

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4629659号
(P4629659)

(45) 発行日 平成23年2月9日 (2011.2.9)

(24) 登録日 平成22年11月19日 (2010.11.19)

(51) Int.Cl.

F I

HO2K 21/16 (2006.01)

HO2P 21/00 (2006.01)

HO2P 27/04 (2006.01)

HO2K 21/16 M

HO2P 5/408 C

請求項の数 25 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2006-505766 (P2006-505766)	(73) 特許権者	505337087
(86) (22) 出願日	平成16年3月29日 (2004.3.29)		モートル ルロワーソマー
(65) 公表番号	特表2006-522578 (P2006-522578A)		フランス国, 16000 アングレーム
(43) 公表日	平成18年9月28日 (2006.9.28)		, ブールヴァール マルスランールロワ
(86) 国際出願番号	PCT/FR2004/000787		(番地なし)
(87) 国際公開番号	W02004/091075	(74) 代理人	100085545
(87) 国際公開日	平成16年10月21日 (2004.10.21)		弁理士 松井 光夫
審査請求日	平成19年3月19日 (2007.3.19)	(72) 発明者	アブー アカー, アテフ
(31) 優先権主張番号	03/03980		フランス国, 16340 ル'アイル
(32) 優先日	平成15年3月31日 (2003.3.31)		デ'スパニャック, リュ デ フォベッ
(33) 優先権主張国	フランス (FR)		ト, 12
		(72) 発明者	サンーミシェル, ジャック
			フランス国, 16000 アングレーム
			, ランパール デセクス, 24

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 1個の固定子と少なくとも1個の回転子を有する同期電機及び関連制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

それぞれが少なくとも1個の個別のコイル(12)を支持する歯(11)を有する固定子(10)と、永久磁石(21)を備えた少なくとも1つの回転子(20)とを有する同期電気機械であって、

X_d は直軸リアクタンス、 X_q は横軸リアクタンスとすると、 $X_d > X_q$ となるようにされていること、

前記回転子(20)が磁束集中型回転子であり、前記回転子の永久磁石(21)がポールピース(22)の間に配置されていること、

前記回転子(20)のそれぞれのポールピース(22)は、固定子(10)に向かって延在する突出部(27)を有し、該突出部は、前記ポールピース(22)に隣接する永久磁石(21)の半径方向に向かう縁部(29)に対して角度的に変位している半径方向縁部(28)を有していること、

前記回転子のそれぞれのポールピース(22)は、それぞれ前記固定子(10)に向かう面を有し、その面は凸状部(24)を有すること、

前記凸状部(24)は、前記固定子の内側半径(R)の20%から30%までの間の曲率半径を有することを特徴とする同期電気機械。

【請求項2】

$X_d / X_q > 1.1$ であることを特徴とする請求項1に記載の電気機械。

【請求項3】

$X_d / X_q > 1.5$ であることを特徴とする請求項 2 に記載の電気機械。

【請求項 4】

$X_q I_o / E$ が 0.33 から 0.6 までの間にあること、ここで、 I_o は制御器の定格によって印加される最大線電流強さであり、 E は機械の相当りに誘導される起電力を表わす、を特徴とする請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 5】

$X_d I_o / E$ が 0.66 から 1 までの間にあること、ここで、 I_o は制御器の定格によって印加される最大線電流強さであり、 E は機械の相当りに誘導される起電力を表わす、を特徴とする請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 6】

前記固定子 (10) の前記歯 (11) が磁極片を有さないことを特徴とする請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 7】

前記ポールピース (22) の凸状部 (24) の円周方向端 (25) は、そのポールピース (22) に隣接する永久磁石 (21) に対して角度的に変位していることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の電気機械。

【請求項 8】

前記隣接永久磁石 (21) に対しての前記円周方向端 (25) の角度変位 β は、固定子の歯数 n_{teeth} と回転子の極数 n_{poles} の比が $3/2$ か、或いは、 n が 2 以上の整数で、 $n_{teeth} / n_{poles} = 6n / (6n - 2)$ の関係を満たす機械について、 $80^\circ / n_{teeth}$ から $100^\circ / n_{teeth}$ までの間にあり、 n が 2 以上の整数で、 $n_{teeth} / n_{poles} = 6n / (6n + 2)$ の関係を満たす機械に対して、 $50^\circ / n_{teeth}$ から $70^\circ / n_{teeth}$ までの間にあり、ことを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の電気機械。

【請求項 9】

前記回転子 (20) の各永久磁石 (21) の夫々は 2 個の隣接ポールピース (22) の凸状部 (24) の円周方向端から半径方向に後退して存在することを特徴とする請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 10】

前記凸状部 (24) の円周方向端 (25) に対して前記磁石 (21) の半径方向の後退値 (r) は、前記固定子 (10) の内側半径 (R) の 10% から 20% までの間にあることを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の電気機械。

【請求項 11】

前記回転子 (20) のそれぞれの前記ポールピース (22) は、2 つの段部 (26) を有し、少なくとも 1 個の永久磁石 (21) が 2 個の隣接ポールピース (22) の段部の間にあることを特徴とする請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 12】

前記電気機械を前記回転子の回転軸 (X) に沿って見たときに、前記永久磁石 (21) は、長軸が半径方向に在る細長形状の断面を有することを特徴とする請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 13】

