

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-184872

(P2020-184872A)

(43) 公開日 令和2年11月12日 (2020.11.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02P 21/36 (2016.01)	H02P 21/36	3H131
F04D 19/04 (2006.01)	F04D 19/04	H505
H02P 3/18 (2006.01)	H02P 3/18	D5H30
H02P 21/24 (2016.01)	H02P 21/24	
H02P 27/08 (2006.01)	H02P 27/08	

審査請求 有 請求項の数 12 O L 外国語出願 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2020-36409 (P2020-36409)	(71) 出願人	391043675
(22) 出願日	令和2年3月4日 (2020.3.4)		ブファイファー・ヴァキューム・ゲーエム
(31) 優先権主張番号	19172846		ベーハー
(32) 優先日	令和1年5月6日 (2019.5.6)		ドイツ連邦共和国 35614 アスラー
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)		, ベルリーナー・シュトラッセ 43
		(74) 代理人	100069556
			弁理士 江崎 光史
		(74) 代理人	100111486
			弁理士 鍛冶澤 實
		(74) 代理人	100191835
			弁理士 中村 真介
		(72) 発明者	ジノウ・ワン
			ドイツ連邦共和国、35606 ゴルムス
			ーオーバービル、シュロスブリック、1
			5

最終頁に続く

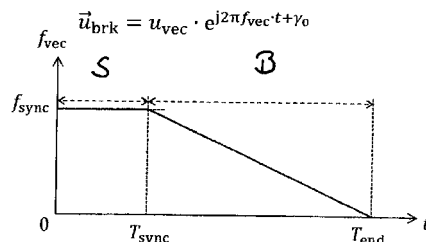
(54) 【発明の名称】 永久磁石同期モータのための制動方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】モータ又はポンプのスイッチを切った後、速く停止にすることができ、センサレス永久磁石同期モータの制動方法を提供する。

【解決手段】開放制御回路の場合で制動するために、永久磁石同期モータが、回転電圧ベクトルによってのみ制御される。その際、この制動方法が同期ステップ（この同期ステップでは、永久磁石同期モータが一定振幅及び一定回転周波数の回転同期電圧ベクトルで制御されている）と時間的に続く制動ステップ（この制動ステップでは、回転制動電圧ベクトルを有する永久磁石同期モータが、値ゼロまで時間的に減少する回転周波数で制御されている）とを含む。パルス幅変調に基づくセンサレス永久磁石同期モータを制御するための装置も提供されている。特に、制動方法及び装置は、真空ポンプ、好ましくはターボ分子ポンプのそれぞれの駆動の為に適応可能である。

【選択図】 図9



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

パルス幅変調に基づく空間ベクトル変調によって操作可能なセンサレス永久磁石同期モータ、特に真空ポンプ、好ましくはターボ分子ポンプの永久磁石同期モータを制動するための方法において、

開放制御ループの場合で制動するために、永久磁石同期モータが、回転電圧ベクトル

【数 1】

$$\vec{u}_{brk}$$

によってのみ制御され、

制動方法は、永久磁石同期モータが一定振幅 (u_{syn}) 及び一定回転周波数 (f_{syn}) の回転同期電圧ベクトルで制御されている、同期ステップ (S) と、及び永久磁石同期電動機が、値ゼロまで時間的に減少する回転周波数 (f_{vec}) の回転制動電圧ベクトルで制御されている、時間的に後続の制動ステップ (B) とを含む、当該方法。

10

【請求項 2】

回転制動電圧ベクトルの振幅 (u_{vec}) は、制動ステップ (B) の間、最終値 (u_{end}) > 0 まで時間的に直線的に減少すること、を特徴とする請求項 1 に記載の制動方法。

【請求項 3】

回転制動電圧ベクトルの回転周波数 (f_{vec}) は、制動ステップ (B) の間、少なくとも基本的に、回転同期電圧ベクトルの回転周波数 (f_{syn}) から出発して、値ゼロまで時間的に減少すること、を特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の制動方法。

20

【請求項 4】

回転制動電圧ベクトルの振幅 (u_{vec}) は、制動ステップ (B) の間、少なくとも基本的に、回転同期電圧ベクトルの振幅 (u_{syn}) から出発して、最終値 (u_{end}) > 0 V まで時間的に直線的に減少すること、を特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の制動方法。

【請求項 5】

同期ステップ (S) は、永久磁石同期モータのロータが、回転同期電圧ベクトルと同期して回転するのに十分大きい、所定の同期時間周期 (T_{syn}) に渡って、永久磁石同期モータの磁界方向制御と制動プロセスの間の遷移ステップとして実施されること、を特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の制動方法。

30

【請求項 6】

回転制動電圧ベクトルの回転周波数 (f_{vec}) は、制動ステップ (B) の間、値ゼロまで時間的に直線的に減少すること、を特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の制動方法。

【請求項 7】

回転制動電圧ベクトルの回転周波数 (f_{vec}) は、制動ステップ (B) の間、時間セグメントにおいて値ゼロまで時間的に減少し、その回転周波数はセグメントからセグメントへ徐々に縮小する、又は減少割合が縮小すること、を特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の制動方法。

【請求項 8】

回転制動電圧ベクトルの回転周波数 (f_{vec}) は、それぞれの時間セグメントにおいて時間的に直線的に減少すること、を特徴とする請求項 7 に記載の制動方法。

40

【請求項 9】

回転制動電圧ベクトルの回転周波数 (f_{vec}) は、制動ステップ (B) の間、二つの連続した時間セグメントにおいて値ゼロまで時間的に減少し、この回転周波数が同期ステップ (S) の次にくる時間的に直後の第一のセグメントにおいて、後続のセグメントよりも速く減少すること、を特徴とする請求項 7 又は 8 のいずれか 1 項に記載の制動方法。

【請求項 10】

回転制動電圧ベクトルの回転周波数 (f_{vec}) は、制動ステップ (B) の間、三つの連続した時間セグメントにおいて値ゼロまで時間的に減少し、この回転周波数が同期ステッ

