縮機は、圧縮機構部と、前記圧縮機構部を駆動するモータとを含み、
 前記インバータは、運転モードとして、指令値に対応する回転速度に近づくように前記モータを制御する速度制御モードと、前記モータに流れる電流を検出して前記モータの出力が目標値に近づくように前記モータの回転速度を制御する出力制御モードとを有し、
 前記インバータは、前記除霜運転において、前記出力制御モードを用いて動作することが可能に構成され、

前記運転モードとして、前記除霜運転において、除霜開始時には前記速度制御モードが選択され、除霜開始から一定時間が経過した後に、前記速度制御モードから前記出力制御モードに切り替えられる、冷凍サイクル装置。

10

【請求項 3】

圧縮機、室外熱交換器、絞り装置、室内熱交換器、および、四方弁を含み、冷媒が循環するように構成された冷媒回路と、

前記圧縮機を可変速制御するインバータとを備え、

前記冷媒回路は、前記四方弁の切り替えによって前記圧縮機から吐出された冷媒が前記室外熱交換器に導入される除霜運転を行なうことが可能なように構成され、

前記圧縮機は、圧縮機構部と、前記圧縮機構部を駆動するモータとを含み、

前記インバータは、運転モードとして、指令値に対応する回転速度に近づくように前記モータを制御する速度制御モードと、前記モータに流れる電流を検出して前記モータの出力が目標値に近づくように前記モータの回転速度を制御する出力制御モードとを有し、

20

前記インバータは、前記除霜運転において、前記出力制御モードを用いて動作することが可能に構成され、

前記圧縮機が吐出する冷媒の吐出温度を計測する温度センサをさらに備え、

前記運転モードとして、前記吐出温度が判定値より高い場合には前記速度制御モードが選択され、前記吐出温度が前記判定値より低い場合には前記出力制御モードが選択される、冷凍サイクル装置。

【請求項 4】

圧縮機、室外熱交換器、絞り装置、室内熱交換器、および、四方弁を含み、冷媒が循環するように構成された冷媒回路と、

30

前記圧縮機を可変速制御するインバータとを備え、

前記冷媒回路は、前記四方弁の切り替えによって前記圧縮機から吐出された冷媒が前記室外熱交換器に導入される除霜運転を行なうことが可能なように構成され、

前記圧縮機は、圧縮機構部と、前記圧縮機構部を駆動するモータとを含み、

前記インバータは、運転モードとして、指令値に対応する回転速度に近づくように前記モータを制御する速度制御モードと、前記モータに流れる電流を検出して前記モータの出力が目標値に近づくように前記モータの回転速度を制御する出力制御モードとを有し、

前記インバータは、前記除霜運転において、前記出力制御モードを用いて動作することが可能に構成され、

前記インバータは、前記出力制御モードにおいて q 軸電流を検出し、前記圧縮機の負荷トルクの低下を認識し、前記モータの速度指令値を以下の式 (2) に基づき増加させる、冷凍サイクル装置、

40

$$* 2 = P * / I q / k \dots (2)$$

ただし、式 (2) において、* 2 は、モータの速度指令値を示し、

P * は、モータの出力の上限値を示し、

I q は、q 軸電流を示し、

k は、定数を示す。

【請求項 5】

前記モータの回転子は、複数の永久磁石と鉄心とを含み、

前記鉄心は、前記複数の永久磁石のうち隣接する磁石同士の間位置する q 軸上におい

50

てラジアル方向に延伸し前記隣接する磁石の位置保持を行なうブリッジ部を有する、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の冷凍サイクル装置。

【請求項 6】

前記インバータは、前記モータの電流の振幅と位相を制御する d 軸電流指令演算部を有し、

前記 d 軸電流指令演算部は、前記出力制御モード中は、前記モータの電流が最大定格値になるように電流指令値を制御する、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の冷凍サイクル装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本開示は、冷凍サイクル装置に関する。

【背景技術】

【0002】

冷凍サイクル装置では、蒸発器として働く熱源側の熱交換器に霜がついた際に生じる冷凍能力または空調能力の低下を回復させるため、運転中に熱源側の熱交換器を加熱して霜を溶かす除霜運転が行なわれる。除霜運転では、熱源側の熱交換器を加熱するため、熱源側の熱交換器において熱エネルギーが消費される。

【0003】

除霜運転中には、熱エネルギーを消費し冷却された液冷媒が熱源側の熱交換器で大量に発生する。一部の液冷媒は、アキュムレータを経由して圧縮機に到達する。このような、液冷媒が圧縮機に戻る「液バック」と呼ばれる現象が発生することが知られている。特許文献 1 には、除霜運転中の液バック現象を防止するため、電力を圧縮機に供給する電力変換装置により冷媒を加熱する方法が開示されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】国際公開第 2020/008620 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0005】

除霜運転では、熱源側の熱交換器を加熱するために熱エネルギーが消費されることとなるため、利用側の熱交換器の温度は低下する。本来、冷凍サイクル装置は、たとえば、暖房運転時において、熱源側の熱交換器を蒸発器として温度を低下させ、利用側の熱交換器を凝縮器として温度を上昇させるヒートポンプとして機能するものである。したがって、利用側の熱交換器の温度を低下させる除霜運転は、ヒートポンプとしての機能を一時後退させることとなり、利用者には望ましくない状態である。そのため、除霜運転は、できるだけ短時間であり、かつ、温度変化が少ないことが望まれる。

【0006】

これまで、除霜に関する技術については多く検討されているものの、冷媒に対する加熱量増加と結びつけられたものは少ない。たとえば、特許文献 1 の方法は、除霜運転中の液バック現象という特殊な環境条件を防止するために電力変換装置を加熱する方法であり、一般的な除霜条件において、冷凍サイクル装置の性能を改善しようとするものではない。

40

【0007】

本開示は、上記課題を解決するためになされたものであり、除霜により暖房能力が低下している時間を短縮することができる冷凍サイクル装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本開示は、冷凍サイクル装置に関する。冷凍サイクル装置は、圧縮機、室外熱交換器、絞り装置、室内熱交換器、および、四方弁を含み、冷媒が循環するように構成された冷媒

50

回路と、圧縮機を可変速制御するインバータと、圧縮機の温度を計測する温度センサとを備える。冷媒回路は、四方弁の方向切り替えによって圧縮機から吐出された冷媒が室外熱交換器に導入される除霜運転を行なうことが可能に構成される。圧縮機は、圧縮部と、圧縮部を駆動するモータとを含む。インバータは、運転モードとして、指令値に対応する回転速度に近づくようにモータを制御する速度制御モードと、モータに流れる電流を検出してモータの出力が目標値に近づくようにモータの回転速度を制御する出力制御モードとを有する。

【発明の効果】

【0009】

本開示に係る冷凍サイクル装置によれば、速度制御モードと出力制御モードを使い分けることが可能となる。このため、除霜により暖房能力が低下している時間を短縮することが可能となる。

10

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】実施の形態1に係る冷凍サイクル装置100の回路構成図である。

