

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4609971号
(P4609971)

(45) 発行日 平成23年1月12日(2011.1.12)

(24) 登録日 平成22年10月22日(2010.10.22)

(51) Int.Cl.		F I		
HO2P 27/06	(2006.01)	HO2P	7/63	303V
FO2C 7/26	(2006.01)	FO2C	7/26	E
HO2P 1/52	(2006.01)	HO2P	1/52	

請求項の数 1 (全 7 頁)

(21) 出願番号	特願2001-18377 (P2001-18377)	(73) 特許権者	508148987
(22) 出願日	平成13年1月26日(2001.1.26)		コンティネンタル オートモーティブ シ
(65) 公開番号	特開2001-238489 (P2001-238489A)		ステムズ ユーエス、 インコーポレイテ
(43) 公開日	平成13年8月31日(2001.8.31)		ィッド
審査請求日	平成20年1月28日(2008.1.28)		Continental Automot
(31) 優先権主張番号	09/495443		ive Systems US, Inc
(32) 優先日	平成12年1月31日(2000.1.31)		.
(33) 優先権主張国	米国 (US)		アメリカ合衆国 ミシガン州 オーバン
			ヒルズ ワン コンティネンタル ドライ
			ヴ (番地なし)
			One Continental Dri
			ve, Auburn Hills, M
			ichigan 48326, USA
		(74) 代理人	100099483
			弁理士 久野 琢也
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 産業用タービン機関に連結された高速交流永久磁石同期モーターの制御方法及びその装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定のDCバス電圧を要する回転機械に連結されたタービン機関を始動する方法であって、

低速V/f特性に従ってタービン暖機速度まで上記回転機械を加速させる工程と、
上記タービン暖機速度より小さいタービン始動速度にて上記タービン機関を始動する工程と、

上記タービン機関を暖機する様に、所定の期間上記回転機械を上記タービン暖機速度に維持する工程と、

その後、第一の傾きを持つ上記低速V/f特性に従って、上記タービン暖機速度から特性切替速度まで上記回転機械を加速する工程と、

その後、第二の傾きを持つ高速V/f特性に従って、上記特性切替速度から第二の速度まで上記回転機械を加速する工程と、

その後、上記第二の速度からタービン解放速度まで上記回転機械を加速する工程と、
上記タービン機関から上記回転機械の連結を解除する工程と、

上記タービン解放速度から所定の速度まで上記タービン機関を加速する工程と、

を有する方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は産業用タービン機関に関し、より具体的には、産業用タービン機関に連結される高速永久磁石モーターの制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

永久磁石同期モーター (permanent magnet synchronous motors、略してPMSM) は、機構制御、電気自動車、及び産業用タービン発電機 (industrial turbo generators、略してITG) において広範に使用されている。PMSMは通常、比較的 low 回転時に機関をアシストするために、機関に連結されている。速度がゼロのとき、タービン機関はそれ自体で始動することが出来ないので、その定格速度の約半分まで加速する際に上記タービン機関をアシストするために、スターター・インバーターを用いたPMSMが必要とされる。その速度に達すると、タービン機関はPMSMを用いなくてもその定格速度まで駆動されるのに十分なトルクを発生する。

10

【0003】

タービン機関、特に産業用タービン機関を始動するために、スターター・インバーターは、上記タービン機関に連結されたPMSMをタービン機関を暖機するための第1目標速度まで駆動する。直流 (direct current、略してDC) を交流 (alternating current、略してAC) に変換するスターター・インバーターは、バッテリーか或いは整流グリッドから電力を取得する。タービン機関が暖機された後、回転部分は通常タービン機関の定格速度の約半分の、第2目標速度に達する。その後タービン機関は、ACモーターの補助無しで駆動するようになり、公称速度までの加速を継続することになる。