50

ブ (S) の次にくる時間的に直後の第一セグメントにおいて後続の第二セグメントよりも速く減少し、及び第二セグメントにおいて後続の第三セグメントよりも速く減少し、このセグメントでは最終的に値ゼロに至ること、を特徴とする請求項 7 又は 8 のいずれか 1 項に記載の制動方法。

【請求項 1 1】

センサレス永久磁石同期モータを制動するための三相インバータ (1 0) は、請求項 1 ~ 1 0 のいずれか 1 項に記載の制動方法に応じて、制御装置によって制御可能であることを特徴とする、三相インバータ (1 0) 、特に 2 レベル三相インバータ及び制御装置を有する、パルス幅変調に基づきセンサレス永久磁石同期モータを制御するための、特に真空ポンプ、好ましくはターボ分子ポンプのセンサレス永久磁石同期モータを制御するための装置。

10

【請求項 1 2】

駆動ユニットは、センサレス永久磁石同期モータを含み、この永久磁石同期モータが請求項 1 1 に従った装置によって及び / 又は請求項 1 ~ 1 0 のいずれか 1 項に記載の制動方法に応じて制御可能であることを特徴とする、ステータとステータに対して相対的にロータ軸線を中心として回転可能に支承されているロータ及び少なくとも一つの駆動装置とを有する真空ポンプ、特にターボ分子ポンプ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

20

本発明は、パルス幅変調に基づく空間ベクトル変調によって操作可能なセンサレス永久磁石同期モータ、特に真空ポンプ、好ましくはターボ分子ポンプの永久磁石同期モータを制動するための方法に関する。更に、本発明は、パルス幅変調に基づくセンサレス永久磁石同期モータを制御するための装置、並びに一つのそのような装置によって制御可能なセンサレス永久磁石同期モータを有する真空ポンプ、特にターボ分子ポンプに関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

例えばターボ分子ポンプのような真空ポンプは、それぞれのプロセスのために必要な真空を提供するために、様々な分野の技術で利用される。ターボ分子ポンプは、ロータ軸線の方向に前後して配置されている複数のステータディスクを有する 1 つのステータと、ステータに対して相対的にロータ軸線を中心として回転可能に支承されている 1 つのロータとを含む。このロータは、1 つのロータシャフトと、このロータシャフト上に配置され、軸方向に連続し且つステータディスク間に配置された複数のロータディスクとを含む。その際、これらのステータディスクとこれらのロータディスクとは、それぞれのポンプ作用構造を有する。

30

【 0 0 0 3 】

空間ベクトル変調とは、パワーエレクトロニクスにおいて、パルス幅変調に基づく回転電気機械を制御するための方法である。この変調方式に基づいて、多相交流システムが、三相交流機の技術分野のために必要になるような複数の電子経路を模倣することが可能である。空間ベクトル表示により、機械内の磁束密度の分布を設定するためには、2 つの変数である空間ベクトルの角度とこの空間ベクトルの絶対値又は実数部及び / 又は虚数部とで十分である。三相システムを模倣するために、1 つのハーフブリッジが、3 つの相のそれぞれの相に必要とされる。このハーフブリッジによって、U , V , W 相の出力電圧が、正の及び負の中間回路電位に印加される。

40

【 0 0 0 4 】

センサレスモータ制御は、ロータの一定の回転数以上のみ機能する。ロータ停止までの低回転数域内において、モータはスイッチを切った場合に制御されない。非常に小さな逆起電力 (E M K : 起電力 (独語 : E l e k t r o M o t o r i s c h e K r a f t)) を考慮すると、三相短絡は役に立たない。モータは注気なしで運転し続けるが、主に二つの欠点を伴う : まず一方で、モータのロータが停止に至るまでに非常に長い時間がかかる

50

。他方で、その間にモータ若しくはポンプの電源を再投入するようなことがあれば、ロータが回転しているので速度上昇（独語：Hochschleppen）又は起動が、確実にできないという問題が発生する。場合によっては、ロータが許容回転数まで正常に速度上昇するまで、いくつかのトライを実施しなければならない。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明は、前述の欠点を排除した、冒頭で述べた種類の真空ポンプと、制御装置と、制動方法とを提供することを課題とする。その際、センサレス永久磁石同期モータのロータは、モータ若しくはポンプのそれぞれのスイッチを切った後、速く停止に至り、及びそれぞれのスイッチを再び入れた後にモータ若しくはポンプの誤った速度上昇の危険が最小限に縮小されるということが、可能なかぎり簡単な且つ信頼できる方法で、特に達成されるべきである。

10

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明によれば、この課題は、請求項1に記載の特徴を有する方法、請求項11に記載の特徴を有する装置、及び請求項12に記載の特徴を有する真空ポンプによって解決される。本発明による方法の好ましい実施形態は、従属請求項、本明細書及び図面に記載されている。

【0007】

20

パルス幅変調に基づく空間ベクトル変調によって操作可能なセンサレス永久磁石同期モータ、特に真空ポンプ、好ましくはターボ分子ポンプの永久磁石同期モータを制動するための本発明による方法は、開放制御回路の場合で制動するために永久磁石同期モータが回転電圧ベクトルによってのみ制御され、及び制動方法は同期ステップ（この同期ステップでは、永久磁石同期モータが一定振幅及び一定回転周波数の回転同期電圧ベクトルで制御されている）と、時間的に後続の制動ステップ（この制動ステップでは、永久磁石同期モータが回転制動電圧ベクトルによって、値ゼロまで時間的に減少する回転周波数で制御されている）を含むことを特徴とする。

【0008】

この方法の形態に基づいて、センサレス永久磁石同期モータのロータは、モータ又はポンプのスイッチを切った後、速く停止に至ることが、簡単な、信頼できる方法で達成される。それによって、特に、モータ若しくはポンプのそれぞれのスイッチを再び入れた後でのモータ若しくはポンプの誤った速度上昇の危険も、最小限に縮小される。同期ステップは、磁界方向制御と制動プロセスの間の遷移として使用する。その同期ステップの間の一定回転電圧ベクトルは、ロータ回転が電圧ベクトルと同期するために使用する。それから、あらかじめ定義した時間の後、制動ステップが開始し、この制動ステップの場合には、電圧ベクトルの回転周波数が値ゼロまで減少する。