【図2】除霜時の冷媒の流れ方向を示した図である。

【図3】圧縮機1の構造を示す断面図である。

【図4】インバータ20の一構成例を示す機能ブロック図である。

【図5】制御装置15の構成を示す図である。

【図6】制御回路41の構成を示す図である。

20

【図7】出力制御モードにおける動作を説明するための図である。

【図8】制御装置15における暖房および除霜運転時の運転モードの制御方法を示すフローチャートである。

【図9】実施の形態1に係る冷凍サイクル装置100の動作を示すタイムチャートである。

【図10】図4のインバータの変形例を示す機能ブロック図である。

【図11】圧縮機用の埋め込み磁石型モータの断面図である。

【図12】ロータコア薄肉部に加わる応力を示す図である。

【図13】圧縮機のモータの回転速度とブリッジ部の応力との関係を示す図である。

【図14】インバータの出力する周波数と電圧および電流との関係を示す図である。

【図15】実施の形態4に適用される速度制御部52の構成を示す図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本実施の形態に係る冷凍サイクル装置について図面を参照して説明する。なお、以下の図面では各構成部材の大きさの関係が実際のものとは異なる場合がある。また、以下の図面において、同一の符号を付したものは、同一またはこれに相当するものであり、このことは明細書の全文において共通することとする。さらに、明細書全文に表わされている構成要素の形態は、あくまでも例示であって、これらの記載に限定されるものではない。

【0012】

実施の形態1.

40

< 冷凍サイクル装置の構成 >

図1は、実施の形態1に係る冷凍サイクル装置100の回路構成図である。図1に示すように、冷凍サイクル装置100は、室外機103と、室内機104とを備える。室外機103と室内機104とは、延長配管101、102によって接続される。

【0013】

冷凍サイクル装置100は、冷媒回路105と、インバータ20と、制御装置15と、温度センサ30とを備える。

【0014】

冷媒回路105は、配管により結合された、圧縮機1、室外熱交換器2、絞り装置3、室内熱交換器4、四方弁5、および、アキュムレータ6を含み、冷媒が循環するように構

50

成される。

【 0 0 1 5 】

圧縮機 1 は、冷媒を吸入し、圧縮して、高温および高圧の状態にして吐出する。圧縮機 1 には、圧縮機構部 1 2 とモータ 1 1 とが内蔵されている。モータ 1 1 は、圧縮機 1 の圧縮機構部 1 2 を駆動させるための動力を発生させるものである。モータ 1 1 は、インバータ 2 0 と電気的に接続されている。モータ 1 1 は、インバータ 2 0 により駆動制御されている。

【 0 0 1 6 】

図 3 は、圧縮機 1 の構造を示す断面図である。圧縮機 1 は、筐体 1 3 と、モータ 1 1 と、圧縮機構部 1 2 とを含む。

10

【 0 0 1 7 】

圧縮機 1 は、冷媒を吸入管 1 b から吸入し、圧縮して、高温および高圧の状態にして吐出管 1 a から吐出する。圧縮機 1 の筐体 1 3 には、圧縮機構部 1 2 とモータ 1 1 とが収容されている。

【 0 0 1 8 】

モータ 1 1 は、吸入管 1 b から吸入された冷媒と接触している巻線 1 1 a および鉄心 1 1 b を有する。巻線 1 1 a および鉄心 1 1 b は、各々冷媒との間で熱的エネルギーを収受する構成となっている。

【 0 0 1 9 】

再び図 1 を参照して、説明を続ける。室外熱交換器 2 および室内熱交換器 4 は、冷媒と、空気などの熱媒体との間で熱交換をさせるものである。室外熱交換器 2 および室内熱交換器 4 としては、たとえば、フィンチューブ型の熱交換器を使用することができる。

20

【 0 0 2 0 】

冷凍サイクル装置 1 0 0 が冷房運転をしている時は、室外熱交換器 2 が凝縮器として機能する。冷凍サイクル装置 1 0 0 が暖房運転をしている時は、室外熱交換器 2 が蒸発器として機能する。なお、冷凍サイクル装置の中には冷凍機など凝縮器 / 蒸発器の役割が空調機と逆転する装置もあるが、以下は空調機を代表例として説明する。

【 0 0 2 1 】

絞り装置 3 は、冷媒を膨張および減圧させるものである。絞り装置 3 は、たとえば、電子式膨張弁など開度を任意に制御することができる装置である。絞り装置 3 の開度は、たとえば、制御装置 1 5 により制御されている。絞り装置 3 は、室外熱交換器 2 と、室内熱交換器 4 との間に接続されている。

30

【 0 0 2 2 】

絞り装置 3 は、室外熱交換器 2、または、室内熱交換器 4 のうち、凝縮器として機能している一方の熱交換器から流出した冷媒を低温および低圧の状態として蒸発器として機能している他方の熱交換器に流入させる。冷凍サイクル装置 1 0 0 が冷房運転をしている時は、室外熱交換器 2 から流出した冷媒が絞り装置 3 に流入し、低温および低圧の状態となって、室内熱交換器 4 に流入する。

【 0 0 2 3 】

四方弁 5 は、暖房時の冷媒の流れ方向と、冷房時の冷媒の流れ方向とを切り替える機能を有する。四方弁 5 の動作は、たとえば、制御装置 1 5 により制御されている。四方弁 5 は、圧縮機 1 の吐出側が、室外熱交換器 2 と室内熱交換器 4 とのうち、凝縮器として機能させる熱交換器に接続するように冷媒の流路を切り替える。アキュムレータ 6 は、余剰冷媒を貯留するものである。

40

【 0 0 2 4 】

図 1 に示した冷媒の流れ方向は暖房時を示しており、圧縮機 1 から吐出された高温・高圧冷媒は室内熱交換器 4 に流入する。また、除霜時には、冷媒の流通方向が反転する。図 2 は、除霜時の冷媒の流れ方向を示した図である。図 2 に示すように四方弁 5 が切り替わると、圧縮機 1 から吐出した高圧冷媒は、室外熱交換器 2 に流入し、室外熱交換器 2 を加熱する。

50

【 0 0 2 5 】

制御装置 1 5 は、現行の運転状態（通常時または除霜時）に基づきインバータ 2 0 の運転モードを速度制御モードと出力制御モードのいずれとするかを判断するモード判断部 2 2 と、通常時の圧縮機 1 の速度指令値を生成する冷凍サイクル制御部 2 3 とを有する。なお、圧縮機 1 の運転速度（ rps ）は、周波数（ Hz ）で表わされることも多いので、速度指令値は周波数指令値とも呼ばれる。

【 0 0 2 6 】

温度センサ 3 0 は、圧縮機 1 から吐出される冷媒の温度を検出する。温度センサ 3 0 は、たとえば、圧縮機 1 の吐出管 1 a に取り付けられている。温度センサ 3 0 で計測された温度の情報は、制御装置 1 5 のモード判断部 2 2 に入力される。