前記電気機械を前記回転子の回転軸 (X) に沿って見たときに、前記回転子 (20) の前記永久磁石 (21) は、前記電気機械の半径に平行に方向付けされた長辺を有する矩形断面を有することを特徴とする請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 14】

n は 2 以上とすると、前記固定子 (10) は $6n$ の歯 (11) を有し、前記回転子 (20) は $6n \pm 2$ 個の極 (22) を有することを特徴とする請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 15】

電気機械がただ 1 個の内側回転子を有することを特徴とする請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 16】

10

20

30

40

50

前記電気機械の出力が 0.5 kW 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 17】

前記電気機械が発電機を構成することを特徴とする請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 18】

前記電気機械が電動機を構成することを特徴とする請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 19】

請求項 1 に記載の電気機械であって、同期電動機である電気機械と、
前記回転子の回転速度範囲で、略一定の出力 P_o で前記電動機を運転させることができる同期電動機を制御する制御装置とを有するアッセンブリーであって、前記制御装置が、電動機供給電流の直軸電流成分 I_d 及び横軸電流成分 I_q を決定するように設計されたコンピュータ (45) を有し、前記電流成分 I_d 及び I_q は、 $I_d = \text{約 } i_d I_o = \text{約 } -i \sin \alpha I_o$ 及び $I_q = \text{約 } i_q I_o = \text{約 } i \cos \alpha I_o$ に、20% 以内で等しく、
ここで、 I_o は前記制御装置の定格によって与えられる電流の最大値であり、

10

$$\alpha = \arctan \left(\frac{x_q (e - y)}{x_d x} \right);$$

20

$$i = \sqrt{\left(\frac{x}{x_q} \right)^2 + \left(\frac{e - y}{x_d} \right)^2}, \quad \text{電機子の 1 相に流れる単位電流、}$$

(x, y) は次式の実根の 1 つであり、

$$x^2 + y^2 = \frac{v^2}{m^2} \quad \text{且つ、} \quad y = e \left(1 - \frac{x_d}{x_d - x_q} \right) + \frac{p}{m} e \frac{x_d x_q}{x_d - x_q} \frac{1}{x}.$$

30

m は、回転子の回転速度の基底速度に対する比を表わし、

e は、一方は起電力と、他方は m に主電源から印加される電圧 V_o を乗じた積との比であり、

v は、電機子の 1 相両端の間の電圧と、主電源から印加される相当りの最大電圧 V_o との比であり、

p は rms 出力と出力 P_o との比であり、

α は電流と起電力との位相差であり、

x_d は商

$$\frac{X_d I_o}{m V_o}$$

40

であって、 x_d は直軸リアクタンスであり、

x_q は商

$$\frac{X_q I_o}{m V_o}$$

であって、 x_q は横軸リアクタンスである、上記アッセンブリー。

【請求項 20】

選択された前記根 (x, y) が i を最小にすることを特徴とする請求項 19 に記載のアッセンブリー。

50

【請求項 2 1】

前記アッセンブリーが、三相インバータ(35)及びベクトル制御器(37)を有し、前記ベクトル制御器が、電流成分 i_d 及び i_q に従って、前記インバータ(35)の電子スイッチ(60)に制御信号を伝達するように設計されている、ことを特徴とする請求項19に記載のアッセンブリー。

【請求項 2 2】

請求項18に記載の電動機を制御する方法であって、
少なくとも前記電動機に接続されたインバータの供給電圧(V_{DC})及び前記電動機の回転速度(Ω)を測定し、
前記基底速度を越える所定の速度設定値(Ω^*)に対して一定出力を維持するための供給電流の直軸電流成分 i_d 及び横軸電流成分 i_q を、少なくとも前記電圧 V_{DC} 及び前記測定速度に基づいて、実時間計算により及び/又はレジスタにアクセスすることにより決定する方法。

10

【請求項 2 3】

トルク設定値 t^* が、少なくとも前記回転子の測定した回転速度(Ω)と回転速度設定値(Ω^*)との差の関数として決定されることを特徴とする請求項22に記載の方法。

【請求項 2 4】

出力設定値(p^*)が、少なくとも前記トルク設定値及び前記測定した回転速度の関数として決定されることを特徴とする請求項23に記載の方法。

20

【請求項 2 5】

直軸電流成分値 i_d 及び横軸電流成分値 i_q は、前記電力設定値、前記測定した回転速度及び前記インバータの直流供給電圧から実時間で計算されることを特徴とする請求項24に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は回転電機の分野に関する。

【0002】

本発明は、特に、それに限るものではないが、広範囲な速度範囲に互い、実質的に定出力で運転することができる永久磁石同期機に関し、例えば、昇降機又は電気式牽引機に関する。

30

【背景技術】

【0003】

昇降に関連して、負荷が小さい場合に持ち上げ時間を減少するために、持ち上げる負荷に対して持ち上げ時間を整合させ、しかも更に重い物品を持ち上げることができることが有用である。

【0004】

電気牽引に関連して、始動時、即ち車輛が起動しようとする時、電動機は低速で高トルクを伝達しなければならない。対照的に、水平経路上で、伝達される負荷はより小さく、そして、車輛は電動機からそれ以上の出力を必要とすることなくより早く走行することができる。

40

【0005】

同期機は基底速度を云われる或る速度まで一定のトルクで運転することができる。この基底速度まで、出力は回転子の回転速度に略比例して増加する。この基底速度を越えると、略定出力でトルクは減少する。

【0006】

電機子の各相は、自己インダクタンス、相間相互インダクタンス及び洩れインダクタンスの項を一緒にしたインダクタンスによってモデル化することができる。このインダクタンスは、固定子に対する回転子の角度位置に依存し、かつ、電気角周波数に関係した基準座標系で、直軸インダクタンス L_d 及び横軸インダクタンス L_q の成分を有している。直軸リ