30

【0009】

制動ステップの間、回転制動電圧ベクトルの振幅は、最終値 $> 0\text{ V}$ まで時間的に、好ましくは直線的に減少する。

40

【0010】

回転制動電圧ベクトルの回転周波数は、制動ステップの間、好ましくは、少なくとも基本的に、回転同期電圧ベクトルの回転周波数から出発して、値ゼロまで時間的に減少する。

【0011】

回転制動電圧ベクトルの振幅は、制動ステップの間、好ましくは、少なくとも基本的に、回転同期電圧ベクトルの振幅から出発して、最終値 $> 0\text{ V}$ まで時間的に直線的に減少する。

【0012】

好ましくは、同期ステップは、永久磁石同期モータのロータが、回転同期電圧ベクトル

50

と同期して回転するのに十分大きい、所定の同期時間周期に渡って、永久磁石同期モータの磁界方向制御と制動プロセスとの間の遷移ステップとして実施される。

【0013】

それ故に、制動プロセスが開始する前に、ロータ速度が同期電圧ベクトルの回転周波数と同期されるということが保証されている。

【0014】

本発明による制動方法の適切で実践的な一つの実施例は、回転制動電圧ベクトルの回転周波数が、制動ステップの間に、値ゼロまで時間的に直線的に減少することを特徴とする。

【0015】

本発明による方法の代替的に有利な実施例に従って、回転制動電圧ベクトルの回転周波数は、制動ステップの間、時間セグメントにおいて、値ゼロまで時間的に減少する。その際、回転周波数はセグメントからセグメントへ徐々に縮小し、若しくは減少割合が縮小する。

10

【0016】

その際、制動電圧ベクトルの回転周波数が、それぞれの時間セグメントにおいて、時間的に直線的に減少する時、特に有利である。

【0017】

本発明による制動方法の、好ましい実践的な一つの実施例に従って、回転制動電圧ベクトルの回転周波数は、制動ステップの間、二つの連続した時間セグメントにおいて、値ゼロまで時間的に減少する。その際、この回転周波数が、時間的に同期ステップの直後の第一セグメントにおいて、後続のセグメントよりも速く減少する。

20

【0018】

本発明による制動方法の代替的で適切な一つの実施例に従って、回転制動電圧ベクトルの回転周波数は、制動ステップの間、三つの連続した時間セグメントにおいて、値ゼロまで時間的に減少する。その際、この回転周波数は時間的に同期ステップの直後の第一のセグメントにおいて、後続の第二セグメントよりも速く減少し、及び第二セグメントにおいて、後続の第三セグメントよりも速く減少し、この第三セグメントにおいて、最終的に値ゼロに達する。

【0019】

パルス幅変調に基づくセンサレス永久磁石同期モータを制御するための、特に真空ポンプ、好ましくは、ターボ分子ポンプのセンサレス永久磁石同期モータを制御するための本発明による装置は、これが三相インバータ、特に2レベル三相インバータ及び制御装置を含み、並びにセンサレス永久磁石同期モータを制動するために、三相インバータが、本発明による制御方法に応じて、制御装置によって制御可能であることを特徴とする。

30

【0020】

一つのステータ及びステータに対して相対的にロータ軸線を中心として回転可能に支承されている一つのロータ並びに少なくとも一つの駆動装置を含む本発明による真空ポンプ、特にターボ分子ポンプは、駆動装置がセンサレス永久磁石同期モータを含み、この永久磁石同期モータが、本発明による装置によって及び/又は本発明による制動方法に応じて制御可能であることを特徴とする。

40

【0021】

本発明は、以下で添付の図面を参照しつつ一例に過ぎない有利な実施例に基づいて説明される。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】ターボ分子ポンプの斜視図である。

【図2】図1のターボ分子ポンプの下面図である。

【図3】図2に示された切断線A - Aに沿ったターボ分子ポンプの断面図である。

【図4】図2に示された切断線B - Bに沿ったターボ分子ポンプの断面図である。

50

【図 5】図 2 に示された切断線 C - C に沿ったターボ分子ポンプの断面図である。

【図 6】センサレス永久磁石同期モータを本発明に従って制御するために使用可能である、例示的な三相インバータの概略図である。

【図 7】空間ベクトル変調のための例示的な有効電圧ベクトルの概略図である。

【図 8】直交座標系で示され、電圧ベクトルによって表す例示的な任意の電圧である。

【図 9】本発明による制動方法の例示的な形態（この場合には、回転同期電圧ベクトルの回転周期は制御ステップの間、ゼロ数値まで線形に減少する）に従った、制動ステップ若しくは同期ステップの間の、回転制動電圧ベクトル及び回転同期電圧ベクトルの回転周波数の時間経過である。

【図 10】本発明による制動方法の例示的な形態（この場合には、回転同期電圧ベクトルの振幅は制御ステップの間、最終値 > 0 V まで時間的に直線的に減少する）に従った制動ステップ若しくは同期ステップの間、回転制動電圧ベクトル及び回転同期電圧ベクトルの振幅の時間経過である。

10

【図 11】本発明による制動方法の例示的な形態（この場合には、回転同期電圧ベクトルの回転周波数が、制御ステップの間に、二つの連続した時間セグメントで異なる速度をもって減少する）に従った制動ステップ若しくは同期ステップの間、回転制動電圧ベクトル及び回転同期電圧ベクトルの回転周波数の時間経過である。

【図 12】本発明による制動方法の例示的な形態（この場合には、回転同期電圧ベクトルの回転周波数が、制御ステップの間に、三つの連続した時間セグメントで異なる速度をもって減少する）に従った制動ステップ若しくは同期ステップの間、回転制動電圧ベクトル及び回転同期電圧ベクトルの回転周波数の時間経過である。