10

【 0 0 2 7 】

次にインバータ 2 0 内の詳細構成について図 4 に基づき説明する。図 4 は、インバータ 2 0 の一構成例を示す機能ブロック図である。

【 0 0 2 8 】

インバータ 2 0 は、制御回路 4 1 と、電力変換部 4 0 とを備える。制御回路 4 1 は、外部の上位の制御装置 1 5 から速度指令値 v_1^* を受け、電流センサ 4 2 a , 4 2 b で検出された電流検出信号 I_u , I_w を受け、電力変換部 4 0 に 3 相電圧指令値 V_{uvw}^* を出力する。

【 0 0 2 9 】

制御回路 4 1 は、出力制御部 2 1 と、セクタ 6 1 と、 dq 変換部 5 0 と、速度推定部 5 1 と、速度制御部 5 2 と、 dq 逆変換部 5 5 とを備える。本実施の形態では、インバータ 2 0 には、出力電力を略一定に制御する出力制御部 2 1 が設けられる。

20

【 0 0 3 0 】

dq 変換部 5 0 は、電流検出信号 I_u , I_w および位相推定値 θ に基づいて d 軸電流値 I_d および q 軸電流値 I_q を生成する。

【 0 0 3 1 】

速度推定部 5 1 は、 d 軸電圧指令値 V_d^* 、 q 軸電圧指令値 V_q^* 、 d 軸電流値 I_d 、 q 軸電流値 I_q に基づいて速度推定値 ω_{est} を生成する。

【 0 0 3 2 】

速度制御部 5 2 は、速度指令値 v_1^* 、速度推定値 ω_{est} 、 d 軸電流値 I_d および q 軸電流値 I_q に基づいて、 d 軸電圧指令値 V_d^* 、 q 軸電圧指令値 V_q^* を生成する。

30

【 0 0 3 3 】

dq 逆変換部 5 5 は、 d 軸電圧指令値 V_d^* 、 q 軸電圧指令値 V_q^* に基づいて 3 相電圧指令値 V_{uvw}^* を生成し、3 相電圧指令値 V_{uvw}^* を電力変換部 4 0 に出力して、PWM 制御を行なう。

【 0 0 3 4 】

図 5 は、制御装置 1 5 の構成を示す図である。図 1、図 2 および図 4 では、制御装置 1 5 は、機能ブロックとしてモード判断部 2 2 と冷凍サイクル制御部 2 3 とを含んでいるが、実際のハードウェア構成については、たとえば、マイクロコンピュータを含む。

【 0 0 3 5 】

具体的には、制御装置 1 5 は、CPU (Central Processing Unit) 1 5 1 と、メモリ (ROM (Read Only Memory) および RAM (Random Access Memory)) 1 5 2 と、各種信号を入力するための図示しない入出力装置等を含んで構成される。CPU 1 5 1 は、ROM に格納されているプログラムを RAM 等に展開して実行する。ROM に格納されるプログラムは、制御装置 1 5 の処理手順が記されたプログラムである。制御装置 1 5 は、これらのプログラムに従って、冷凍サイクル装置の制御を実行する。すなわち、CPU 1 5 1 はメモリ 1 5 2 が記憶するプログラムに従って、モード判断部 2 2 と冷凍サイクル制御部 2 3 とに相当する処理を実行する。この処理については、ソフトウェアによる処理に限られず、専用のハードウェア（電子回路）で処理することも可能である。

40

【 0 0 3 6 】

50

図6は、制御回路41の構成を示す図である。図4では、制御回路41は、機能ブロックとして、出力制御部21、セクタ61、速度制御部52、速度推定部51、dq逆変換部55、dq変換部50を含んでいるが、実際のハードウェア構成については、たとえば、マイクロコンピュータを含む。

【0037】

具体的には、制御回路41は、CPU411と、メモリ(ROMおよびRAM)412と、各種信号を入力するための図示しない入出力装置等を含んで構成される。CPU411は、ROMに格納されているプログラムをRAM等に展開して実行する。ROMに格納されるプログラムは、制御回路41の処理手順が記されたプログラムである。制御回路41は、これらのプログラムに従って、インバータのPWM制御を実行する。すなわち、CPU411はメモリ412が記憶するプログラムに従って、出力制御部21、セクタ61、速度制御部52、速度推定部51、dq逆変換部55、dq変換部50に相当する処理を実行する。この処理については、ソフトウェアによる処理に限られず、専用のハードウェア(電子回路)で処理することも可能である。

10

【0038】

なお、各機能ブロックは、同じCPUが制御する1つの制御部であっても良いが、異なるCPUによって制御される別々の制御部であっても良い。

【0039】

再び図4を参照して、説明を続ける。インバータ20は、制御装置15が判断した運転モードMODEに基づき運転を行なう。通常の運転モードである速度制御モードでは、セクタ61は、圧縮機1の速度指令値 $*_1$ が速度制御部52に与えられる速度指令値 $*$ となるように設定される。これにより、インバータ20は、速度指令値 $*_1$ に基づいて出力周波数を制御するとともに、インバータ20およびモータ11の損失が略最小化されるように3相電圧指令値 V_{uvw} を制御する。これにより、通常時は効率の良い運転がなされる。

20

【0040】

一方、出力制御モードでは、インバータ20内の出力制御部21は、モータ11の出力(電力) P と出力 P の上限値 P^* とを逐次演算し、出力 P が P^* に近づくよう速度指令値 $*_2$ を制御する。セクタ61は、速度指令値 $*_2$ が速度制御部52に与えられる速度指令値 $*$ となるように設定される。

30

【0041】

なお P^* は電力の指令値であるが、ここでは運転範囲を拡大するように最大値 P_{max} を採用する例で説明する。最大値 P_{max} はモータの特性を表すモータ定数と直流電圧 V_{dc} により一意に決定される出力電力の最大値である。また、出力 P および速度指令値 $*_2$ は、たとえば下式(1)、(2)によって計算される。ここで、 k は定数、 ω は回転速度、 I_q はトルク電流を示す。

$$P = k \times \omega \times I_q \dots (1)$$

$$*_2 = P^* / I_q / k \dots (2)$$

次に負荷トルクが変化した場合の運転モードによる動作の差異について図7を用いて説明する。図7は、出力制御モードにおける動作を説明するための図である。図7において T_{max} [Nm]は圧縮機1の機械的なトルクの上限値、 f_{max} はトルク上限での最大周波数を示す。また点Bおよび点B'を各々の頂点とするハッチングされた2つの四角形の面積は、モータの出力の大きさを示している。暖房および除霜運転では、モータ出力が大きいことは、暖房能力および除霜能力が高いことに対応する。

40

【0042】

初期状態として点A(f_{max} , T_{max})における運転状態を考える。除霜運転等で負荷トルクが急速に減少した場合、速度制御モードの場合は負荷トルクに因らず回転速度は一定で変化しないので、トルク T_{max} に対応する最大周波数 f_{max} でモータ11が運転される。このため図7において、動作点は点Aから点B'に移動し、モータ出力は負荷トルクの低減分に比例して低下してしまう。

50

【 0 0 4 3 】

一方、出力制御モードの場合は出力 P_{max} が維持されるように速度が増加するようにモータ 11 が制御されるため、動作点が点 B に移動し、モータ 11 の出力は変化しない。すなわち出力制御モードは、圧縮機 1 が吸入する冷媒の温度低下、圧力低下、乾き度低下などの変化に因る除霜能力または暖房能力の低下が起きにくい運転モードである。