50

アクタンス X_d は、直軸インダクタンス L_d に電気角周波数 ω を乗じた積を表わし、横軸リアクタンス X_q は、横軸インダクタンス L_q に電気角周波数 ω を乗じた積を表わす。回転子の回転速度 Ω は、 z を極対数とすると、 $\omega = z \Omega$ の関係で、電気角周波数 ω に関係している。

【 0 0 0 7 】

電気角周波数に関係した基準座標系において、電機子の 1 相の直軸インダクタンス L_d は、直軸と云われる d 軸上のインダクタンスの値であり、すなわち、電機子極の軸が同相の固定子コイルの軸と一致するときである。横軸インダクタンス L_q は、横軸と云われる q 軸上のインダクタンスの値であり、すなわち、誘導子極の軸が同相に対する固定子コイルの軸と垂直のときである。

10

【 0 0 0 8 】

昇降用及び電気牽引用の公知の永久磁石回転電機は、大部分は「非突極」機と云われる機械であり、その機械では直軸リアクタンス X_d はほぼ横軸リアクタンス X_q に等しい。

【 0 0 0 9 】

非突極機の他に、逆突極機と云われる機械もあり、その機械では、直軸リアクタンス X_d は横軸リアクタンス X_q よりかなり小さい。それらの主な利点は、リアクタンス X_q 及び X_d の差に比例するリラクタンストルクが、通常の運転で磁石によって生じる起電力トルクに加わることである。これは、必要な同一トルクに対して、磁石の量を減少し、従って、機械の費用を減少することができる。この種類の機械では、トルクが最大になるような起電力に対する最適な電流位相進みがある。その動作点が基底速度まで保持される。

20

【 0 0 1 0 】

基底速度を越えると、機械の相端子両端の電圧は、他のすべてのことが等しいとして、制御装置を介して電源から機械に供給される利用できる電圧より大きくなるが、これは、起電力が速度に比例して変わるからである。

【 0 0 1 1 】

機械の相端子両端の電圧を減少するために、固定子巻線の電流と、電機子磁束、即ち磁石の磁束、に対する電流の位相差とを変えて、電機子磁束に或る程度対抗する磁束を生じさせることである。この操作を「減磁束」と云い、減磁束に必要な電流が大きくなると生じる電流損失も大きくなる。

【 発明の開示 】

30

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 2 】

同期機を改良する必要があると、それらを広範囲な速度に互り、特に基底速度を越えて、実質的に定出力で高い効率で運転させる必要がある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 3 】

本発明は、これらの必要を満たすもので、それは、固定子と永久磁石を有する少なくとも 1 つの回転子とを有し、 X_d は直軸リアクタンス、 X_q は横軸リアクタンスとすると、 $X_d > X_q$ となるようにされていることを特徴とする同期電気機械によるものである。例えば、 $X_d / X_q > 1.1$ であり、更によくは、 $X_d / X_q > 1.5$ である。例えば、 $X_d / X_q =$ 約 3 とすることができる。

40

【 発明の効果 】

【 0 0 1 4 】

本発明によって得られる利点は下記の通りである。

【 0 0 1 5 】

第一に、力率 $\cos \phi$ が直軸リアクタンス X_q とは逆に変化するとすると、低い X_q の値は高力率が得られるようにできる。例えば、所望の力率レベルによるが、 $X_q I_o / E$ は 0.33 から 0.6 の間にあり、ここで、 I_o は制御器の定格によって印加される最大線電流強さであり、 E は機械の相当りに誘導される起電力を表わす。

【 0 0 1 6 】

50

第二に、磁石の磁束は直軸 d に沿って方向付けされているので、電機子に電流を流して、直軸リアクタンス X_d 及び直軸に沿う電流成分 I_d に比例する磁束を直軸 d に沿って発生するようにして減磁束は達成される。大きな直軸リアクタンス X_d では、より小さな直軸電流 I_d でかなりの減磁束が得られ、従って、対応する損失も更に少なくなる。その結果、制御装置の定格が減少し、効率を改善する。

【 0 0 1 7 】

更に、短絡時、大きな直軸リアクタンス X_d は、短絡電流の値に依存する減磁のリスクを減少する。この電流は起電力と直軸リアクタンスとの比に比例し、従って、直軸リアクタンス X_d が大きい場合には、電流は小さくなる。例えば、所要の減磁束範囲に互り、 $X_d I_o / E$ は 0 . 6 6 から 1 の間にあり、ここで、 I_o は制御器の定格によって印加される最大線電流強さであり、 E は機械の相当りに誘導される起電力を表わす。

10

【 0 0 1 8 】

基底速度まで、機械は起電力と同相の電流で運転することができる。起電力トルクは最大で、リアクタンストルクは零である。基底速度は、例えば、毎分 1 0 0 又は 2 0 0 回転より大きい。

【 0 0 1 9 】

具体的な一実施の形態では、固定子は、それぞれが少なくとも 1 個の個別コイルを支持する歯を有し、これらの歯に磁極片が無い。これは、特に、予め製作したコイルを歯に装着することを可能とし、これにより機械の製造が簡単になる。