20

【発明を実施するための形態】

【0023】

図 1 に示されたターボ分子ポンプ 111 は、インレットフランジ 113 に取り囲まれたポンプインレット 115 を有する。そのポンプインレットには、既知の方法で図示されていないレシーバーを接続することができる。レシーバーからのガスは、ポンプインレット 115 を介してレシーバーから吸引し得、及びポンプを通してポンプアウトレット 117 へと搬送することができる。ポンプアウトレットに、例えばロータリーベーンポンプのような予真空ポンプを接続することができる。

【0024】

30

インレットフランジ 113 は、図 1 の真空ポンプの向きにおいては真空ポンプ 111 のハウジング 119 の上側の端部を形成する。ハウジング 119 は、下部分 121 を含み、その側面にエレクトロニクスハウジング 123 が配置されている。エレクトロニクスハウジング 123 内には、例えば真空ポンプに配置されている電動モータ 125 を駆動するための、真空ポンプ 111 の電子的及び / 又は電気的コンポーネントが収容されている。エレクトロニクスハウジング 123 には、アクセサリの為の複数の接続部 127 が設けられている。その上、例えば RS 485 スタンドアに従うデータインターフェース 129、及び電源供給接続部 131 がエレクトロニクスハウジング 123 に配置されている。

【0025】

40

ターボ分子ポンプ 111 のハウジング 119 には、特にフローバルブの形式のフローインレット 133 が設けられており、これを介して真空ポンプ 111 をフローすることができる。その上、下部分 121 の領域内には、シールガスコネクタ 135（このシールガスコネクタは、フラッシュガスコネクタとも称される）が配置されている。これを介して、フラッシュガスが、ポンプが搬送するガスに対する電動モータ 125（例えば図 3 参照）を保護するために、モータ室 137（この中に真空ポンプ 111 の電動モータ 125 が組み込まれている）内へと運ぶことができる。下部分 121 内には、更に二つの冷却媒体コネクタ 139 が配置されている。その際、この冷却媒体コネクタの一方は、冷却媒体の為のインレットとして、そして他方の冷却媒体コネクタは冷却媒体の為のアウトレットとして設けられている。この冷却媒体は、冷却目的のために真空ポンプ内に導くことができる。

50

【 0 0 2 6 】

真空ポンプの下面 1 4 1 は、起立面として使用することができるので、真空ポンプ 1 1 が下側 1 4 1 で起立して作動することができる。しかし、真空ポンプ 1 1 1 は、インレットフランジ 1 1 3 を介してレシーバーに固定することもでき、それ故にいわば吊架されて作動することもできる。その上、真空ポンプ 1 1 1 は、図 1 に示されたものと異なった向きとされているときにも、作動することもできるよう形成することができる。下面 1 4 1 は下向きではなく、横向き、又は上向きに配置することができる場合の真空ポンプの実施例もまた実現可能である。

【 0 0 2 7 】

図 2 に図示されている下面 1 4 1 には、更にいくつかのねじ 1 4 3 が配置されており、これらによってここでは別に特定されていない真空ポンプの構造部材が互いに固定されている。例えば軸受カバー 1 4 5 は、下面 1 4 1 に固定されている。

10

【 0 0 2 8 】

その上、下面 1 4 1 には、複数の固定孔部 1 4 7 が配置されており、これらを介してポンプ 1 1 が例えば載置面に固定することができる。

【 0 0 2 9 】

図 2 から 5 には、冷却媒体導管 1 4 8 が図示されており、この中では冷却媒体コネクタ 1 3 9 を介して導入及び導出される冷却媒体が循環し得る。

【 0 0 3 0 】

図 3 から 5 の断面図が示すように、真空ポンプは、ポンプインレット 1 1 5 に存在するプロセスガスをポンプアウトレット 1 7 7 へ搬送する為の複数のプロセスガスポンプ段を有する。

20

【 0 0 3 1 】

ハウジング 1 1 9 内にはロータ 1 4 9 が配置されており、これは、回転軸線 1 5 1 を中心として回転可能なロータシャフト 1 5 3 を有する。

【 0 0 3 2 】

ターボ分子ポンプ 1 1 1 は、ポンプ作用を奏する、互いに直列に接続された複数のターボ分子ポンプ段を有する。これは、ロータシャフト 1 5 3 に固定された半径方向の複数のロータディスク 1 5 5 を有し、ロータディスク 1 5 5 間に配置され、ハウジング 1 1 9 内に固定されたステータディスク 1 5 7 を有する。この場合、一つのロータディスク 1 5 5 と隣接する一つのステータディスク 1 5 7 は、各々一つのターボ分子的ポンプ段を形成する。ステータディスク 1 5 7 は、スペーシング 1 5 9 によって互いに所望の軸方向間隔に保持されている。

30

【 0 0 3 3 】

その上、真空ポンプは半径方向において互いに入れ子式に配置され、及びポンプ作用を奏する、互いに直列に接続された複数のホルベックポンプ段を有する。ホルベックポンプ段のロータは、ロータシャフト 1 5 3 に配置されたロータハブ 1 6 1 とロータハブ 1 6 1 に固定され、そしてこれによって担持されるシリンダー側面形状の二つのホルベックロータスリーブ 1 6 3 , 1 6 5 を有する。これらは、回転軸線 1 5 1 に対して同軸に向けられており、及び半径方向において互いに入れ子式に接続されている。更に、シリンダー側面形状の二つのホルベックステータスリーブ 1 6 7 , 1 6 9 が設けられている。これらは同様に回転軸線 1 5 1 に対して同軸に向けられており、半径方向でみて入れ子式に接続されている。

40

【 0 0 3 4 】

ホルベックポンプ段のポンプ作用表面は、カバー面によって、つまりホルベックロータスリーブ 1 6 3 , 1 6 5 とホルベックステータスリーブ 1 6 7 , 1 6 9 の半径方向内側面及び / 又は外側面によって形成されている。外側のホルベックステータスリーブ 1 6 7 の半径方向内側面は、外側のホルベックロータスリーブ 1 6 3 の半径方向外側面と、半径方向のホルベック間隙 1 7 1 を形成しつつ向き合っており、そしてこれと共にターボ分子ポンプに続く第一のホルベックポンプ段を形成する。外側のホルベックロータスリーブ 1 6