【 0 0 4 4 】

< 冷凍サイクル装置の動作 >

次に、本発明の特徴である除霜および暖房運転時の動作について説明する。

【 0 0 4 5 】

まず、制御装置 15 における運転モードの設定方法について図 8 を用いて説明する。図 8 は、制御装置 15 における暖房および除霜運転時の運転モードの制御方法を示すフローチャートである。なお、以降、ステップを S と略記する。制御装置 15 は、現在の運転状態が除霜中あり (S1 で YES)、かつ除霜開始から一定時間が経過している場合は (S2 で YES)、運転モードを出力制御モードに設定する (S4)。

10

【 0 0 4 6 】

また、現在の運転状態が暖房中であり (S1 で NO)、かつ吐出温度が判定値以下である場合 (S3 で YES) も同様に運転モードを出力制御モードに設定する (S4)。

【 0 0 4 7 】

なお、制御装置 15 は、現在の運転状態が除霜中であり (S1 で YES)、かつ除霜開始から一定時間が経過していない場合は (S2 で NO)、運転モードを速度制御モードに設定する (S5)。

20

【 0 0 4 8 】

また、現在の運転状態が暖房中であり (S1 で NO)、かつ吐出温度が判定値より高い場合 (S3 で NO) も同様に、運転モードを速度制御モードに設定する (S5)。

【 0 0 4 9 】

次に、装置全体の動作について図 9 を用いて説明する。図 9 は、実施の形態 1 に係る冷凍サイクル装置 100 の動作を示すタイムチャートである。本実施の形態の動作を実線の波形 T1, F1 を参照して説明する。

【 0 0 5 0 】

制御装置 15 は、除霜運転を行なう際、圧縮機 1 の吐出ガスの行き先が室内熱交換器 4 から室外熱交換器 2 へ変更されるよう、時刻 tA に示すように四方弁 5 を切り替える。その結果、図 1 に示す方向から図 2 に示す方向に冷媒の流れ方向は変更される。切り替え当初は圧縮機 1 の吐出ガスは高温かつ高圧である。しかし、高温の冷媒は、着霜している室外熱交換器 2 に流入して冷却かつ減圧される。したがって、除霜運転を継続すると、波形 T1 に示すように圧縮機 1 に吸入される冷媒の温度および圧力も低下し、これに伴い時刻 tB に示すように吐出温度が低下する。

30

【 0 0 5 1 】

時刻 tB において、制御装置 15 は、波形 T1 に示す吐出温度の低下を検出してインバータ 20 の運転モードを速度制御モードから出力制御モードに切り替える。

【 0 0 5 2 】

出力制御モードでは、波形 F1 に示すように、インバータ 20 は出力 P が $P = P_{max}$ となるような運転周波数で圧縮機 1 を運転する。この時、圧縮機 1 の周辺の冷媒の温度および冷媒の圧力は比較的高いため、圧縮機 1 の負荷トルクも高い。このため、出力制御モードでは、インバータ 20 において、速度指令値 $*_2$ は、比較的低い値に設定される。この時、室外熱交換器 2 には除霜のための高温の冷媒が流入するが、霜に熱を奪われるため熱交換器出口では冷媒温度は低下する。一方で、除霜運転中は、室内熱交換器 4 は送風停止などにより熱交換しないように制御されるため、結果として、冷媒配管で接続される冷媒回路 105 全体での熱エネルギーおよび圧力は低下し、これに伴って圧縮機 1 を運転するための負荷トルクも低下していく。

40

【 0 0 5 3 】

50

出力制御部 21 は、q 軸電流を検出して、この負荷トルクの低下を認識し、速度指令値 ω^* を式 (2) に基づき増加させる。回転速度の増加により除霜運転中の冷媒回路 105 内の冷媒の流速が増加し、流速に応じて上昇する流路圧損が上昇し、圧損に応じて冷媒の熱エネルギー、すなわち温度および圧力が上昇し、室外熱交換器 2 における除霜能力が増加する。以上の動作を繰り返すことで除霜を速やかに終了することができる (図 9 時刻 t C)。

【0054】

制御装置 15 は、時刻 t C において、除霜が終了するとインバータ 20 を停止するとともに四方弁 5 を動作し冷媒の循環方向を切り替えて暖房運転を開始し、再度インバータ 20 を起動する。時刻 t C ~ t D では、暖房開始後も出力制御モードが継続するため $P = P_{max}$ の出力上限運転が行なわれる。この時モータ 11 は最大出力で運転されるため、暖房能力としても高い能力が得られ、除霜時の冷媒温度低下および室内側での温度低下状態からの早期回復が実現される (図 9 時刻 t D)。

【0055】

比較例として、速度制御モードのみで制御した場合のタイムチャートを図 9 の破線の波形 T2, F2 に示す。比較例では、実線で示した場合と異なり、除霜時の吐出温度低下に伴う運転周波数の増加がなされない。このため、除霜時間 (時刻 t B ~ t C') が長く、さらには暖房に切り替えた後での冷媒の温度回復も遅いため、吐出温度が上がらない。したがって、時刻 t C' ~ t D' の波形 T2 に示すように、室内の温度低下状態が長く解消されない。つまり、比較例では冷凍サイクル装置の除霜時間および暖房の立ち上がり時間が長くなり、ユーザの快適性が損なわれることが示される。

【0056】

実施の形態 2 .

実施の形態 1 では、出力制御モードと速度制御モードとを制御装置 15 から切り替える例を示した。実施の形態 2 では、インバータ内部で運転モードの切り替えを行なう例を説明する。図 10 は、図 4 のインバータの変形例を示す機能ブロック図である。

【0057】

図 10 に示すインバータ 20 A は、制御回路 41 A と、電力変換部 40 とを備える。制御回路 41 A は、図 4 に示した制御回路 41 の構成において、出力制御部 21 とセレクタ 61 に代えて、最小値選択部 120 と速度上限演算部 121 とを含む。制御回路 41 A の他の構成は、図 4 に示した制御回路 41 と同様であり、説明は繰り返さない。

【0058】

次に動作について説明する。速度上限演算部 121 は回転速度上限値 ω_{max} を下式 (3)、(4) に基づいて計算する。

【0059】

【数 1】

数 1

$$T_e = L_q I_q I_d + (\Phi_f + L_d I_d) I_q \dots (3)$$

【0060】

【数 2】

数 2

$$\omega_{max} = \frac{P_{max}}{T_e} \dots (4)$$

【0061】

なお、 T_e は、出力トルクを示し、 P_{max} は、最大出力トルクを示す。

最小値選択部 120 は、速度制御モードの指令値 ω^* と出力制御モードの回転速度上

10

20

30

40

50

限值 m_{max} とを比較し、小さい方を実際の制御の速度指令値 $*$ として出力する。最小値選択部 120 により、自動的に出力制御モードと速度制御モードとの間の切り替えが可能となり、制御装置 15 からの制御信号の追加は不要となる。制御装置 15 が出力制御モードを要求する場合は回転速度上限値 m_{max} より十分高い回転速度を指定すればよい。すると、速度指令値 $*$ は、回転速度上限値 m_{max} に設定されるので、インバータ 20A の運転モードは出力制御モードとなる。

【0062】

実施の形態 3 .