【 0 0 2 0 】

回転子は、好適なのは回転子の永久磁石がポールピース間に配置されている磁束集中回転子である。これは磁石の数を減らし、従って、機械のコストを減らすことができる。

20

【 0 0 2 1 】

直軸及び横軸リアクタンスの値は、回転子のポールピースの形状で決めることができ、特にそれらポールピースの突出部の形状によって決めることができる。

【 0 0 2 2 】

2 個の連続するポールピースの突出部は、その突出部の間に、半径方向部分を含む 2 つの対抗縁部と、少なくとも 1 個の永久磁石の一面によって部分的に形成される底部とを有するノッチを画定することができる。

【 0 0 2 3 】

そのようなポールピースの形状は、直軸及び横軸リアクタンス間に非対称性と、直軸及び横軸リアクタンス間に比較的大きな正数の差をもたらす。

30

【 0 0 2 4 】

回転子のポールピースは、それぞれ固定子に向けた面を有することができ、その面は凸状部を有する。ポールピースの凸状部は、固定子の半径、特に固定子内径の 2 0 % 乃至 3 0 %、或いは、その約 2 5 % の曲率半径を有することができる。

【 0 0 2 5 】

その凸状部の円周方向端は、そのポールピースに隣接する永久磁石に対して角度的に変位していてもよい。隣接永久磁石に対する円周方向端の角度変位は、次の範囲にすることができる：固定子の歯数 n_{teeth} と回転子の極数 n_{poles} の比が $3 / 2$ か、或いは、 n が 2 以上の整数で、 $n_{teeth} / n_{poles} = 6 n / (6 n - 2)$ の関係を満たす機械に対して、 $80^\circ / n_{teeth}$ から $100^\circ / n_{teeth}$ までの間にあり、例えば、約 $90^\circ / n_{teeth}$ であり

40

、 n が 2 以上の整数で、 $n_{teeth} / n_{poles} = 6 n / (6 n + 2)$ の関係を満たす機械に対して、 $50^\circ / n_{teeth}$ から $70^\circ / n_{teeth}$ までの間にあり、例えば、約 $60^\circ / n_{teeth}$ である。

【 0 0 2 6 】

回転子の各永久磁石は 2 個の隣接ポールピースの凸状部の円周方向端から半径方向に後退させることができる。凸状部の円周方向端に対して磁石の半径方向の後退値は、固定子の半径、具体的には固定子の内径の 1 0 % から 2 0 % までの間にあり、例えば約 1 5 % にす

50

ることができる。

【0027】

回転子の各ポールピースは2つの肩部を有することができる。永久磁石は2個のポールピースの肩部間に位置するようにすることができる。

【0028】

回転子の各ポールピースは、固定子に向かって延在する突出部を有し、その突出部の半径方向縁部が、ポールピースに隣接する永久磁石の半径方向に向かう縁部に対して角度的に変位することができる。

【0029】

回転子の回転軸に沿って機械を見たときに、回転子の永久磁石は半径方向に長い形状断面を有することができる。具体的には、回転子の回転軸に沿って機械を見たときに、回転子の永久磁石は機械の半径に平行に方向付けされた長辺を有する長方形断面とすることができる。

10

【0030】

本発明の特定の一実施の形態では、 X_d / X_q 比は、回転子の最大回転速度で、同じ電圧及び同じ電流で、基底速度で得られるのと同質的に同じ出力が得られるように選択される。

【0031】

上記の結果を得るための可能な X_d / X_q 比の値の中から最小の値を選んで、高い突出部を有するのを避けるのが好ましいが、それは、高い突出部は、より小さな開口の極及び等価的により大きな間隙をもたらすし、かつ、その結果、磁石の量を増加し、従って、機械のコストと重量を増やすからである。更に、高い突出部は、過負荷が生じる可能性を抑えるであろう機械が供給することができる最大トルクを減少することになるであろう。

20

【0032】

n を2以上の整数とすると、固定子は $6n$ の歯を有し、回転子は $6n \pm 2$ の極を有するものとする。そのような構成は、トルクリップル及び高調波電圧を共に減少させることができる。

【0033】

機械は、単一の内側回転子を有することができるが、変形として、固定子の半径方向の両側に配置され、回転的に結合された内側回転子及び外側回転子を有していてもよい。二重回転子を使用して、鉄損を減少することができる。

30

【0034】

機械は、発電機、或いは、電動機を構成するものとする。ことができる。

【0035】

機械の出力は0.5 kW以上、例えば約1.5 kWとすることができるが、その値に限定されるものではない。

【0036】

本発明の対象は、上述したものとは独立に、或いは、組み合わせて、電気機械が、少なくとも1個の固定子と、少なくとも1個の回転子とを有し、その回転子はポールピースと、ポールピース間に配置された永久磁石とを有し、各ポールピースは突出部を有し、その突出部の両側に肩部がある。

40

【0037】

2個の隣接ポールピースの肩部は、それらの間に配置された永久磁石と同一平面にすることができる。

【0038】

各突出部は半径方向に存在する縁部によって円周方向が区画される。

【0039】

各ポールピースが隣接永久磁石を円周方向で覆わないようにすることができる。

【0040】

各突出部は連続湾曲縁部によって半径方向で区画される。

【0041】

50

各ポールピースは半径方向にある中央の平面に対して対称にすることができる。

【 0 0 4 2 】

各ポールピースは磁性積層体とすることができる。

【 0 0 4 3 】

突出部は、回転中心とは異なる曲率中心を有する半径方向外側の円形縁部を有することができ、その曲率中心は、例えば、回転子の回転中心と最大の半直径との間の半径上に位置する。