50

3の半径方向内側面は、内側のホルベックステータスリーブ169の半径方向外側面と、半径方向のホルベック間隙173を形成しつつ向かい合っており、そしてこれと共に第二のホルベックポンプ段を形成する。内側のホルベックステータスリーブ169の半径方向内側面は、内側のホルベックロータスリーブ165の半径方向外側面と、半径方向のホルベック間隙175を形成しつつ向き合っており、そしてこれと第三のホルベックポンプ段を形成する。

【0035】

ホルベックロータスリーブ163の下側の端部には、半径方向に延びるチャンネルを設けることができる。これを介して半径方向外側に位置するホルベック間隙171が中央のホルベック間隙173と接続されている。更に、内側のホルベックステータスリーブ169の上側の端部には、半径方向に延びるチャンネルを設けることができる。これを介して中央のホルベック間隙173が半径方向内側に位置するホルベック間隙175と接続されている。これによって、入れ子式に接続された複数のホルベックポンプ段が直列に互いに接続される。半径方向内側のホルベックロータスリーブ165の下側の端部には、更に、アウトレット117への接続チャンネル179を設けることができる。

【0036】

ホルベックステータスリーブ163, 165の上述したポンプ作用表面は、各々、スパイラル形状に回転軸線151の周りを軸方向へと推移する複数のホルベック溝を有している。他方で、ホルベックロータスリーブ163, 165の向き合った側面形状は滑らかに形成されており、そしてガスが真空ポンプ111を作動するために、ホルベック溝内で前進させる。

【0037】

ロータシャフト153の回転可能に支承するため、ポンプアウトレット117の領域に転がり軸受181が、そしてポンプインレット115の領域に永久磁石軸受183が設けられている。

【0038】

転がり軸受181の領域には、ロータシャフト153に、転がり軸受181の方に向かって増加する外直径を有する円すい形のスブラッシュナット185が設けられている。スブラッシュナット185は、作動媒体貯蔵部の少なくとも一つのスキマーと滑らかに接触している。作動媒体貯蔵部は、互いに積重ねられた吸収性の複数のディスク187を有している。これらは、転がり軸受181の為の作動媒体、例えば潤滑媒体を染み込ませられている。

【0039】

真空ポンプ111の作動中には、作動媒体が毛細管作用によって作動媒体貯蔵部からスキマーを介して回転するスブラッシュナット185へと伝達され、及び遠心力によってスブラッシュナット185に沿って、スブラッシュナット185の大きくなる外直径の方向へ、転がり軸受181に向かって搬送され、そこで例えば潤滑機能を発揮する。転がり軸受181と作動媒体貯蔵部は、槽形状のインサート189と軸受カバー145によって真空ポンプ内にはめ込まれている。

【0040】

永久磁石軸受183は、ロータ側の軸受半部191とステータ側の軸受半部193を有する。これらは、軸方向に互いに積層されたいくつかの永久磁石の複数のリング195, 197からなる各一つのリング積層部を有する。リングマグネット195, 197は、半径方向の軸受間隙199を形成しつつ向かい合っており、その際、ロータ側のリングマグネット195は半径方向外側に、及びステータ側のリングマグネット197は半径方向内側に配置されている。軸受間隙199内に存在する磁場は、ロータシャフト153の半径方向の支承を行うリングマグネット195, 197の間に磁気的反発力を引き起こす。ロータ側のリングマグネット195は、リングマグネット195を半径方向外側で取り囲んでいるロータシャフト153の担持部分201によって担持されている。ステータ側のリングマグネット197は、リングマグネット197を通して延在しており、及びハウジン

グ 1 1 9 の半径方向の支柱 2 0 5 に懸架されているステータ側の担持部分 2 0 3 によって担持されている。回転軸線 1 5 1 に対して平行に、ロータ側のリングマグネット 1 9 5 は、担持部分 2 0 3 と連結されたカバー要素 2 0 7 によって固定されている。ステータ側のリングマグネット 1 9 7 は、回転軸線 1 5 1 に対して平行に、一方の方向では、担持部分 2 0 3 と接続された固定リング 2 0 9 並びに担持部分 2 0 3 と接続された固定リング 2 1 1 によって固定されている。固定リング 2 1 1 とリングマグネット 1 9 7 の間には、更に、さらばね 2 1 3 を設けることができる。

【 0 0 4 1 】

磁石軸受の内部には、ロータ 1 4 9 の為の半径方向のストッパーを形成するために、真空ポンプ 1 1 1 の通常の作動では非接触で空転し、及びロータ 1 4 9 がステータに対して過剰に半径方向に変位した際に干渉する緊急用若しくは安全用軸受 2 1 5 が設けられている。その場合に、ロータ側の構造がステータ側の構造と衝突するのが防止される。安全用軸受 2 1 5 は非潤滑式の転がり軸受として形成されており、並びにロータ 1 4 9 及び / 又はステータと半径方向の間隙を形成する。この間隔は、安全用軸受 2 1 5 が通常のポンプ作動中は作用しないことに供する。安全用軸受 2 1 5 が作用するに至る半径方向の変位は、安全用軸受 2 1 5 が真空ポンプの通常の作動中、干渉が発生しないよう十分大きく寸法どられており、そして同時に、ロータ側の構造のステータ側の構造との衝突があらゆる状況で防止されるよう十分小さく寸法どられている。

【 0 0 4 2 】

真空ポンプ 1 1 1 は、ロータ 1 4 9 を回転駆動するための電動モータ 1 2 5 を有する。電動モータ 1 2 5 のアンカーは、ロータ 1 4 9 によって形成されており、そのロータシャフト 1 5 3 は、モータステータ 2 1 7 を通って延びている。モータステータ 2 1 7 を通って延在するロータシャフト 1 5 3 の部分には、永久磁石装置が半径方向外側に、又は埋め込まれて設けることができる。モータステータ 2 1 7 とモータステータ 2 1 7 を通って延在するロータ 1 4 9 の部分の間には、半径方向のモータ間隙を有する中間空間 2 1 9 が配置されており、モータ間隙を介してモータステータ 2 1 7 と永久磁石装置が、駆動トルクを伝達するために磁氣的に影響し得る。