以下、本実施の形態において主要な動作である高速運転時の増速動作に関する最適なモータ仕様について図 11 および図 12 を用いて説明する。図 11 は、圧縮機用の埋め込み磁石型モータの断面図である。図 12 は、ロータコア薄肉部に加わる応力を示す図である。

10

【0063】

図 11 に示すように、モータ 11 は、回転子（ロータ）66 と、固定子（ステータ）67 とを備える。モータ 11 の回転子 66 は、複数の永久磁石 71 と鉄心（ロータコア）70 とを含む。固定子 67 は、鉄心（ステータコア）73 と、コイルの巻線 74 とを含む。図 12 に示すように、鉄心 70 は、複数の永久磁石 71 のうち隣接する磁石 71A, 71B 同士の間位置する q 軸上においてラジアル方向に延伸し、隣接する磁石 71A, 71B の位置保持を行なうブリッジ部 72A を有する。

【0064】

埋め込み磁石型の永久磁石モータ（IPMSM：Interior Permanent Magnet Synchronous Motor）は、磁石の飛散防止構造が容易であるため、圧縮機モータの構成形態として広く採用されている。

20

【0065】

一般に、圧縮機の最大回転速度は、最大定格能力を発揮する回転速度に対応する運転周波数（ f_{nom} ）で規定される。実施の形態 1 では出力制御モードの制御指令値を固定値（ P_{max} ）として説明したが、除霜時の負荷トルクが小さい条件下では、最大周波数 f_{nom} を超える運転周波数となるように制御すれば、除霜性能の向上が実現される。

【0066】

IPMSM は、磁石端部のロータコア（図 12 のブリッジ部 72A）を薄肉とすることによって、ロータ内での漏れ磁束が低減し高出力かつ高効率となるが、一方で遠心力に対する応力が低下する。実施の形態 1, 2 で説明した軽負荷かつ高速運転となる制御は IPMSM において特に有効であることを説明しておく。磁石端部の q 軸近傍は、効率面での要請によりコアを最も薄肉とせざるを得ない。この磁石端部の q 軸近傍の強度に IPMSM のロータコアの機械的強度は依存する。以下、q 軸近傍部に回転中にかかる応力を下式（5）～（7）および図 12 に示す。

30

$$F^2 = Fr^2 + Ft^2 \quad \dots (5)$$

$$Fr = M \omega^2 \quad \dots (6)$$

$$Ft = k_1 \times T_L \quad \dots (7)$$

ここで、 Fr は遠心力、 Ft はコアにかかる周方向の応力、 M はコア外周部慣性モーメント、 ω は角速度、 k_1 は比例係数、 T_L は負荷トルク、 F はブリッジ部にかかる応力を示す。従来ブリッジ部の応力は遠心力に耐えうるように設計されてきたが、図 12 のブリッジ部 72A の幅はモータの高出力化を図る中で周方向の幅がより細くなるように設計されている。その結果、円周方向の応力との合成力 F が設計指標となるべきであることがわかった。これが式（5）の関係を導出するに至った経緯である。

40

【0067】

応力 F には、ロータの機械的強度に基づき機器固有の最大値 F_{max} が存在する。ここに $F = F_{max}$ の条件を考えると、角速度 ω と負荷トルク T_L との関係式（5）～（7）から、負荷トルク T_L が小さい場合は角速度 ω を大きくとることが可能であることがわかる。そこで最大定格トルクを T_{Lmax} とし、 $T_L = T_{Lmax}$ 、応力 $F = F_{max}$ 条件での角速度、すなわち定格負荷時の角速度を最大角速度 ω_{nom} と定義する。圧縮機のモータの回転速度とブ

50

リッジ部の応力の関係図を図 1 3 に示す。

【 0 0 6 8 】

一方、圧縮機では負荷トルク T_L は冷媒ガス圧力の関数であり、圧力が低いほど負荷トルクは小さい。この場合、すなわち除霜時の負荷トルクを T_{Ldef} 、最大角速度を ω_{def} と定義する。まず $T_{Lmax} > T_{Ldef}$ が成立し、さらにはトルク減少分だけ周方向の応力 F_t は減少する。式 (5) ~ (7) から、応力 F_t が減少する分、遠心力方向の応力 F_r を大きくしても全体の応力 F は変化しないようにすることができる。

【 0 0 6 9 】

すなわち、除霜運転時はその出力トルクが定格より小さくなることを利用して、トルクロータコア強度を上げることなく上限周波数を拡大することができる。実施の形態 1 , 2 10
では、負荷トルクが小さくなる運転状態である除霜運転時に高速運転を行なうため、ロータコアへの応力が過度に増加しないことは明らかである。すなわち、実施の形態 3 では、高速化により除霜時間を短時間としつつ、かつ遠心力増加による破壊に対する強度面の負担の少ない圧縮機を提供することが可能となる。

【 0 0 7 0 】

実施の形態 4 .

除霜時には、室外熱交換器 2 で冷却され液化した冷媒が圧縮機まで到達する現象 (以下液バックと称する) が発生する恐れがある。液バックは圧縮機内部の潤滑油を発泡させて潤滑不良を生じる要因となるが、実施の形態 1 ~ 3 のように除霜時に高速運転を行なう場合には、液バックがさらに起きやすくなることが懸念される。以下、液バックへの対処法 20
について図 1 4 に基づき説明する。

【 0 0 7 1 】

図 1 4 は、インバータの出力する周波数と電圧および電流との関係を示す図である。図 1 4 において実線は出力電圧を示し、一点鎖線は電流を示す。ここで最大定格周波数を f_{max} 、出力電圧の最大値を V_{max} 、最大効率で動作できる最大周波数を f_{nom} で表わす。最大周波数 f_{nom} を超えた周波数に相当する回転速度でモータを運転する場合は、一般に弱め励磁運転とするが、省エネルギーの観点から効率よく運転することが一般的であるため、電圧は最大値 V_{max} を維持して運転する。すなわち電圧、電流は、図 1 4 に示す V_a , I_a でモータが運転される。

【 0 0 7 2 】

ここで、より高い周波数 ($f_{max} + f$) に相当する回転速度でモータを運転することを考えると、特に問題ない限り電圧は最大値 V_{max} を維持した運転を行なうことが通例となる。しかしながら、除霜運転では液バックによる機械的損傷のリスクを低下する必要があるため、実施の形態 4 ではあえて最大値 V_{max} よりも低い電圧 ($V_{max} - V$) をインバータに出力させる。こうすることで電流は I_b から I_c へと増加し、電流増加に伴ってモータは発熱する。これにより圧縮機の圧縮機構に流入する冷媒を加熱できるため、液バックに対する耐力を改善することが可能となる。