【 0 0 4 4 】

2個の隣接突出部間の角度方向距離は、対応するポールピース間に配置された永久磁石の角度方向幅よりも大きい。

【 0 0 4 5 】

永久磁石は固定子に向かう外面を有することができる。

【 0 0 4 6 】

本発明の対象は、前記した機械を制御する制御装置でもある。

【 0 0 4 7 】

本発明の対象は、前記したものと独立に、或いは、組み合わせた、同期電動機を制御する制御装置でもあり、それは、回転子の回転速度範囲に互りほぼ一定の出力 P_o で電動機を運転することができ、電動機供給電流の直軸電流成分 I_d 及び横軸電流成分 I_q を決めるように設計されたコンピュータを含み、電流成分 I_d 及び I_q は、 $I_d = \text{約 } i_d I_o = \text{約 } -i \cdot \sin \alpha I_o$ 及び $I_q = \text{約 } i_q I_o = \text{約 } i \cdot \cos \alpha I_o$ に等しく、その 20 % 以内に、更に良くは 10 % 以内に、一層良くは 5 % 以内にあり、ここで、 I_o は制御装置の定格によって与えられる電流の最大値であり、

$$\alpha = \arctan \left(\frac{x_q (e - y)}{x_d x} \right);$$

$$i = \sqrt{\left(\frac{x}{x_q} \right)^2 + \left(\frac{e - y}{x_d} \right)^2}, \quad \text{電機子の 1 相に流れる単位電流、}$$

(x, y) は次式の実根の 1 つであり、

$$x^2 + y^2 = \frac{v^2}{m^2} \quad \text{且つ、} \quad y = e \left(1 - \frac{x_d}{x_d - x_q} \right) + \frac{p}{m} e \frac{x_d x_q}{x_d - x_q} \frac{1}{x};$$

m は回転子の回転速度の基底速度に対する比を表わし、

e は、一方は起電力であり、他方は m に主電源から印加される相当りの最大電圧 V_o を乗じた積との比であり、

v は、電機子の 1 相両端の電圧と、主電源から印加される電圧 V_o との比であり、

p は $r m s$ 出力と機械を運転するのに望ましい定出力 P_o との比であり、

α は電流と起電力との位相差である。

【 0 0 4 8 】

用語「直軸成分」及び「横軸成分」は、電気角周波数に関係付けられた基準座標系の直軸 d 及び横軸 q 上へ電流の大きさを投影したものを意味すると了解されたい。

【 0 0 4 9 】

上記の、 x_d は、商

10

20

30

40

$$\frac{X_d I_o}{m V_o}$$

であって、 X_d は直軸リアクタンスである。

【 0 0 5 0 】

同様に、 x_q は、商

$$\frac{X_q I_o}{m V_o}$$

10

であって、 X_q は横軸リアクタンスである。

【 0 0 5 1 】

そのような制御装置は、電圧を一定に保ちながら起電力に対して電流を角度 α だけ移相し、そして、 i の直軸 d 上の成分 i_d は主磁束に対抗する磁束を発生する。起磁力は、従って、減少し、その結果、全体の誘導電圧が低下する。

【 0 0 5 2 】

電流の単位値 i は、機械の温度上昇及び制御装置の定格に関連した理由により、その公称値より単に増加する。

【 0 0 5 3 】

20

トルクを生じるのを助勢することになる、さらに大きな横軸電流とするために、最小移相 α 、即ち、最小の単位直軸強さ i_d で、所望の電圧を得ることができる。

【 0 0 5 4 】

減磁束比は、前に定義した V_o 及び I_o と同じ電圧及び電流で、基底速度で得られるのと同じ出力 P_o を得るための m の最大値である。これらから、起電力の値並びに直軸及び横軸リアクタンスの値が所定の機械に対して導くことができる。このようにして所定の P_o 、 V_o 及び I_o に対して得られた X_d / X_q 比は、所望の減磁束比の増加関数であり、減磁束比は、場合により、例えば、2 より大きく、例えば、6 に等しい。

【 0 0 5 5 】

可能な解 (x, y) のうち、 i を最小にするものを選択するのが好ましい。

30

【 0 0 5 6 】

前述した制御装置は、好ましくは、前に規定した $X_d > X_q$ の同期電動機と一緒に使用する。

【 0 0 5 7 】

制御装置が、更に、含むことができるのは、三相インバータ、及びそのインバータの電子スイッチに、電流成分 i_d 及び i_q に従って制御信号を伝達するようにされたベクトル制御器である。

【 0 0 5 8 】

本発明の対象は、上記したものとは独立に、或いは、組み合わせた電動機を制御する方法で、少なくとも電動機に接続されたインバータの供給電圧及び電動機の回転速度が測定され、基底速度を超える所定の速度設定値 Ω^* に対して定出力を維持するための供給電流の直軸電流成分 i_d 及び横軸電流成分 i_q が、実時間計算によって、及び / 又は、レジスタにアクセスすることによって決定される。

40

【 0 0 5 9 】

トルク設定値 t^* は、回転子の測定した回転速度と回転速度設定値 Ω^* との少なくとも差の関数として決定することができる。出力設定値は、少なくともトルク設定値と測定した回転速度の関数として決定することができる。単位直軸電流成分 i_d 値及び横軸電流成分 i_q 値が、出力設定値、測定した回転速度及びインバータの直流供給電圧から実時間で計算することができる。直軸及び横軸電流成分は、負荷及びインバータの供給電圧の関数として、制御法則に従って決定することができる。それら制御法則をコンピュータに組み込んで