【 0 0 4 3 】

モータステータ 2 1 7 は、ハウジング内において、電動モータ 1 2 5 の為に設けられたモータ空間 1 3 7 の内部に固定されている。シールガスコネクタ 1 3 5 を介してシールガス（これはフラッシュガスとも称され、及び空気又は窒素であることが可能である）がモータ室 1 3 7 に至ることが可能である。シールガスを介して電動モータ 1 2 5 はプロセスガス、例えば腐食作用のプロセスガスの部分から保護することができる。モータ室 1 3 7 は、ポンプアウトレット 1 1 7 を介しても真空引きされることができ、即ちモータ室 1 3 7 内は少なくとも近似的に、ポンプアウトレット 1 1 7 に接続される予真空ポンプによって引き起こされる真空圧となる。

【 0 0 4 4 】

その上、ロータハブ 1 6 1 とモータ室 1 3 7 を画成する壁部 2 2 1 の間には、特に、半径方向外側に位置するホルベックポンプ段に対するモータ室 2 1 7 のより良好なシールを達成するために、それ自体公知のいわゆるラビリンズシール 2 2 3 を設けることができる。

【 0 0 4 5 】

次に説明する本発明の実施例は、例えば、前述の図 1 から 5 に基づいて記載されているような真空ポンプと接続して使用することができる。

【 0 0 4 6 】

図 6 は、それぞれ U , V , W 相の出力電圧 u_v , u_u , u_w を、正又は負の中間回路電位 U_{dc} に印加することができるように、3つの相 $\zeta = U$, V , W のそれぞれの相に対して1つのハーフブリッジを有する例示的な三相インバータ 10 を概略図で示す。切替状態 $s_\zeta = H$ であるときに、それぞれの相 ζ の電圧電位 u_ζ が、値 U_{dc} をとり、切替状態 $s_\zeta = L$ であるときに、それぞれの相 ζ の電圧電位 u_ζ が、値 0 をとる。所定のデューティ

10

20

30

40

50

比 $\lambda_z \in [0, 1]$ の場合、電圧 $u_z = \lambda_z \times U_{dc}$ が、それぞれの相に対して生じる。

【 0 0 4 7 】

図 7 は、空間ベクトル変調のための例示的な有効電圧ベクトルを概略図で示す。この場合、これらの電圧ベクトル

【 数 1 】

$\vec{u}_z$

は、複数の電圧ベクトルの実数部 u_α と虚数部 u_β とに対応する座標を有する直交座標系で示されている。それぞれの有効電圧ベクトル

【 数 2 】

$\vec{u}_z$

は、3つの相の切替状態に依存する。その結果、以下の関係式：

【 数 3 】

$$\vec{u}_z = f(S_u, S_v, S_w)$$

に相当する。零ベクトル

【 数 4 】

$\vec{u}_0$

は、関係式

【 数 5 】

$$\vec{u}_0 = f(L, L, L)$$

によって定義されている。

【 0 0 4 8 】

図 8 は、直交座標系で示され、電圧ベクトルによって表される例示的な任意の電圧

【 数 6 】

$\vec{u}$

を示す。同様に、電圧

【 数 7 】

$\vec{u}$

の座標は、当該の電圧ベクトルの実数部 u_α と虚数部 u_β とに対応する。したがって、それぞれの電圧が、以下の関係式：

【 数 8 】

$$\vec{u} = u_\alpha + j \times u_\beta$$

によって表すことができる。

【 0 0 4 9 】

本発明による制動方法の場合では、開放制御回路の場合に制動するために、パルス幅変調に基づく操作可能なセンサレス永久磁石同期モータのための例えば図 6 に記載されている 3 相インバータ 10、特に 2 レベル三相インバータが、回転電圧ベクトルによってのみ制御され、それは例えば、関係式

【 数 9 】

$$\vec{u}_{brk} = u_{vec} \cdot e^{j2\pi f_{vec} \cdot t + \gamma_0}$$

によって、定義することができ、この関係式において u_{vec} は回転電圧ベクトルの振幅、 f_{vec} は回転電圧ベクトルの周波数、 t は全制動プロセスの開始時における回転電圧ベクトルの時間、 γ_0 は全制動プロセスの開始時における開始角度を表す。その際、制動プロセスが、本発明による同期ステップ S（この同期ステップでは、永久磁石同期モータが一定振幅（ $u_{vec} = u_{syn}$ ，図 10 参照）及び一定回転数（ $f_{vec} = f_{syn}$ ，図 9，11 及び 12 参照）の特に前述の関係式に基づいて構成されている回転同期電圧ベクトルでもって制御される）、及び時間的に後続の制動ステップ B（この制動ステップでは、永久磁石同期モータが、特に前述の関係式に基づいて構成されている回転制動電圧ベクトルと共に、値ゼロまで時間的に減少する回転周波数でもって制御されている（図 9，11 及び 12 参照））を含む。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 0 】

永久磁石同期モータは、開放制御回路の場合で制動するために、関係式

【 数 1 0 】

$$\vec{u}_{brk} = u_{vec} \cdot e^{j2\pi f_{vec} \cdot t + \gamma_0}$$

に基づいた回転電圧ベクトルによって制御することができる。この回転電圧ベクトルは、同期ステップの間、一定振幅 u_{sync} と、一定回転周波数 f_{sync} の回転同期電圧ベクトルとして、及び制動ステップの間、値ゼロまで時間的に減少する回転周波数 f_{vec} を有する回転制動電圧ベクトルとして実施される。

【 0 0 5 1 】

その際、回転制動電圧ベクトルの振幅 u_{vec} は、制動ステップ B の間、最終値 $u_{end} > 0$ V まで時間的に直線的に減少し得る（図 10 参照）。 10

