

(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2005-253258

(P2005-253258A)

(43) 公開日 平成17年9月15日(2005.9.15)

(51) Int. Cl.⁷

H02P 21/00

H02P 7/63

F I

H02P 5/408 C

H02P 7/63 303V

テーマコード(参考)

5H505

5H576

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2004-63723 (P2004-63723)

(22) 出願日 平成16年3月8日(2004.3.8)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(74) 代理人 100094916

弁理士 村上 啓吾

(74) 代理人 100073759

弁理士 大岩 増雄

(74) 代理人 100093562

弁理士 児玉 俊英

(74) 代理人 100088199

弁理士 竹中 岑生

(72) 発明者 佐竹 彰

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

最終頁に続く

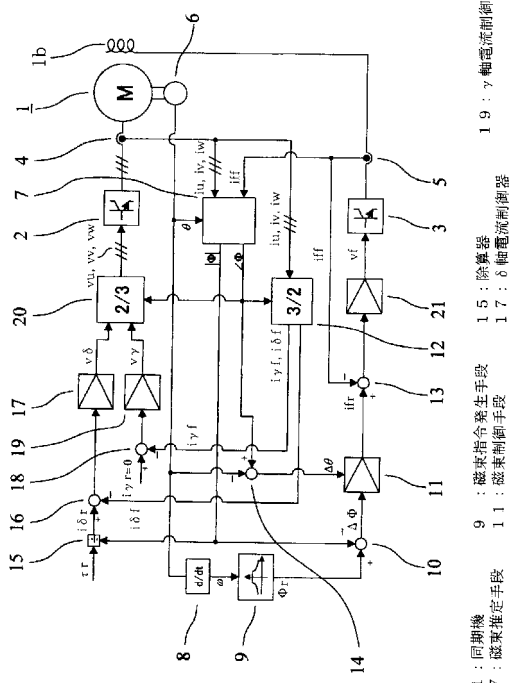
(54) 【発明の名称】 巻線界磁式同期機の制御装置

(57) 【要約】

【課題】 巻線界磁式同期機の特性が変動した場合でも、当該特性の変動を反映して容易に最適な制御を行うことができる巻線界磁式同期機の制御装置を得る。

【解決手段】 同期機 1 の回転数 n を入力して磁束指令 r を発生する磁束指令発生手段 9 と、電機子電流及び界磁電流値 i_f, i_{δ} から永久磁石の磁束を考慮して電機子鎖交磁束の大きさ $| \psi_e |$ と位相 θ とを算出する磁束推定手段 7 と、トルク指令 T_r を電機子鎖交磁束で除して電機子電流指令 i_e^* を求める除算器 15 と、電機子鎖交磁束の大きさ $| \psi_e |$ と磁束指令 r の誤差より界磁電流指令値 i_{δ}^* を決定する磁束制御手段 11 と、電機子鎖交磁束の方向とこれに直交する方向の直交 2 軸上で軸方向の電機子電流 i_e と電機子電流指令 i_e^* との誤差が零になるように制御し、かつ軸方向の電機子電流 i_e が零になるように制御する及び軸電流制御器 16, 18 とを設けた。

【選択図】 図 1



1: 同期機 9: 磁束指令発生手段 11: 磁束制御手段 15: 除算器 16: δ 軸電流制御器 17: δ 軸電流制御器 18: γ 軸電流制御器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

界磁として巻線界磁と永久磁石とを有する巻線界磁式同期機を制御するものであって、上記巻線界磁式同期機の回転数を入力して磁束指令を発生する磁束指令発生手段と、上記巻線界磁式同期機の電機子電流及び界磁電流値から上記永久磁石の磁束を考慮して電機子鎖交磁束の大きさと位相と負荷角とを算出する電機子鎖交磁束算出手段と、トルク指令を上記電機子鎖交磁束で除して電機子電流指令を求める除算器と、上記電機子鎖交磁束算出手段の算出した上記電機子鎖交磁束と上記磁束指令との誤差及び上記負荷角に基づき界磁電流指令を算出する界磁電流指令算出手段と、上記電機子鎖交磁束の方向及び上記電機子鎖交磁束の方向と直交する方向の直交 2 軸上で上記電機子鎖交磁束の方向と直交する方向の電機子電流と上記電機子電流指令との誤差が零になるように制御するとともに上記電機子鎖交磁束の方向の電機子電流が零になるように制御する電機子電流制御手段とを備えた巻線界磁式同期機の制御装置。