50

動的性能を改良することができる。

【 0 0 6 0 】

本発明の対象は、また、上記したものとは独立に、或いは、組み合わせて、電動機を有する電気車輛であり、その電動機は、固定子と、永久磁石を有する少なくとも 1 個の回転子を有し、その電動機は、 X_d を直軸リアクタンス、 X_q を横軸リアクタンスとすると、 $X_d > X_q$ となるようにされている。

【 0 0 6 1 】

車輛は、回転子の回転速度範囲に互りほぼ一定の出力で電動機を運転することができるようにする同期電動機制御用制御装置も有することができ、制御装置は電動機に投入される電動機供給電流の直軸電流成分 i_d 及び横軸電流成分 i_q を決定するように設計されたコンピュータを含み、電流成分 I_d 及び I_q は、 $I_d = \text{約 } i_d I_o = \text{約 } -i \cdot \sin \alpha I_o$ 及び $I_q = \text{約 } i_q I_o = \text{約 } i \cdot \cos \alpha I_o$ に等しく、その 20 % 以内に、更にしくは 10 % 以内に、一層しくは 5 % 以内にあり、

ここで、 I_o は制御装置の定格によって与えられる電流の最大値であり、

$$\alpha = \arctan \left(\frac{x_q(e-y)}{x_d x} \right);$$

$$i = \sqrt{\left(\frac{x}{x_q} \right)^2 + \left(\frac{e-y}{x_d} \right)^2}, \quad \text{電機子の 1 相に流れる単位電流、}$$

(x, y) は次式の実根の 1 つであり、

$$x^2 + y^2 = \frac{v^2}{m^2} \quad \text{且つ、} \quad y = e \left(1 - \frac{x_d}{x_d - x_q} \right) + \frac{p}{m} e \frac{x_d x_q}{x_d - x_q} \frac{1}{x};$$

m は、回転子の回転速度の基底速度に対する比を表わし、

e は、一方は起電力であり、他方は m に主電源から印加される相当りの最大電圧 V_o を乗じた積との比であり、

v は、電機子の 1 相両端の電圧と、主電源から印加される電圧 V_o との比であり、

p は、 $r m s$ 出力と機械を運転するのに望ましい定出力との比であり、

α は、電流と起電力との位相差である。

【 0 0 6 2 】

本発明は、限定するものではない本発明の例示的实施例の下記の詳細な説明を読み、かつ、添付の図面を詳査すれば更に明瞭に理解される。

【 0 0 6 3 】

電気機械

図 1 は固定子 1 0 と永久磁石 2 1 を有する回転子 2 0 とを含む同期電気機械 1 を示す。

【 0 0 6 4 】

固定子 1 0 はそれぞれが個別コイル 1 2 を支持する歯 1 1 を有し、三相電流が供給されるようにコイル 1 2 は電氣的に一緒に接続されている。

【 0 0 6 5 】

回転子 2 0 は磁束集中型回転子であり、永久磁石 2 1 がポールピース 2 2 の間に配置されている。永久磁石 2 1 及びポールピース 2 2 は機械の軸 2 3 に適切に固定される。

【 0 0 6 6 】

ポールピース 2 2 は軸 2 3 上の適所に、接着によるか、或いは、軸とポールピースに相補的な形状を形成することによって保持することができるが、或いは、それらポールピースは、ポールピース 2 2 に係合し、回転子のフランジにその両端で結合されるロッドによって適所に保持することができる。

10

【 0 0 6 7 】

ポールピース 2 2 は、それぞれが誘導電流損を制限するために絶縁ワニスを塗布した磁性薄板の積層体によって作られる。

【 0 0 6 8 】

磁石 2 1 それらは同じ種類の両極性を有し、図 1 に見られるように、これらは磁石間に配置されたポールピース 2 2 に向けられている。

【 0 0 6 9 】

ポールピース 2 2 は、それぞれ突出部 2 7 を有し、それらの固定子 1 0 に向かっている面は凸状部 2 4 を有している。ポールピース 2 2 の凸状部 2 4 は、固定子の半径、具体的には固定子の内径の 2 0 % から 3 0 % の間の、或いは、その約 2 5 % の曲率半径とすることができる。

20

【 0 0 7 0 】

各凸状部 2 4 は、隣接永久磁石 2 1 に対して角度的に変位した円周方向端 2 5 を有している。隣接永久磁石 2 1 に対する円周方向端 2 5 の角度変位 β は、固定子の歯数 n_{teeth} と回転子の極数 n_{poles} の比が $3/2$ か、或いは、 n が 2 以上の整数、例えば、2 又は 3 で、 $n_{\text{teeth}}/n_{\text{poles}} = 6n/(6n-2)$ の関係を満たす機械に対しては、 $80^\circ/n_{\text{teeth}}$ から $100^\circ/n_{\text{teeth}}$ までの間にあり、例えば、約 $90^\circ/n_{\text{teeth}}$ であり、 n が 2 以上の整数、例えば 2 又は 3 で、 $n_{\text{teeth}}/n_{\text{poles}} = 6n/(6n+2)$ の関係を満たす機械に対して、 $50^\circ/n_{\text{teeth}}$ から $70^\circ/n_{\text{teeth}}$ までの間にあり、例えば、約 $60^\circ/n_{\text{teeth}}$ である。

30

これらの式中、 n_{teeth} は固定子の歯 1 1 の数を表し、 n_{poles} はポールピース 2 7 の数を表す。

【 0 0 7 1 】

永久磁石 2 1 は凸状部 2 4 の円周方向端 2 5 から半径方向に後退して存在している。凸状部 2 4 の円周方向端 2 5 に対する永久磁石 2 1 の半径方向の後退値 r は固定子の内径 R の 1 0 % から 2 0 % の間にあり、或いは、約 1 5 % でもよい。