【 0 0 7 3 】

図 1 5 は、実施の形態 4 に適用される速度制御部 5 2 の構成を示す図である。実施の形態 3 では、図 1 5 に示す速度制御部 5 2 が、図 4 または図 1 0 における速度制御部 5 2 として用いられる。速度制御部 5 2 は、q 軸電流指令演算部 1 1 0 と、d 軸電流指令演算部 1 1 1 と、電圧指令演算部 1 1 2 と、位相演算部 1 1 3 と、減算器 1 1 4 ~ 1 1 6 とを備える。制御装置 1 5 は、圧縮機吐出温度 T_d と運転モード $MODE$ とに基づき加熱制御の ON / OFF を制御する加熱判断部 1 1 7 を備える。HEAT は、制御装置 1 5 内の加熱判断部 1 1 7 から与えられる加熱制御信号を示す。 40

【 0 0 7 4 】

加熱判断部 1 1 7 は、圧縮機吐出温度 T_d と運転モード $MODE$ とを監視する。運転モードが出力制御モードでかつ吐出温度 T_d が判定温度以下の場合は、圧縮機を加熱する必要がありと判断され、加熱判断部 1 1 7 は、加熱制御信号を ON に設定する。それ以外の場合は、加熱判断部 1 1 7 は、加熱制御信号を OFF に設定する。 50

【 0 0 7 5 】

d軸電流指令演算部は外部より与えられる加熱制御信号H E A TがO F Fの場合は、通常のd軸電流制御に従ってd軸電流指令I d *を出力する。この場合、下式(8)、(9)によってd軸電流指令I d *が定められる。

V < V maxの場合

$$I d * = 0 \quad \dots (8)$$

V = V maxの場合

【 0 0 7 6 】

【数3】

数3

$$Vmax = \sqrt{(RI_{d*} - \omega L_q I_{q*})^2 + (RI_{q*} - \omega L_d I_{d*} + \omega \Phi_f)^2} \dots (9)$$

10

【 0 0 7 7 】

ここで、Rは、相抵抗、L dは、d軸インダクタンス、L qはq軸インダクタンス、fは誘起電圧定数、 ω は電気角速度、I d *はd軸電流指令、I q *はq軸電流指令をそれぞれ示す。

【 0 0 7 8 】

一方、加熱制御信号H E A TがO Nの場合は、下式(1 0)に従いI d *が定められる。

20

【 0 0 7 9 】

【数4】

数4

$$I_{d*} = -\sqrt{I_{max}^2 - I_{q*}^2} \dots (10)$$

【 0 0 8 0 】

ここで、I maxは、最大電流定格を示す。

なお、最大電流定格値I maxは、減磁電流限界により定まるモータに固有の値である。すなわち、電流はモータが許容できる最大の電流値である最大電流定格値I maxで制御される。これにより、モータの損失は増加し、発熱を増加させることができる。なお、式(1 0)ではI d *は負の値としたが、これはインバータの電圧上限ではd軸電流指令は増加できないことを考慮しているためであり、インバータの電圧上限が十分高い場合は正の値を用いても加熱は可能である。

30

【 0 0 8 1 】

なお、上記においては電流限界を減磁電流限界で定まるものとしたが、インバータの電流定格またはモータの脱調限界が減磁電流限界を下回る場合はこれらを上限として設定しモータを制御しても良い。

【 0 0 8 2 】

本開示に係る冷凍サイクル装置によれば、圧縮機の周波数を上昇させる制御を行なうことにより、冷媒回路内での圧損および圧縮機の機械損、鉄損および銅損がそれぞれ増加し、冷媒温度ないし冷媒圧力の上昇が促進される。このため、室外熱交換器における除霜運転を早期に完了させ、且つ、除霜運転後、室内熱交換器において暖房能力が低下した状態の時間を短縮させることができる。

40

【 0 0 8 3 】

また、除霜時間短縮は、暖房運転時のユーザの冷風感の解消のみならず、平均的な暖房能力の改善に効果がある。

【 0 0 8 4 】

(まとめ)

50

最後に、本実施の形態について、再び図面を参照して総括する。図 1 に示す本実施の形態の冷凍サイクル装置 100 は、冷媒回路 105 と、インバータ 20 とを備える。冷媒回路 105 は、圧縮機 1、室外熱交換器 2、絞り装置 3、室内熱交換器 4、および、四方弁 5 を含み、冷媒が循環するように構成される。インバータ 20 は、圧縮機 1 を可変速制御するように構成される。冷媒回路 105 は、四方弁 5 の切り替えによって図 2 に示すように圧縮機 1 から吐出された冷媒が室外熱交換器 2 に導入される除霜運転を行なうことが可能なように構成される。圧縮機 1 は、圧縮機構部 12 と、圧縮機構部 12 を駆動するモータ 11 とを含む。インバータ 20 は、運転モードとして、指令値に対応する回転速度に近づくようにモータ 11 を制御する速度制御モードと、モータ 11 に流れる電流を検出してモータ 11 の出力が目標値に近づくようにモータ 11 の回転速度を制御する出力制御モードとを有する。

10

【0085】

このような構成とすることによって、四方弁 5 の切り替えによって変化する冷媒状態に応じてインバータ 20 の運転モードを速度制御モードと出力制御モードとで使い分けることが可能となる。このため、短時間に冷媒状態が変化する場合でも自動的に回転速度の追従が可能で、能力向上が可能な冷凍サイクル装置が提供できる。

【0086】

インバータ 20 は、除霜運転において、出力制御モードを用いて動作することが可能に構成される。これにより、ヒートポンプの弱点である除霜時間を短縮できる冷凍サイクル装置が提供できる。

20

【0087】

図 10 に示した例では、出力制御モードは、外部から与えられる指令値 $*_1$ が示す値が、インバータ 20 の直流電圧とモータ 11 の特性値とモータ 11 の電流とによって定まる回転速度上限値 m_{max} 以上になった場合に使用される。したがって、外部から与えられる指令値 $*_1$ のみで出力制御モードが適用されるため、インタフェースの変更点が少なく実現性において優れた冷凍サイクル装置が提供できる。

【0088】

図 8 に示すように、運転モードは、除霜運転において (S1 で YES)、除霜開始時には速度制御モードに設定され (S5)、除霜開始から一定時間が経過した後に (S2 で YES)、速度制御モードから出力制御モードに切り替えられる (S4)。

30

【0089】

図 1 に示す冷凍サイクル装置 100 は、圧縮機 1 が吐出する冷媒の吐出温度 T_d を計測する温度センサ 30 をさらに備える。図 8 に示すように、運転モードは、圧縮機 1 の吐出温度 T_d が判定値より高い場合には (S3 で NO)、速度制御モードに設定され (S5)、圧縮機 1 の吐出温度 T_d が判定値より低い場合には (S3 で YES)、出力制御モードに設定される (S4)。

【0090】

図 11 に示すように、モータ 11 の回転子 66 は、複数の永久磁石 71 と鉄心 70 とを含む。図 12 に示すように、鉄心 70 は、複数の永久磁石 71 のうち隣接する磁石 71A、71B 同士の間位置する q 軸上においてラジアル方向に延伸し、隣接する磁石 71A、71B の位置保持を行なうブリッジ部 72A を有する。このような構成とすることによって、高回転化に伴うモータ剛性への影響が小さく、実現性において優れたモータとインバータとの組み合わせとなる冷凍サイクル装置が提供できる。