10

【請求項 2】

上記電機子鎖交磁束算出手段は上記巻線界磁式同期機ごとの特性に基づいて上記電機子鎖交磁束の大きさと位相とを算出するものであり、上記界磁電流算出手段は上記巻線界磁式同期機ごとの特性に基づいて上記界磁電流指令を算出するものであることを特徴とする請求項 1 に記載の巻線界磁式同期機の制御装置。

【請求項 3】

界磁として巻線界磁と永久磁石とを有する巻線界磁式同期機を制御するものであって、上記巻線界磁式同期機の回転数を入力して磁束指令を発生する磁束指令発生手段と、トルク指令を上記磁束指令の指令値で除して電機子電流指令を求める除算器と、上記磁束指令と上記電機子電流指令とから負荷角を演算する負荷角演算手段と、上記磁束指令と上記負荷角とから上記永久磁石の磁束を考慮して界磁電流指令を算出する界磁電流指令発生手段と、回転子位相に上記負荷角を加えて上記磁束指令の位相を求める加算器と、上記磁束指令の方向及び上記磁束指令の方向と直交する方向の直交 2 軸上で上記磁束指令の方向と直交する方向の電機子電流と上記電機子電流指令との誤差が零になるように制御するとともに上記電機子鎖交磁束の方向の電機子電流が零になるように制御する電機子電流制御手段とを備えた巻線界磁式同期機の制御装置。

20

【請求項 4】

上記負荷角演算手段は上記巻線界磁式同期機ごとの特性に基づいて上記負荷角を演算するものであり、上記界磁電流指令発生手段は上記巻線界磁式同期機ごとの特性に基づいて上記界磁電流指令を算出するものであることを特徴とする請求項 3 に記載の巻線界磁式同期機の制御装置。

30

【請求項 5】

界磁として巻線界磁と永久磁石とを有する巻線界磁式同期機を制御するものであって、上記巻線界磁式同期機の回転数を入力して磁束指令を発生する磁束指令発生手段と、上記巻線界磁式同期機の電機子電流及び界磁電流値から上記永久磁石の磁束を考慮して電機子鎖交磁束の大きさと位相と負荷角とを算出する電機子鎖交磁束算出手段と、トルク指令を上記電機子鎖交磁束で除して電機子電流指令を求める除算器と、上記磁束指令と上記位相とから上記永久磁石の磁束を考慮して界磁電流指令を算出する界磁電流指令発生手段と、上記電機子鎖交磁束の方向及び上記電機子鎖交磁束の方向と直交する方向の直交 2 軸上で上記電機子鎖交磁束の方向と直交する方向の電機子電流と上記電機子電流指令との誤差が零になるように制御するとともに上記電機子鎖交磁束の方向の電機子電流が零になるように制御する電機子電流制御手段とを備えた巻線界磁式同期機の制御装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転子の界磁巻線により界磁磁界を発生する巻線界磁式同期機の制御装置に係り、特に界磁磁界の発生に界磁巻線と共に永久磁石を併用する巻線界磁式同期機の制御

50

装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

巻線界磁式同期機（以下、単に同期機という場合もある）の制御においては、電機子鎖交磁束と電機子電流が直交するように制御するベクトル制御方式が、高効率・高力率な制御方式として従来より用いられている（例えば、非特許文献1参照）。これに対して永久磁石を併用する同期機では、永久磁石が発生する磁束の影響を考慮する必要があることから、従来の同期機のベクトル制御方式を適用することができない。

【0003】

このような課題を解決する手段として、制御装置に与えられるトルク指令と同期機の回転数から、その運転状態で効率が最大となるような、界磁磁束方向（d軸）及びその直交方向（q軸）の電機子電流指令値と、界磁磁束指令値を、テーブルを参照することにより求めるものがある。このようなテーブルの各データは、制御対象となる同期機の特性格ラメータを用いて計算される（例えば、特許文献1参照）。同様の技術として、界磁磁束指令の代わりに界磁電流指令をテーブルより求められているものが知られている（例えば、特許文献2参照）。