【 0 0 7 2 】

各ポールピース 2 2 は、更に、突出部 2 7 の両側に存在する 2 つの肩部 2 6 を有し、各永久磁石 2 1 が 2 つの肩部 2 6 間にある。

40

【 0 0 7 3 】

回転子の各ポールピース 2 2 の突出部 2 7 は、円周方向端 2 5 と同様に、隣接永久磁石 2 1 の半径方向の面 2 9 に対して角度的に変位した半径方向縁部 2 8 を有する。

【 0 0 7 4 】

永久磁石 2 1 は、機械を回転軸 X に沿って見たときに、半径方向に長い形状の断面を有している。この断面は、記載の実施例では、その長辺が機械の半径と平行に方向付けられた長方形である。変形として、永久磁石はそれぞれ楔形とすることができる。

【 0 0 7 5 】

当該実施例では、回転子は 1 0 の極を有し、固定子は 1 2 の歯を有し、 n を 2 に等しいと

50

すると、従って固定子は $6n$ の歯を有し、回転子は $6n \pm 2$ の極を有する。 n が 2 よりも大であったとしても、本発明の範囲外となるものではない。

【0076】

記載の実施例では、回転子は内側回転子であるが、回転子が外側回転子であったとしても、或いは、機械が内側回転子と外側回転子の両方を有し、それぞれ固定子の半径方向の一方の側に配置され、回転的に結合されたものであったとしても、本発明の範囲外となるものではない。好適なのは、本発明によれば、電動機は $X_d > X_q$ の関係を満たすことである。

【0077】

制御装置

図1に関して前述した機械は、図2及び図3に関して記述するように、回転子の回転速度の広範囲に互り定出力で運転できるようにすることができる制御装置によって制御することができる。制御装置は、特に、 $X_d > X_q$ である機械に適している。

【0078】

より一層明瞭にするため、図2は電気角周波数 ω に関係付けた周知の基準座標系を表し、電機子の一相を通る電機子磁束 ψ 即ち主磁束と同じ方向で同じ向きの直軸 d 、及び、直軸に対して $+\pi/2$ の角度だけ移相している横軸 q を有している。図において、正弦波量は、固定ベクトルで表わすことができる。

【0079】

以下において、単位値 e 、 x_d 及び x_q は前に定義したものを用いる。

【0080】

単位起電力 e に対する単位電流 i の移相は、基底速度を越える速度で電圧を一定に維持するように選択されるが、それは、直軸 d 上の i の単位成分 i_d が主磁束に対抗する磁束を生じ、従って、全起磁力は減少し、その結果、誘導単位電圧 v の減少をもたらすが、これは電動機トルクを過度に減少させることがなく、基底速度を越えて、可能な最大トルクで機械を運転することができる様に制御装置が設計されているからである。特に、制御装置の目的は、基底速度を超えたところで、基底速度での出力に略等しい出力で運転することができる様にすることである。

【0081】

同期電動機1はインバータ35からの三相電流を供給され、そのインバータ35は、6個の電子スイッチ60、例えば1個以上のIGBT、を含み、それぞれの電子スイッチはダイオード61が付設されていて、ベクトル制御器37からの6個の制御信号62によって制御される。

【0082】

ベクトル制御器は、主コンピュータ45から受け取る直軸電流成分 i_d 設定値及び横軸電流成分 i_q 設定値に、3相のうちの2相に対する測定電流 i_a 及び i_b に、及び角度位置データ θ に従って電動機に供給する電流の強さを修正するのに使用される。

【0083】

角度位置データ θ は位置検出器39に接続された位置計算器40によって伝達される。位置検出器39は速度計算器41にも接続される。

【0084】

速度計算器41によって計算される回転速度 Ω の値は主コンピュータ45、乗算器46及び減算器47に伝達される。

【0085】

減算器47で、回転子の回転速度設定値 Ω^* から回転速度 Ω が減算され、そして、差 $\Omega^* - \Omega$ はPID（比例 - 積分 - 微分）型の調整回路48によって処理されて、トルク計算器49に伝達され、そこで回転子の測定回転速度 Ω と回転速度設定値 Ω^* との差に従ってトルク設定値 t^* が決定される。トルク設定値 t^* は、機械が供給できる最大トルク t_{max} に制限される。

【0086】

10

20

30

40

50

トルク設定値 t^* は、回転子の測定回転速度 Ω に従って出力設定値 p^* を計算する乗算器 46 に伝達される。

【0087】

出力設定値 p^* は主コンピュータ 45 に伝達される。

【0088】

更に、発生しうる変動を平滑にするために、インバータ 35 両端の電圧 V_{DC} が測定され、PID 型の調整回路 50 に伝達される。この調整回路 50 は、主電源電圧によって変わるかもしれない単位電圧 v を供給する。

【0089】

主コンピュータ 45 は、受信したデータから出力 p^* での運転に対応する直軸 i_d 及び i_q 電流成分を決定する。

10

【0090】

これら i_d 及び i_q の値はベクトル制御器 37 に伝達され、前述したように、インバータ 35 を制御できるようにする。

【0091】

主コンピュータ 45 は、図 4 に例示するように、予め計算した値が入っているレジスタ 53 にアクセスして i_d 及び i_q の値を決定することができる。レジスタ 53 には、多数の入力 v , p^* 及び Ω に対する i_d 及び i_q の値が入っている。 v , p^* 及び Ω の値に対して、そのコンピュータは、レジスタ 53 において既知の i_d (v , p^* , Ω) 及び i_q (v , p^* , Ω) に対して v , p^* 及び Ω の最も近い値を決定する。