20

【0004】

「開ループ」電圧対周波数制御方法は、一般的に使用されるACモーター制御方法である。電圧対周波数 (V/f) アルゴリズムが、モーターを種々の速度で駆動するのに使用される。 V/f アルゴリズムは、より洗練されたACモーター制御アルゴリズムと比べ、極めて単純にまた安価に実行される。「開ループ」制御方法は、傾き、つまり周波数と電圧の比を調整することにより、三相出力周波数を変化させる。タービン機関がACモーターの補助無しにそれ自体で所望の速度まで加速するのに十分なトルクを発生することが出来る様なタービン解放速度まで、ACモーターを駆動する、単一直線の V/f 比が決定されるのが普通である。検知装置が不要で、演算がより単純でかつ消費電力がより小さく、より安価なモーター制御ユニット (motor control unit、略してMCU) を使用することが出来る。

30

【0005】

「開ループ」制御方法に伴う問題の1つは、DCバス電圧が広範に亘る可能性があること、及び産業用タービン機関が0から 550 S^{-1} (33,000 rpm) まで加速するのにかかる時間が通常約12秒と短いことにより、「開ループ」方法により演算される電圧と周波数の単一直線で表される比が、十分な動的応答性を与えないことである。加えて、「開ループ」制御方法は、高速時にライン電流出力がより大きくなったり、あるいは短い加速時間が望まれる際に低速時における定常電流を許容できなくなったりする状態を頻繁に生じる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

それで、本発明の目的は、上記開ループ制御方法に伴う問題を解決する、高速PMSM用の制御方法を提供することにある。

40

【0007】

本発明の目的は、ゼロから極めて高回転に至るまでの V/f 特性を与える、超高速永久磁石モーター用の制御方法を提供することにある。その V/f 特性は、広範なDCバスの値を織込んでいて、永久磁石発電機 (permanent magnet generator、略してPMG) モーターまでのライン間電流 (line to line current) を最小にする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

好適な本発明の観点の一つは、永久磁石同期モーター (PMSM) が、産業用タービン機関に連結される。バッテリー又は他のDC電力供給源が、DC電圧をスターター・インバーターに

50

送り、そのインバーターがDCバス電圧を三相AC電圧に変調してそれを上記PMSMに送る。産業用タービン機関がPMSMモーターの補助無しで加速するのに十分なトルクを発生する速度、通常上記産業用タービン機関の定格速度の約半分まで、上記PMSMを駆動するために、PMSM制御器は、与えられたDCバス電圧に対するV/f特性を決定するV/fアルゴリズムを持つ。上記アルゴリズムは、定常及び過渡電流が最小となる様な行程に従うV/f特性を生成する。上記V/fアルゴリズムにより生成されるV/f特性は、求められた電圧オフセット値、実低速定格速度値、及び実高速定格速度値の関数である。そのアルゴリズムは、時間によって異なる充電レベルを持ち得るバッテリーからのDCバス電圧値が、広範に亘る可能性を考慮している。

【0009】

本発明の他の目的及び利点は、以下の詳細な説明と添付の請求項を添付の図面を参照しながら読むことにより、明確となる。

【0010】

【発明の実施の形態】

図1は、モーター駆動システムの概略システム図である。スターター・インバーター4への入力、バス電圧レベル(Vdc)で供給を行うDC電力供給源2(又はバッテリー)である。インバーター4からの出力は、超高速永久磁石(permanent magnet、略してPM)モーター8を駆動するための三相AC電圧信号(Va、Vb、Vc)である。マイクロプロセッサをベースとしたものが好ましい制御器6が、PMモーター8にゼロから目標速度まで過渡及び定常電流を最小化するように駆動させるべく、スターター・インバーター4を制御する。制御器6は、電圧オフセット値、低速定格速度値、及び高速定格速度値の関数であるV/f特性に従って、モーター8を駆動する。電圧オフセット値、低速定格速度値、及び高速定格速度値は、モーター8とDC電力供給源2のそれぞれの特性に基づく特定のDCバス電圧に対して、制御器6により決定される。

【0011】

図2は、好ましい実施形態による制御方法のロジックを示すフローチャートである。ステップ10において、機関に連結されたPMSM/タービンの特性が、ステーターの極数(p)を含めて決定される。タービン始動速度(タービン機関が点火される速度で、通常 133 S^{-1} (8,000 rpm)付近)、タービン機関の暖機速度、及びタービン解放速度などの、動作に必要とされる目標速度も決定される。その後、ステップ20において、目標周波数(w又はf)が、ステップ10にて決定された上記目標速度に基づき式 $[f=(\text{回転速度}(\text{S}^{-1}))\cdot(p)/2]$ ($f=(\text{RPM})(p)/120$) を用いて求められる。