10

【0004】

【特許文献1】特開平08-331900号公報（段落番号0037～0047及び図14）

【特許文献2】特開平11-313498号公報（段落番号0035～0038及び図5）

20

【非特許文献1】大沢博他著「同期電動機の高性能可変速制御」電気学会D部門論文集第107巻第2号 電気学会 昭和62年2月 P175～182

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来の同期機の制御装置は以上のように構成され、d軸電流、q軸電流、及び界磁磁束指令や界磁電流指令などの界磁の指令値は、テーブルを参照することにより求められる。テーブルの各データは、制御対象となる同期機の特性格ラメータを用いて計算されるが、その演算は複雑で繰り返し計算が必要である。このため、上記テーブルのデータは、あらかじめオフラインで計算して作成する。以上のようにして作成したテーブルを用いて各電流指令を作成することにより、制御装置は与えられたトルク指令に対して、例えば電機子電流に対して最大のトルクが得られる最大トルク制御運転を実現することができる。

30

【0006】

ところが、実際の同期機の製造においては、同じ機種同期機でもインダクタンスや永久磁石磁束等の特性格ラメータを完全に同じにすることは難しく、製造のばらつきによるこれら特性格ラメータの変動は避けられない。従来の方式では、同期機の特性格ラメータが異なる場合には、同期機毎にテーブルのデータを再度作成する必要があり、多大の労力が必要であった。また、同期機と制御装置は、それぞれ単体で出荷された後に使用先で初めて組み合わされて運転される場合が多く、その際に運転する同期機に対応したテーブルのデータを制御装置に記録する必要がある。

40

【0007】

しかし、従来の方式では、トルク指令と回転数の組み合わせに対応したd軸電流、q軸電流、及び界磁の指令値のテーブルが必要になり、データ量が膨大で制御装置への記録が容易でないという問題点があった。

本発明は、このような課題を解決するためになされたものであり、同期機の特性格ラメータが変動した場合でも、当該特性格ラメータの変動を反映して容易に最適な制御を行うことができる巻線界磁式同期機の制御装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

この発明に係る巻線界磁式同期機の制御装置は、界磁として巻線界磁と永久磁石とを有

50

する巻線界磁式同期機を制御するものであって、巻線界磁式同期機の回転数を入力して磁束指令を発生する磁束指令発生手段と、巻線界磁式同期機の電機子電流及び界磁電流値から永久磁石の磁束を考慮して電機子鎖交磁束の大きさと位相と負荷角とを算出する電機子鎖交磁束算出手段と、トルク指令を電機子鎖交磁束で除して電機子電流指令を求める除算器と、電機子鎖交磁束算出手段の算出した電機子鎖交磁束と磁束指令との誤差及び負荷角に基づき界磁電流指令を算出する界磁電流指令算出手段と、電機子鎖交磁束の方向及び電機子鎖交磁束の方向と直交する方向の直交2軸上で電機子鎖交磁束の方向と直交する方向の電機子電流と電機子電流指令との誤差が零になるように制御するとともに電機子鎖交磁束の方向の電機子電流が零になるように制御する電機子電流制御手段とを備えたものである。

10

【0009】

また、この発明に係る巻線界磁式同期機の制御装置は、界磁として巻線界磁と永久磁石とを有する巻線界磁式同期機を制御するものであって、巻線界磁式同期機の回転数を入力して磁束指令を発生する磁束指令発生手段と、トルク指令を磁束指令の指令値で除して電機子電流指令を求める除算器と、磁束指令と電機子電流指令とから負荷角を演算する負荷角演算手段と、磁束指令と負荷角とから永久磁石の磁束を考慮して界磁電流指令を算出する界磁電流指令発生手段と、回転子位相に負荷角を加えて磁束指令の位相を求める加算器と、磁束指令の方向及び磁束指令の方向と直交する方向の直交2軸上で磁束指令の方向と直交する方向の電機子電流と電機子電流指令との誤差が零になるように制御するとともに電機子鎖交磁束の方向の電機子電流が零になるように制御する電機子電流制御手段とを備