【 0 0 5 2 】

図 9, 11 及び 12 からわかるように、制動電圧ベクトルの回転周波数 f_{vec} は、制動ステップ B の間、同期電圧ベクトルの回転周波数 f_{sync} から出発して値ゼロまで時間的に減少し得る。

【 0 0 5 3 】

同期ステップ S はそれぞれ時刻 T_{sync} で終了し、制動ステップ B はそれぞれ時刻 T_{end} で終了する。

【 0 0 5 4 】

制動ステップ B の間に実施される回転制動電圧ベクトルの振幅 U_{vec} は、同期ステップ S の間に実施される同期電圧ベクトルの振幅 U_{sync} から出発して最終値 $U_{end} > 0$ まで時間的に直線的に減少し得る（図 10 参照）。 20

【 0 0 5 5 】

同期ステップ S は、永久磁石同期モータのロータが回転同期電圧ベクトルと同期して回転するのに十分大きい、所定の同期時間周期 T_{sync} に渡って、永久磁石同期モータの磁界方向制御と制動プロセスの間の遷移ステップとして実施される。

【 0 0 5 6 】

図 9 からわかるように、回転制動電圧ベクトルの回転周波数 f_{vec} は、制動ステップ B の間、値ゼロまで時間的に直線的に減少し得る。

【 0 0 5 7 】

これに対して、図 11 と図 12 は、本発明による制動方法の例示的な実施形態を示している。これらの場合では、回転制動電圧ベクトルの回転周波数 f_{vec} は、制動ステップ B の間で、それぞれの時間セグメントにおいて、値ゼロまで時間的に減少する。その際、この回転周波数は、セグメントからセグメントへ徐々に縮小し、若しくは減少割合が縮小する。この場合、回転制動電圧ベクトルの回転周波数 f_{vec} は、それぞれの時間セグメントにおいて時間的に直線的に減少する。 30

【 0 0 5 8 】

その際、図 11 に記載されている実施例の場合において、回転制動電圧ベクトルの回転周波数 f_{vec} は、制動ステップ B の間、二つの連続した時間セグメントにおいて値ゼロまで時間的に減少する。その際、この回転周波数は同期ステップ S の直後に続く第一のセグメントにおいて、後続のセグメントよりも速く減少する。 40

【 0 0 5 9 】

それに対して、図 12 は本発明による制動方法の別の変形例を示す。これによれば、回転制動電圧ベクトルの回転周波数 f_{vec} は、制動ステップ B の間に、三つの連続した時間セグメントにおいて、値ゼロまで時間的に減少する。その際、この回転周波数は、同期ステップ S の次にくる、時間的に直後の第一セグメントにおいて、後続の第二セグメントよりも速く減少し、及び第二セグメントにおいて、後続の第三セグメントよりも速く減少し、この第三セグメントでは、それが最終的に値ゼロに至る。

【 0 0 6 0 】

パルス幅変調に基づく一つのセンサレス永久磁石同期モータを制御するための本発明に 50

よる一つの装置は、三相インバータ 10、特に 2 レベル三相インバータと制御装置とを含む。その際、本発明による装置の三相インバータ 10 は、例えば図 6 に記載されている種類のインバータであることが可能である。本発明による装置の制御装置によって、三相インバータ 10 が本発明による制動方法に応じて制御可能である。

【0061】

特に、本発明による制動方法及び本発明による装置は、真空ポンプ、特にターボ分子ポンプのそれぞれの駆動ユニットを制御するために、例えば図 1 ~ 図 5 に記載されている種類の真空ポンプ、特にターボ分子ポンプを制御するために使用可能である。

【0062】

本発明による真空ポンプ、特にターボ分子ポンプは、一つのステータと、ステータに対して相対的にロータ軸線を中心として回転可能に支承された一つのロータと、少なくとも一つの駆動ユニットとを含む。その際、駆動ユニットは、特にセンサレス永久磁石同期モータを含み得、この永久磁石同期モータは本発明による装置によって及び本発明による制動方法に応じて制御可能である。その際、真空ポンプ、特にターボ分子ポンプが例えば図 1 ~ 5 に記載されている様式で実施することができる。

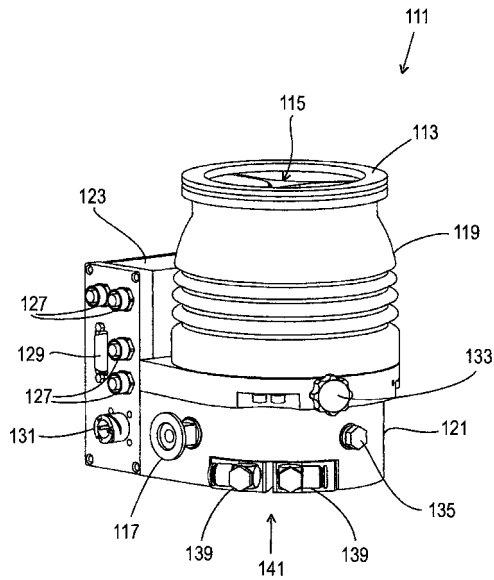
【符号の説明】

【0063】

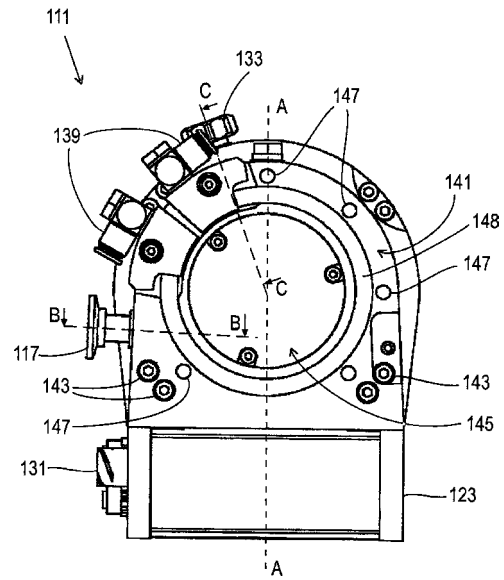
10	三相交流インバータ	
111	ターボ分子ポンプ	10
113	インレットフランジ	
115	ポンプインレット	20
117	ポンプアウトレット	
119	ハウジング	
121	下部分	
123	エレクトロニクスハウジング	
125	電動モータ	
127	アクセサリ接続部	
129	データインターフェース	
131	電源供給接続部	
133	フローインレット	30
135	シールガス接続部	
137	モータ室	
139	冷却媒体接続部	
141	下面	
143	スクリー	
145	軸受カバー	
147	固定穴	
148	冷却媒体配管	
149	ロータ	
151	回転軸線	40
153	ロータシャフト	
155	ロータディスク	
157	ステータディスク	
159	スペーシング	
161	ロータハブ	
163	ホルベックロータスリーブ	
165	ホルベックロータスリーブ	
167	ホルベックステータスリーブ	
169	ホルベックステータスリーブ	
171	ホルベック間隙	50