【0012】

ステップ30において、電圧オフセット値が求められ、そしてその電圧オフセット値と低速及び高速定格速度値とから、低速及び高速運転時のV/f特性が決定される。上記V/f特性は、DCバス電圧がとり得る全ての値を織込んだものである。ステップ30の詳細を、図3を参照しながら以下に説明する。

【0013】

ステップ40において、三相(a、b、及びc)に対応する正弦波がV/f特性に応じて生成され、そしてステップ50において三相インバーターに送られる。ステップ50において、三相インバーターは、バッテリーか或いは整流グリッドから直流電流(DC)を取得し(ステップ45)、そのDC電流を相A、相B、及び相Cと示される三相を持つAC電流に変調する。その三相電流は、ステップ60において、PMモーターのステーター巻線に供給され、連結されたタービン機関(不図示)を目標速度まで加速する様にモーター動作を行わせる。

【0014】

図3は、DCバス電圧がとり得る全ての値に対して図2のステップ30にて求められる、電圧オフセット値とV/f特性を決定するためのV/f特性決定サブルーチンを示す。V/f特性(アルゴリズム)は、公称動作周波数(つまり定格周波数(w_{rated}))までは、周波数とAC電圧の両方を比例的に制御する。その周波数を超えると、AC電圧は最大値(V_{max})に維持される一方、周波数のみを変更される。速度がゼロの際の低ブースト電圧(v_{offset}

10

20

30

40

50

)は、モーターの電圧降下 (IR drop) と所望の始動トルクに、主に依存する。

【0015】

まず、ステップ100において、低DC電圧レベル (V_l) と高DC電圧レベル (V_h) が、スターター・インバーターにDC電流を供給するバッテリーについて既知の方法により決定される。本発明の好ましい実施形態においては、V_lは300ボルトで、V_hは450ボルトである。

【0016】

続いて、ステップ110において、V_lに対応する低DC電圧についての電圧オフセット値 (V_{osl}) と、高DC電圧オフセット (V_{osh}) が既知の経験則に基づいて決定される。

【0017】

その後、ステップ130において、ステップ110にて設定されたDCバス電圧の関数である電圧オフセット値 (V_{offset}) が自動的に求められ、それは以下の様に決定される：

$$(V_{offset} = Vosl + ((Vosh - Vosl)/(Vh - Vl))(Vdc - Vl))$$

ここでV_{dc}は、スターター・インバーターが切替えられない際にシステムについて測定されるDCバス電圧である。

【0018】

続いてステップ140において、低DCバス電圧に対する、低速運転時の最適定格速度値 (w_{rated_l_l}) 及び高速運転時の最適定格速度値 (w_{rated_l_h}) が、既知の方法により決定される。また、高DCバス電圧に対する、低速運転時の最適定格速度値 (w_{rated_h_l}) 及び高速運転時の最適定格速度値 (w_{rated_h_h}) が、既知の方法により決定される。

【0019】

V/f特性における低速運転と高速運転の境界を決定するために、ステップ150において低速運転についての実際の定格速度値 (w_{rated_l}) と高速運転についての実際の定格速度値 (w_{rated_h}) が求められねばならない。w_{rated_l}とw_{rated_h}を求めるための演算は、以下のものである：