20

【発明の効果】

【0010】

この発明は、界磁として巻線界磁と永久磁石とを有する巻線界磁式同期機を制御するものであって、巻線界磁式同期機の回転数を入力して磁束指令を発生する磁束指令発生手段と、巻線界磁式同期機の電機子電流及び界磁電流値から永久磁石の磁束を考慮して電機子鎖交磁束の大きさと位相と負荷角とを算出する電機子鎖交磁束算出手段と、トルク指令を電機子鎖交磁束で除して電機子電流指令を求める除算器と、電機子鎖交磁束算出手段の算出した電機子鎖交磁束と磁束指令との誤差及び負荷角に基づき界磁電流指令を算出する界磁電流指令算出手段と、電機子鎖交磁束の方向及び電機子鎖交磁束の方向と直交する方向の直交2軸上で電機子鎖交磁束の方向と直交する方向の電機子電流と電機子電流指令との誤差が零になるように制御するとともに電機子鎖交磁束の方向の電機子電流が零になるように制御する電機子電流制御手段とを備えたので、巻線界磁式同期機の特

30

【0011】

また、界磁として巻線界磁と永久磁石とを有する巻線界磁式同期機を制御するものであって、巻線界磁式同期機の回転数を入力して磁束指令を発生する磁束指令発生手段と、トルク指令を磁束指令の指令値で除して電機子電流指令を求める除算器と、磁束指令と電機子電流指令とから負荷角を演算する負荷角演算手段と、磁束指令と負荷角とから永久磁石の磁束を考慮して界磁電流指令を算出する界磁電流指令発生手段と、回転子位相に負荷角を加えて磁束指令の位相を求める加算器と、磁束指令の方向及び磁束指令の方向と直交する方向の直交2軸上で磁束指令の方向と直交する方向の電機子電流と電機子電流指令との誤差が零になるように制御するとともに電機子鎖交磁束の方向の電機子電流が零になるように制御する電機子電流制御手段とを備えたので、巻線界磁式同期機の特

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

50

実施の形態 1 .

図 1 ~ 図 3 は、この発明を実施するための実施の形態 1 を示すものであり、図 1 は同期機の制御装置の構成を示す構成図、図 2 は図 1 の制御系の動作を説明するための同期機のベクトル図である。図 3 は、図 1 の磁束制御手段の詳細構成を示す構成図である。図 1 において、同期機 1 は、界磁として巻線界磁 1 b と図示しない永久磁石を有している。同期機 1 は、図示しない電機子巻線が三相ドライブ回路 2 に接続され、界磁巻線 1 b が直流ドライブ回路 3 に接続されて駆動され、それぞれの巻線の電流は電機子電流センサ 4 及び界磁電流センサ 5 によって検出される。

【 0 0 1 3 】

また、同期機 1 の回転子位相 θ は回転子位置センサ 6 によって検出される。磁束推定手段 7 は、電機子電流 i_u, i_v, i_w 、界磁電流 i_f 、及び回転子位相 θ から電機子鎖交磁束の大きさ $|F_s|$ 及び位相 α を算出するが、計算の詳細については後述する。この実施の形態の同期機の制御装置においては、電機子の電流制御は、この電機子鎖交磁束の位相 α の方向（ d 軸）及びその直交方向（ q 軸）の 2 軸上で行われるので、電機子電流 i_u, i_v, i_w は座標変換器 1 2 により d 軸電機子電流 i_d 、 q 軸電機子電流 i_q に座標変換される。また、加算器 1 4 は電機子鎖交磁束の位相 α から回転子位相 θ を減じて、負荷角 δ を求める。

【 0 0 1 4 】

回転子位相 θ を微分器 8 で微分して回転子速度 ω が得られ、磁束指令発生手段 9 は回転子速度 ω より磁束指令 r を求める。加算器 1 0 は、磁束指令 r から電機子鎖交磁束 $|F_s|$ を減算して誤差 e を求め、この誤差 e は磁束制御手段 1 1 に入力されて、負荷角 δ 及び永久磁石磁束を参照しながら界磁電流指令 i_{fr} が算出されるが、その詳細については後述する。