1 7 3	ホルベック間隙	
1 7 5	ホルベック間隙	
1 7 9	接続チャネル	
1 8 1	転がり軸受	
1 8 3	永久磁石軸受	
1 8 5	スブラッシュナット	
1 8 7	ディスク	
1 8 9	インサート	
1 9 1	ロータ側の軸受半部	
1 9 3	ステータ側の軸受半部	10
1 9 5	リングマグネット	
1 9 7	リングマグネット	
1 9 9	軸受間隙	
2 0 1	キャリア部分	
2 0 3	キャリア部分	
2 0 5	半径方向の支柱	
2 0 7	カバー要素	
2 0 9	支持リング	
2 1 1	固定リング	
2 1 3	さらばね	20
2 1 5	緊急用又は安全用軸受	
2 1 7	モータステータ	
2 1 9	中間空間	
2 2 1	壁部	
2 2 3	ラビリンスシール	
$f_{s y n c}$	回転同期電圧ベクトルの一定回転周波数	
$f_{v e c}$	回転電圧ベクトルの回転周波数	
$u_{s y n c}$	回転同期電圧ベクトルの一定振幅	
$u_{v e c}$	回転電圧ベクトルの振幅	
B	制御ステップ	30
S	同期ステップ	
$T_{e n d}$	同期ステップの終了時間	
$T_{s y n c}$	同期時間周期	

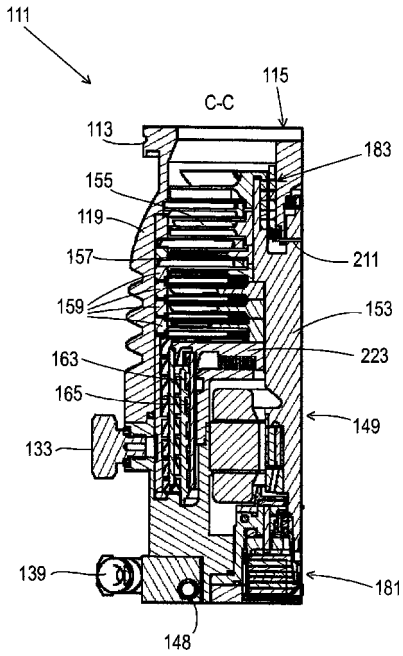
【図 1】



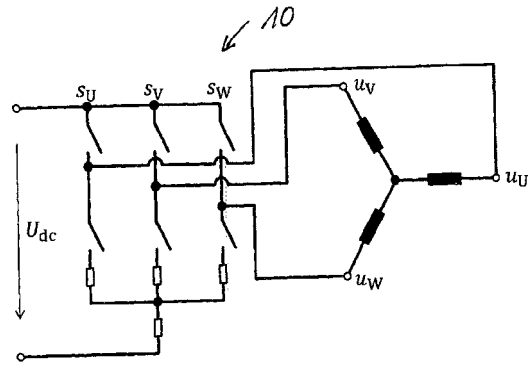
【図 2】



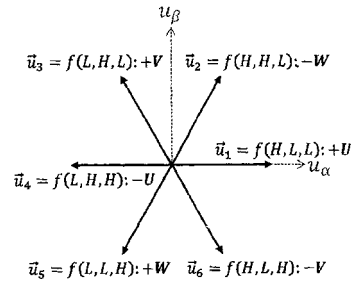
【図 5】



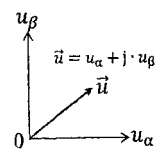
【図 6】



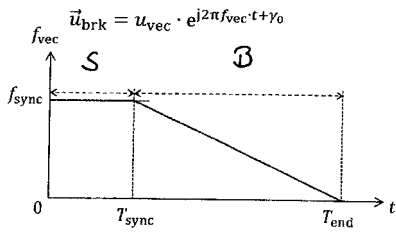
【図 7】



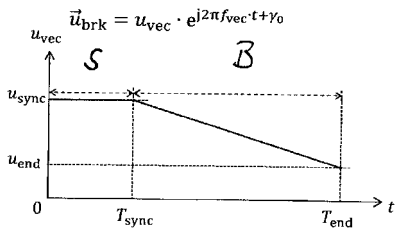
【図 8】



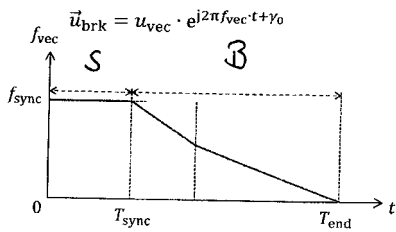
【図 9】



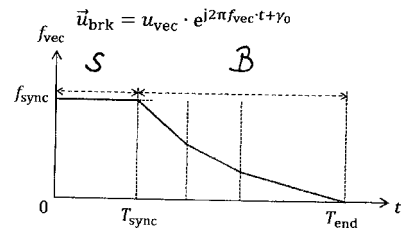
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

F ターム(参考) 3H131 AA02 BA13 CA40 CA41
5H505 AA01 DD03 DD08 EE41 EE52 FF04 FF05 HB01
5H530 AA07 BB35 CC06 CE30 CF08 EE07

【外国語明細書】
2020184872000001.pdf