20

【0092】

主コンピュータ 45 は、次の式を用いて、実時間計算により i_d 及び i_q を解析的に決定することもできる。

$i_d = -i \cdot \sin \alpha$ 及び $i_q = i \cdot \cos \alpha$ 、

$$\alpha = \arctan \left(\frac{x_q (e - y)}{x_d x} \right);$$

30

$$i = \sqrt{\left(\frac{x}{x_q} \right)^2 + \left(\frac{e - y}{x_d} \right)^2};$$

(x , y) は次式の実根の 1 つであり、

$$x^2 + y^2 = \frac{v^2}{m^2} \text{ 且つ、 } y = e \left(1 - \frac{x_d}{x_d - x_q} \right) + \frac{p}{m} e \frac{x_d x_q}{x_d - x_q} \frac{1}{x}.$$

40

【0093】

用語「計算器」、「レジスタ」、「調整回路」、「減算器」、及び「乗算器」はその言葉の広義に理解すべきである。これらの機能はすべて、1 つ以上の電子カードにある 1 つ以上の特定の電子回路によって実行することができる。これらの機能はハードウェア及び/又はソフトウェアの形式で実行することができる。具体的には、構成要素 40 , 41 , 47 , 48 , 49 , 46 , 45 , 50 及び 37 は、一つ以上のマイクロコントローラ及び/又はマイクロプロセッサを有する 1 個の同じ電子カードに一体化することができる。

【0094】

当該実施例では、減磁束比は 6 であり、すなわち、回転子の最大回転速度は、基底速度の 6 倍であり、例えば、毎分約 1350 回転である。

50

【 0 0 9 5 】

勿論、減磁束比が6とは異なっていたとしても、特に、例えば2以上であったとしても、本発明の範囲外となるものではない。従って、インバータ35の電子スイッチ60はそれに応じて設計される。

【 0 0 9 6 】

勿論、本発明は前述した例示の実施例に限定されるものではない。例えば、電気機械は、やはり $X_d > X_q$ でありながら、異なるように製作してもよい。

【 0 0 9 7 】

全記載を通して、別に特に明記していなければ、「1つを有する」という表現は、「少なくとも1つを有する」と同義であると考えられたい。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 9 8 】

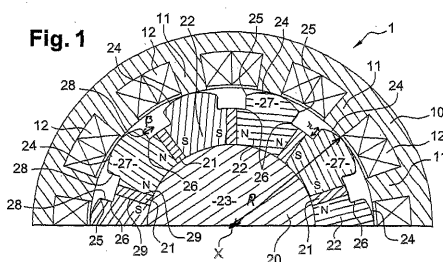
【図1】本発明による機械の部分断面の略図。

【図2】電気角周波数に関連した基準座標系に於ける種々の正弦波量を表わすブロンデル線図。

【図3】本発明による同期電動機用制御装置の簡略ブロック図。

【図4】図3の制御装置の主コンピュータの例示的实施例を略図的に示す図。

【 図 1 】



【 図 2 】

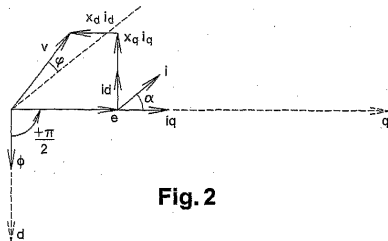


Fig. 2

【 図 3 】

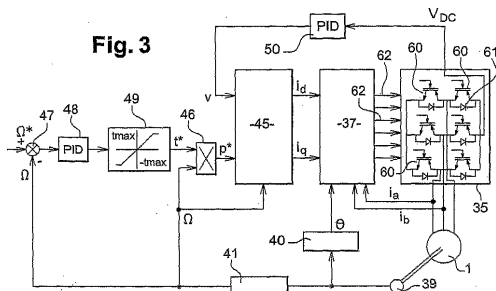


Fig. 3

【 図 4 】

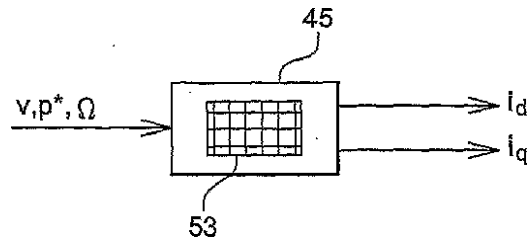


Fig. 4

フロントページの続き

審査官 大山 広人

(56)参考文献 特開 2 0 0 2 - 3 1 5 2 4 3 (J P , A)

特開 2 0 0 0 - 1 5 6 9 4 5 (J P , A)

特開 2 0 0 1 - 2 1 1 5 8 2 (J P , A)

特開 2 0 0 2 - 1 1 2 4 7 9 (J P , A)

特開 2 0 0 1 - 2 9 2 5 4 2 (J P , A)

特開平 0 8 - 0 7 0 5 4 1 (J P , A)

BIANCHI N , Salient-Rotor PM Synchronous Motors for an Extended Flux-Weakening Operation Range , IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS , 米国 , IEEE INC. , 2 0 0 0 年 7 月 , V36 N4 , P1118-1125

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H02K 21/16

H02P 21/00

H02P 27/04