【 0 0 1 5 】

一方、除算器 1 5 によりトルク指令 T^* を電機子鎖交磁束 $|F_s|$ で除して d 軸電流指令 i_{dr}^* が得られる。加算器 1 6 は、この d 軸電流指令 i_{dr}^* から d 軸電機子電流 i_d を減じて d 軸電流誤差 i_{de} を算出し、この誤差 i_{de} を d 軸電流制御器 1 7 に入力して d 軸電圧指令 v_d を得る。 d 軸電流指令 i_{dr}^* は 0 であるが、同様に加算器 1 8 が q 軸電流指令 i_{qr}^* から q 軸電機子電流 i_q を減じて q 軸電流誤差 i_{qe} を算出し、この誤差 i_{qe} を q 軸電流制御器 1 9 に入力して q 軸電圧指令 v_q を得る。

【 0 0 1 6 】

d 軸電圧指令 v_d 、 q 軸電圧指令 v_q は、座標変換器 2 0 により三相電圧 v_u, v_v, v_w に変換され、三相ドライブ回路 2 に出力される。また加算器 1 3 は、界磁電流指令 i_{fr} から界磁電流 i_f を減じて界磁電流誤差 i_{fe} を算出し、この誤差 i_{fe} は界磁電流制御器 2 1 に入力されて界磁電圧指令 v_f が算出され、直流ドライブ回路 3 に出力される。

【 0 0 1 7 】

図 1 の制御装置の動作を図 2 の同期機のベクトル図により説明する。図 2 に示すように、電機子に固定された d 座標系に対して、回転子に固定された d q 軸は回転子位相 θ を成している。界磁磁束ベクトル F_m は d 軸方向に発生し、その磁束は永久磁石磁束 m と界磁電流 i_f による磁束の合計である。この関係を式で表すと (1) 式のようになる。

$$F = m + M \cdot i_f \quad \dots (1)$$

但し、 M は界磁電流 i_f から d 軸電機子鎖交磁束への相互インダクタンスである。

【 0 0 1 8 】

一方、電機子電流ベクトル i により電機子反作用磁束ベクトル a が発生し、この二つの磁束ベクトルの総和が電機子鎖交総磁束ベクトル F_s であって、この電機子鎖交総磁束ベクトル F_s の絶対値 $|F_s|$ 及び位相 α は以下の (2) ~ (4) 式で求めることができる。この式に基づく計算は磁束推定手段 7 で実行される。

$$|F_s| = \sqrt{(i_f + L_d \cdot i_d)^2 + (L_q \cdot i_q)^2} \quad \dots (2)$$

$$\alpha = \tan^{-1} (L_q \cdot i_q / (i_f + L_d \cdot i_d)) \quad \dots (3)$$

$$\delta = \theta - \alpha \quad \dots (4)$$

10

20

30

40

50

但し、 L_d は電機子d軸自己インダクタンス、 L_q は電機子q軸自己インダクタンスである。

【0019】

以上の計算で算出した電機子鎖交磁束の位相 θ の方向に θ 軸、その直交方向に $\theta+90^\circ$ 軸をとる。電機子電流ベクトル i が電機子鎖交総磁束ベクトル F と直交する状態が、発生トルクに対する電機子電流が最小になるので、電機子電流が θ 軸方向成分のみを持つように、除算器15によりトルク指令 r を電機子鎖交磁束 $|F|$ で除して θ 軸電流指令 i_r を与えると共に、 $\theta+90^\circ$ 軸電流指令 i_r を0にすることにより、電機子電流 i に対して最大のトルクが得られる最大トルク制御運転を行うことができる。

【0020】

なお、この実施の形態における磁束推定手段7と加算器14がこの発明における電機子鎖交磁束算出手段、磁束制御手段11が界磁電流指令算出手段、加算器16と軸電流制御器17と加算器18と θ 軸電流制御器19とが電機子電流制御手段である。