$$w_{rated_l} =$$

$$(w_{rated_l_l} + ((w_{rated_l_h} - w_{rated_l_l})/[Vh-Vl])(Vdc-Vl))$$

$$w_{rated_h} =$$

$$(w_{rated_h_l} + ((w_{rated_h_h} - w_{rated_h_l})/[Vh-Vl])(Vdc-Vl))$$

【0020】

次に、V_{offset}の値及び上記の様に求められた上記2つの定格速度値を織込んだV/f特性が、ステップ160において設定される。ステップ160におけるV_{offset}及び上記2つの定格速度値が、図4にプロットされている。Y軸上にプロットされた電圧値は、AC電圧としてのものである点に留意すべきである。上記特性を設定するために、まず速度がゼロの際のV_{offset}がプロットされる。V_{offset}は、スターターの抵抗と始動トルクに打勝つ様に始動電流を調整するために、必要である。次に、V_l (V_{max}) におけるw_{rated_l}がプロットされ、そして図4にて202として示される直線により、上記2点が結ばれる。引き続き、V_h (V_{max}) におけるw_{rated_h}がプロットされ、そして図4にて200として示される直線により、上記2点が結ばれる。その様にして、PMSMモーターが如何に所定の速度まで加速することになるかを決定するのに用いられる特性が、設定される。

【0021】

運転中には、本発明が実施される産業用タービン機関について、そして与えられたDCバス電圧について、PMSMモーターが、ゼロから、ここでタービン暖機速度として示される約350 S⁻¹ (21,000 rpm) の速度まで駆動され、その速度でPMSMモーターに連結された産業用タービン機関は最大60秒間暖機される。産業用タービン機関は、約133 S⁻¹ (8,000 rpm) の速度にて点火されるとともに、PMSM及びスターター・インバーターとの連結を維持される。PMSMモーターはその後、約350 S⁻¹ (21,000 rpm) から約550 S⁻¹ (33,000 rpm)、すなわち産業用タービン機関に対する定格速度の半分程度まで、加速される。約550 S⁻¹ (33,000 rpm) に達すると、タービン解放速度において、スターター・インバーターが停止されることになり、そして産業用タービン機関は目標速度、通常産業用タービン機関の定

10

20

30

40

50

格速度付近まで、それ自体で加速することになる。スターター・インバーターが停止されタービン機関がその定格速度に達した時点で、タービン機関はPMSMを駆動して発電させる。この時点では、PMSMが発電機として使用されている。

【0022】

図5は、本発明の好ましい実施形態に従ってPMSMモーターをゼロからタービン解放速度まで駆動するに際しての、電圧変化を時間の関数として（図5において400と示される）、及び速度変化を時間の関数として（図5において500と示される）、表したものである。

【0023】

図5において、与えられたDCバス電圧について、スターター・インバーターは、図4にて上述された低速V/f特性線に従ってゼロからタービン暖機速度まで、産業用タービン・モーターに連結されたPMSMを駆動する。タービン機関は、ゼロとタービン暖機速度の間で低速V/f特性に沿ったある点におけるタービン始動速度（不図示）において、点火される。PMSMモーターはその後、産業用タービン機関が暖機を完了するまで（最大60秒間）、対応する電圧（V_warmupと示される）にてタービン暖機速度に維持される。PMSMモーターはその後、特性切替速度に達するまで、低速V/f特性に従って加速される。PMSMモーターはその後、V_maxすなわちシステムに許容された最大AC電圧に達するまで、図4にて説明された高速V/f特性に従って加速することになる。そして、PMSMモーターは、周波数を増加させることによりタービン解放速度まで加速される一方、電圧はV_maxに維持される。産業用タービン機関は、それ自体で駆動する様になり、そして定格速度又は、目標速度までの加速を継続することになる。特性切替速度は、V_warmupとV_maxの間の値であることに留意すべきである。

【0024】

本発明を好ましい実施形態について説明したが、本発明はそれに限定されるものではなく、当業者であれば特に上記の教示を考慮して変形例を想到することが出来ることが、言うまでも無く理解されよう。

【0025】

【発明の効果】

本発明によれば、広範なDCバスの値を織込んだ、定常及び過渡電流を最小にするV/f特性を持つ超高速永久磁石モーター用の制御方法を提供することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】モーター駆動システムの概略システム図である。

【図2】好ましい実施形態による制御方法のためのロジックを示すフローチャートである。

【図3】定常及び過渡電流を最小化する、電圧オフセット値と、低速及び高速運転についての実速度値を決定するための、図1におけるステップ30のV/f特性決定サブルーチンである。