40

【0091】

図 15 に示すように、インバータ 20 は、モータ 11 の電流の振幅と位相を制御する d 軸電流指令演算部 111 を有する。d 軸電流指令演算部 111 は、出力制御モード中は、モータ 11 の電流が最大定格値 I_{max} になるように電流指令値 I_d^* を制御する。このような構成とすることによって、高回転化に伴う液バックの懸念をモータの発熱量増加により解消するため、より信頼性の高い冷凍サイクル装置が提供できる。

【0092】

50

今回開示された実施の形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本開示の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

【0093】

1 圧縮機、1 a 吐出管、1 b 吸入管、2 室外熱交換器、4 室内熱交換器、3 絞り装置、5 四方弁、6 アクкумуляター、11 モーター、11 a, 74 巻線、11 b, 70 鉄心、12 圧縮機構部、13 筐体、15 制御装置、20, 20A インバータ、21 出力制御部、22 モード判断部、23 冷凍サイクル制御部、30 温度センサ、40 電力変換部、41, 41A 制御回路、42 a, 42 b 電流センサ、50 d q 変換部、51 速度推定部、52 速度制御部、55 d q 逆変換部、61 セレクタ、66 回転子、67 固定子、71 永久磁石、71 A, 71 B 磁石、72 A ブリッジ部、100 冷凍サイクル装置、101, 102 延長配管、103 室外機、104 室内機、105 冷媒回路、110, 111 軸電流指令演算部、112 電圧指令演算部、113 位相演算部、120 最小値選択部、121 速度上限演算部、152, 412 メモリ。