【0021】

ここで磁束制御手段11の詳細について説明する。通常の巻線界磁型同期電動機のベクトル制御では、磁束制御手段は通常のPI制御器が用いられるが、永久磁石併用型の巻線界磁型同期電動機においては、(1)式に示したように永久磁石磁束の影響を加味する必要がある。図3は磁束制御手段11の内部構造を示すものであるが、図3において、磁束誤差 ΔF は補正器31により負荷角 θ を用いてd軸方向に換算された後、PI制御器31に入力されてd軸界磁電流指令相当値 i_{freq} が得られるが、このd軸界磁電流指令相当値 i_{freq} より永久磁石磁束の影響を加味するために磁石相当界磁電流 i_{fm} を加算器33により減じて、最終的な界磁電流指令 i_{fr} が求められる ($i_{fr} = i_{freq} - i_{fm}$)。なお、磁石相当界磁電流 i_{fm} は(5)式で与えられる。

$$i_{fm} = \frac{m}{M} \cdot \dots \quad (5)$$

【0022】

磁束制御手段11を以上のように構成することにより、永久磁石磁束の影響を加味した界磁電流指令値を算出することが可能になる。また、電機子電圧は、電機子電流による抵抗電圧降下を無視すれば、電機子鎖交総磁束ベクトル絶対値 $|F|$ と回転数の積で求めることができる。このため、電機子鎖交総磁束ベクトル絶対値 $|F|$ と回転数の積が一定値になるようにすれば、電機子電圧を一定に保つことができ、三相ドライブ回路2の出力電圧に制限がある場合でも、適正な出力電圧を保つことができる。以上の関係を用いて、磁束指令発生手段9は回転数 ω から磁束指令 r を算出する。

【0023】

なお、上記の制御演算では、同期機の実特性パラメータとして永久磁石磁束 m 、界磁電流 i_{ff} からd軸電機子鎖交磁束への相互インダクタンス M 、電機子自己インダクタンス L_d 、 L_q を使用しているだけであるので、これらの特性パラメータが同期機毎に異なる場合でも、これらの値を変更するだけで最適な運転状態を実現することができる。また特許文献1に示されたような、温度上昇により永久磁石磁束が変動する場合でも、運転中に制御演算の中の永久磁石磁束 m の値を変更すれば、即座に特性変動を反映した運転状態に移行することができる。

【0024】

また、上記の同期機の実特性パラメータは制御装置自体による測定が可能であり、この測定値を使用してこの発明の制御装置を運転することにより、それぞれの同期機に最適な運転状態を実現することができる。以下に、その代表的な測定方法を説明する。

永久磁石併用の巻線界磁型同期電動機の定常運転時の電圧方程式を、(6)式に示すが、この(6)式を元に同期機の実特性パラメータの測定方法を説明する。なお、界磁の永久磁石を初めとする同期機の定数の測定時には、回転子位相 θ を用いて座標変換を行うので、図1において θ 軸がd軸に、 $\theta+90^\circ$ 軸がq軸に相当することになる。

【0025】

10

20

30

40

【数 1】

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & -\omega L_q \\ \omega L_d & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \omega \begin{bmatrix} 0 \\ \Phi_m + M \cdot i_f \end{bmatrix} \quad \dots (6)$$

10

【0026】

まず永久磁石磁束 Φ_m についてであるが、電機子 d 軸及び q 軸電流 i_d 、 i_q 及び界磁電流 i_f を 0 にして (6) 式第二列を変形すると (7) 式が得られる。

$$m = v_q / \omega \quad \dots (7)$$

これより、同期機を外部動力により回転駆動した状態で、電機子 d 軸及び q 軸電流指令 (d 軸及び q 軸電流指令 i_d^* 、 i_q^*) 及び界磁電流指令 i_f^* を 0 にして、その時の q 軸電圧指令 (図 1 における電流制御器 17 から出力される q 軸電圧指令 v_q) を記録すれば、(7) 式より永久磁石磁束 Φ_m が算出できることが分かる。

【0027】

次に自己インダクタンス L_d であるが、界磁電流 i_f 、電機子 q 軸電流 i_q を 0 にして、電機子 d 軸電流 i_d を所定の値にした状態で (6) 式第二列を変形すると (8) 式が得られる。

$$L_d = (v_q - \omega m) / \omega \cdot i_d \quad \dots (8)$$

これより、同期機を外部動力により回転駆動した状態で、電機子 q 軸電流指令及び界磁電流指令 i_f^* を 0 にして所定の d 軸電流指令を与え、その時の q 軸電圧指令を記録すれば、(8) 式より自己インダクタンス L_d が算出できることが分かる。