【図4】図3におけるステップ160において決定されたV/f特性である。

【図5】PMSMモーターをゼロからタービン解放速度まで駆動するに際しての電圧変化を、時間の関数としてプロットとしたグラフ、及びPMSMモーターをゼロからタービン解放速度まで駆動するに際しての速度変化を、時間の関数としてプロットとしたグラフである。

【符号の説明】

8 回転機械（モーター）

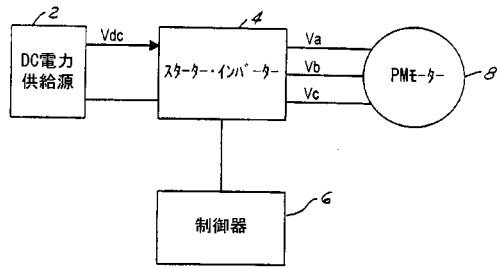
10

20

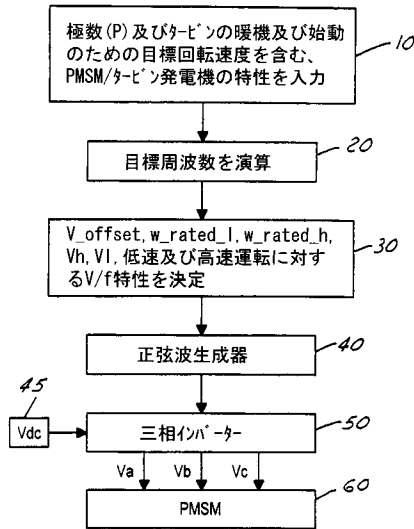
30

40

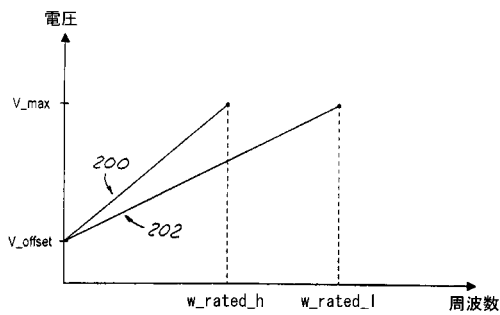
【図1】



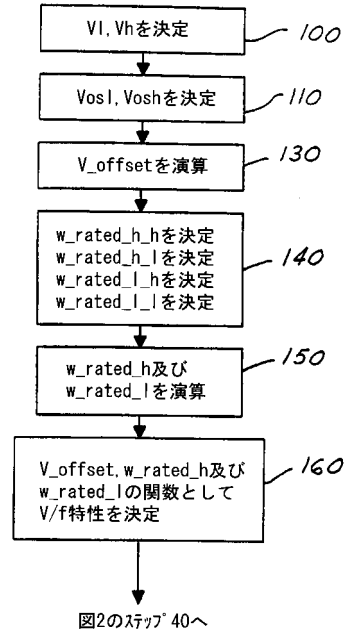
【図2】



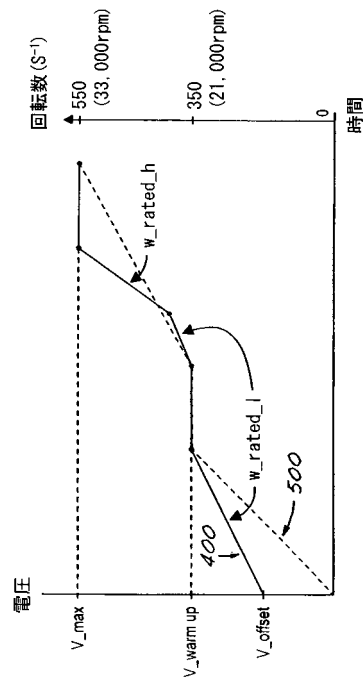
【図4】



【図3】



【図5】



フロントページの続き

(74)代理人 100094798

弁理士 山崎 利臣

(74)代理人 100128679

弁理士 星 公弘

(72)発明者 ビン チェン

アメリカ合衆国 ミシガン州 48322, ダブリュー・ブルームフィールド フォレストデイル
ドライブ 5073

審査官 尾家 英樹

(56)参考文献 特開昭62-123985(JP,A)

特開平10-023756(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 21/00-29/04