10

20

30

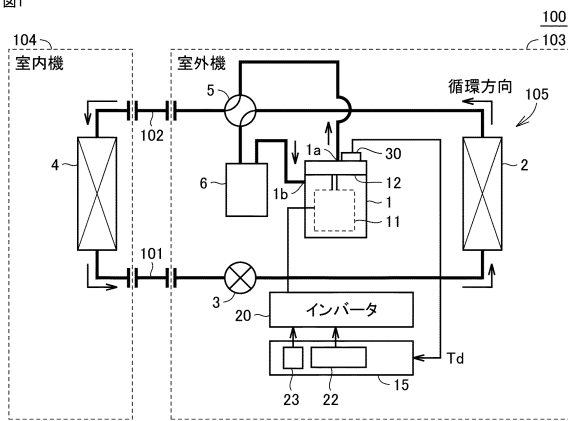
40

50

【図面】

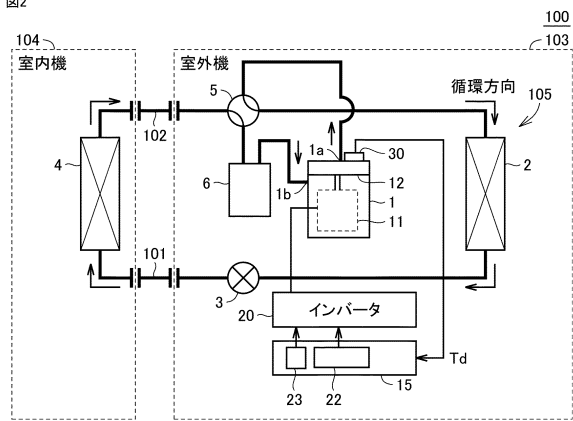
【図 1】

図1



【図 2】

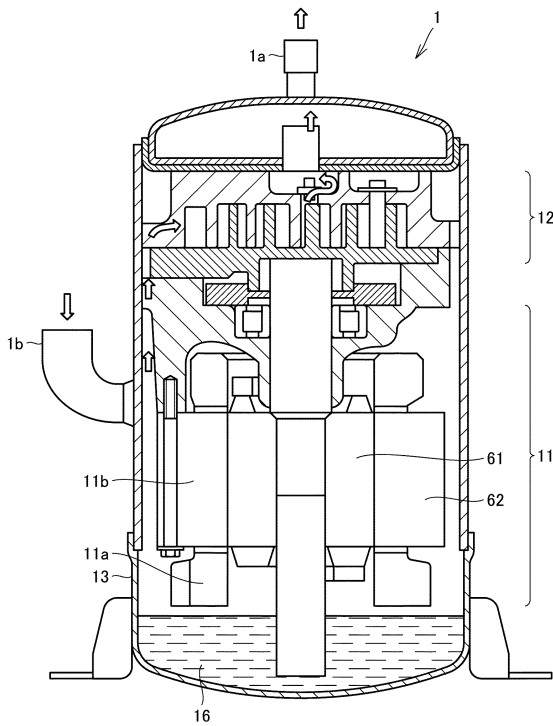
図2



10

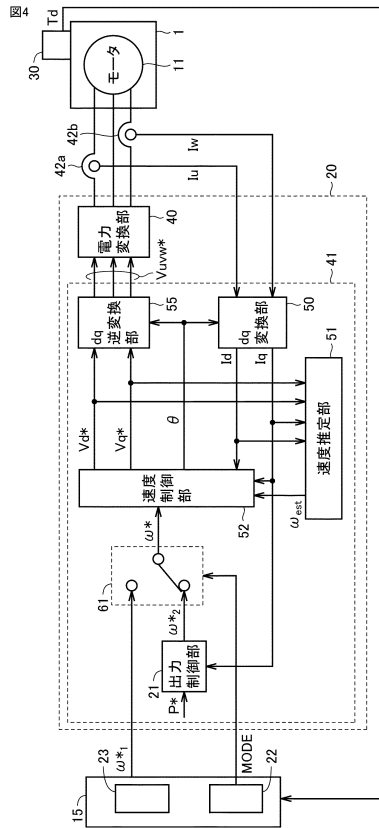
【図 3】

図3



【図 4】

図4



20

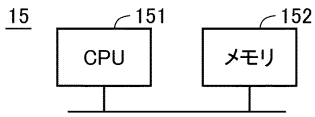
30

40

50

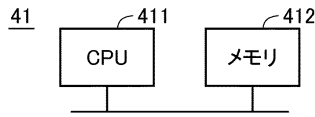
【 図 5 】

図5



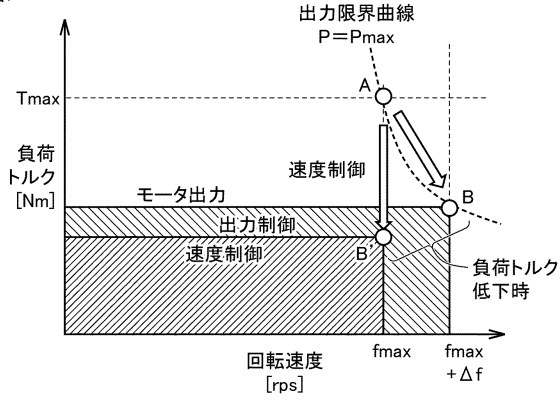
【 図 6 】

図6



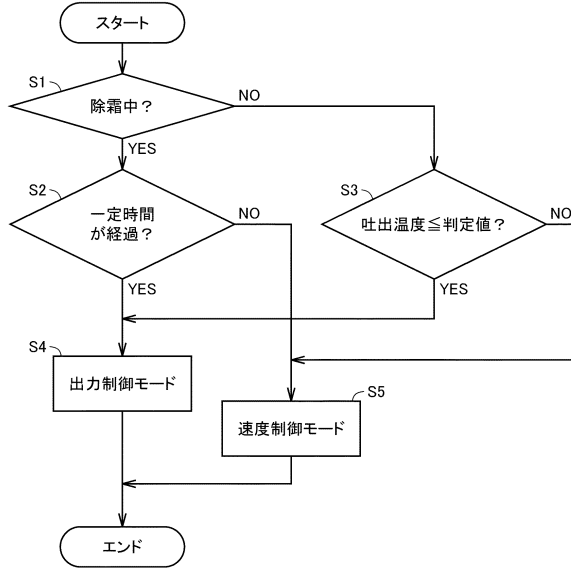
【 図 7 】

図7



【 図 8 】

図8



10

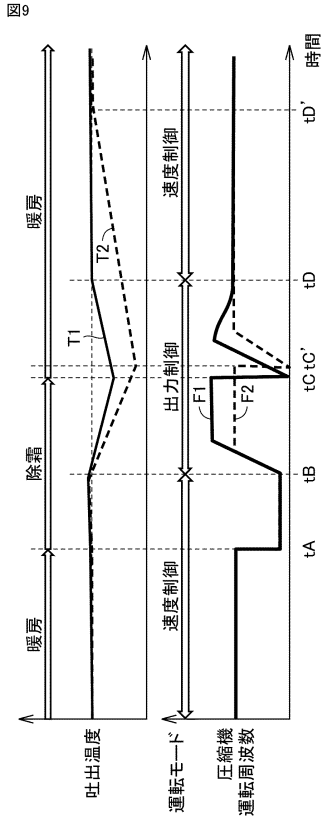
20

30

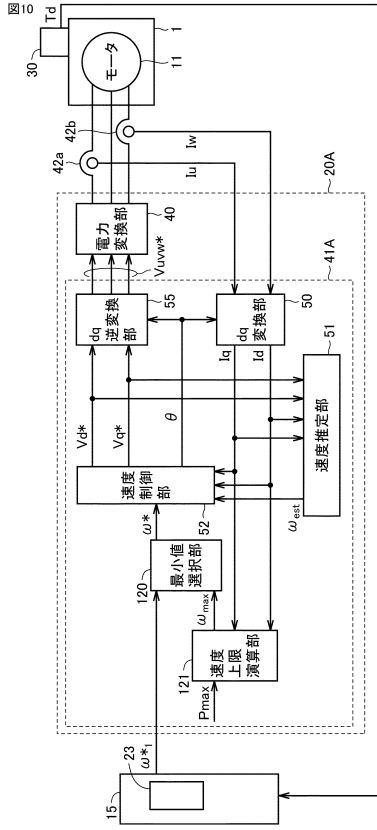
40

50

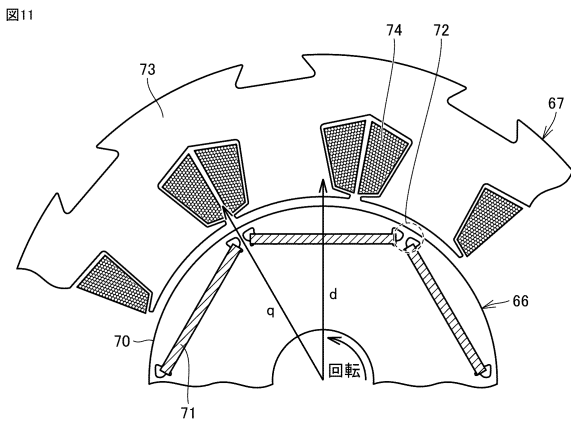
【図 9】



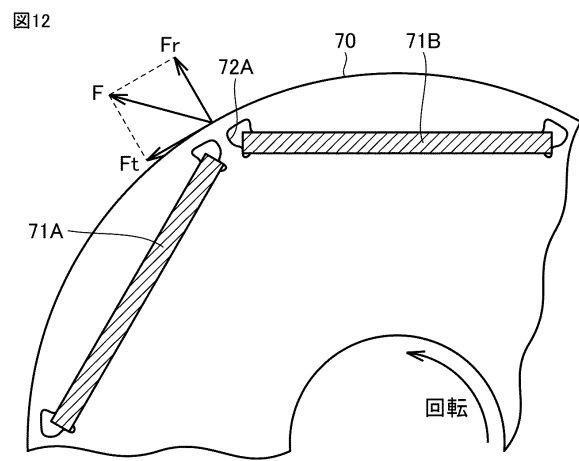
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

20

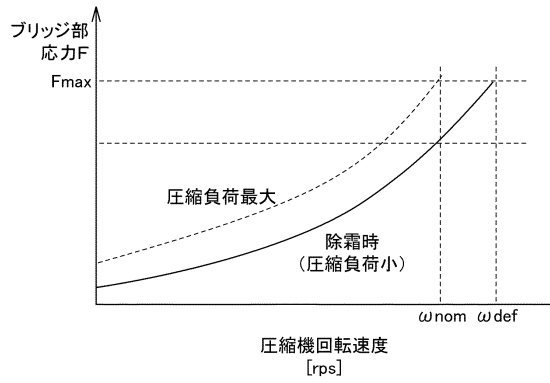
30

40

50

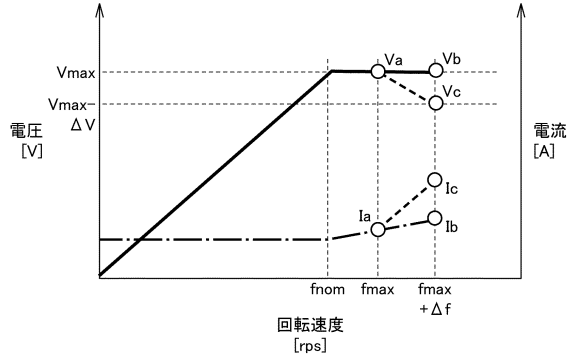
【図 1 3】

図13



【図 1 4】

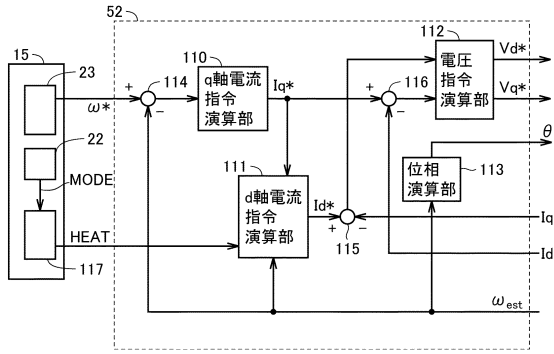
図14



10

【図 1 5】

図15



20

30

40

50

フロントページの続き

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 森山 拓哉

- (56)参考文献 特開2010-8003(JP,A)
特開平6-265244(JP,A)
国際公開第2020/008620(WO,A1)
特開2006-191775(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
F25B 47/02