【0028】

また、自己インダクタンス L_q は、界磁電流 i_f 、電機子 d 軸電流 i_d を 0 にして、電機子 q 軸電流 i_q を所定の値にした状態で (6) 式第一列を変形すると (9) 式が得られる。

$$L_q = v_d / \omega \cdot i_q \quad \dots (9)$$

これより、同期機を外部動力により回転駆動した状態で、電機子 d 軸電流指令及び界磁電流指令 i_f^* を 0 にして所定の q 軸電流指令を与え、その時の d 軸電圧指令を記録すれば、(9) 式より自己インダクタンス L_q が算出できることが分かる。

【0029】

最後に相互インダクタンス M についてであるが、電機子電流 i_d 、 i_q を 0 にして界磁電流 i_f を所定の値にした状態で (6) 式第二列を変形すると (10) 式が得られる。

$$M = (v_q - \omega m) / \omega \cdot i_f \quad \dots (10)$$

これより、同期機を外部動力により回転駆動した状態で、電機子電流指令を 0 にして所定の界磁電流指令を与え、その時の q 軸電圧指令を記録すれば、(7) 式より永久磁石磁束 Φ_m が算出できることが分かる。

40

【0030】

以上の方法により、運転前あるいは使用中の適当なタイミングで同期機の特性格ラメータを制御装置自体で測定して制御装置内の特性格ラメータを更新すれば、特性格ラメータのばらつきあるいは変動がある場合でも、最適な運転状態を保つことができる。なお、特性格ラメータの測定方法には、上記の方法以外にも、電機子及び界磁巻線に交番電圧を印加して、各巻線に発生する交番電流からインダクタンスを求める方法などが知られているが、同様の効果を奏する。

【0031】

なお、上記の同期機の特性格ラメータは、磁気飽和の影響により変動することが知られ

50

ており、例えば相互インダクタンスMは界磁電流 i_f により、自己インダクタンス L_q は電機子q軸電流 i_q により大きく影響される場合がある。この磁気飽和の影響を勘案して制御を行うには、特性パラメータを運転条件（各電流値あるいは指令値など）を参照して変化させるような、特性テーブルあるいは特性式を用いればよく、これによって特性パラメータの運転条件による変化を反映した制御が可能になる。

また、上記の実施例では、磁束推定手段7として各電流値より磁束を推定する方式のものについて説明したが、電圧情報を併用して磁束推定精度を向上する磁束オブザーバなどを適用した方式を用いても良い。

【0032】

以上のように、上記においては磁束推定手段7により、軸電機子電流 i_f 、 i_f 、 i_f 、界磁電流 i_{ff} 、及び回転子位相から電機子鎖交磁束の大きさ $|$ 及び位相を算出するものを示した。しかし、実際に検出した軸電機子電流 i_f 、 i_f 、界磁電流 i_{ff} の代わりに、電機子d軸及びq軸電流指令値（軸及び軸電流指令 i_r 、 i_r ）及び界磁電流指令 i_{fr} の指令値を用いることもできる。この場合、上で説明したように電機子軸電流指令 i_r を求めるために電機子鎖交磁束の大きさ $|$ が必要であり、また電機子軸電流指令 i_r 、 i_r から三相の電機子電流 i_u 、 i_v 、 i_w を求めるのに電機子鎖交磁束の位相が必要であるなど、計算の一部が循環的になる。

【0033】

これを防止するために、例えば次のように構成する。すなわち、上記のような演算をマイコンを用いて所定の周期で演算し、電機子鎖交磁束の大きさ $|$ とその位相の値として前回の演算結果を用いて各電流指令値 i_r 、 i_r 、 i_{fr} を算出し、この指令値を用いて電機子鎖交磁束の大きさ $|$ とその位相を算出し、得られた値を次の計算に使用するようにする。なお、運転開始時で電機子d軸及びq軸電流指令及び界磁電流指令 i_{fr} の指令値が0の状態においては、例えば電機子鎖交磁束の大きさ $|$ を永久磁石磁束 m 、位相を回転子位相角で初期化してから制御演算を開始する。また、上記処理の際に、得られ得た電機子鎖交磁束の大きさ $|$ とその位相の値を所定の特性を有するフィルタを用いて処理して次の計算に用いるようにすれば、演算の安定性を高くすることができる。以上のように、推定磁束に用いる電流に電流の指令値を用いるので、電流検出に伴うノイズの影響を受けることがなく、より安定した制御を行うことができる。

【0034】

実施の形態2.

図4及び図5は、この発明の実施の形態2を示すものであり、図4は同期機の制御装置の構成図、図5は電機子鎖交磁束と電機子電流が直交している状態の同期機のベクトル図である。図4において、図1における磁束推定手段7の代わりに、磁束指令 r と軸電流指令 i_r から負荷角を演算する負荷角演算器41が設けられている。そして、磁束制御手段11の代わりに磁束指令 r と負荷角から界磁電流指令 i_{fr} を算出する界磁電流指令発生器42が設けられている。なお、実施の形態1のような推定磁束を用いた磁束のフィードバック制御は行われず、加算器43は回転子位相に負荷角を与えて電機子鎖交磁束の位相を算出し、この位相方向の座標上で電機子電流制御が行われる。その他の構成については、図1に示した実施の形態1と同様のものであるので、相当するものに同じ符号を付して説明を省略する。

【0035】

この実施の形態による同期機の制御装置では、同期機は電機子鎖交磁束と電機子電流が直交している状態で運転されているものとして、負荷角を算出する。図5は、電機子鎖交磁束と電機子電流 i が直交している状態の同期機のベクトル図である。図5より、負荷角について次の(11)式が成立することが分かる。

$$\begin{aligned} &= \tan^{-1} (L_q \cdot i_q / \cos) \\ &= \tan^{-1} (L_q \cdot i \cos / \cos) \end{aligned}$$

$$= \tan^{-1} (L_q \cdot i_f / \dots) \dots (11)$$

【0036】

電機子軸電流 i_f の代わりに指令値 i_r を、電機子鎖交磁束 Φ_{s1} の代わりに磁束指令 r を用いれば、(11)式より負荷角 θ を算出することができ、同方法により負荷角演算器41は負荷角 θ を算出する。この計算方法により、磁束推定手段7を用いた実施の形態1に比べて、負荷角 θ の演算を大幅に簡略化することができる。なお、電機子軸電流指令 i_r の代わりにフィードバック値である電機子軸電流 i_f を用いても問題がない。

【0037】

この実施の形態による同期機の制御装置では、推定磁束を用いた磁束のフィードバック制御は行われず、図5より、d軸上の磁束について次の(12)式が成立することが分かるが、(12)式に(1)、(5)式を代入して整理すると、(13)式が得られる。

$$\begin{aligned} \Phi_{sd} &= \cos \theta - L_q \cdot i_d \\ &= \cos \theta + L_q \cdot i_f \sin \theta \dots (12) \end{aligned}$$

$$i_f = (\cos \theta + L_q \cdot i_f \sin \theta) / M - i_{fm} \dots (13)$$

界磁電流指令発生器42は、電機子軸電流 i_f の代わりに指令値 i_r を、電機子鎖交磁束 Φ_{s1} の代わりに磁束指令 r を用いて、(13)式により界磁電流指令 i_{fr} を算出する。

【0038】

なお、電機子の自己インダクタンスが非突極 ($L_d = L_q$) の場合は、電機子鎖交磁束 Φ_{s1} と電機子磁束 Φ_{sa} が直交するので、次の(14)式が成立し、これに(1)、(5)式を代入して(15)式が得られる。

$$i_f = r / \cos \theta \dots (14)$$

$$i_{fr} = r / M \cos \theta - i_{fm} \dots (15)$$

従って、電機子の自己インダクタンスが非突極 ($L_d = L_q$) の場合は、界磁電流指令発生器42は(15)式を用いて界磁電流指令 i_{fr} を算出することができる。この場合、界磁電流指令発生器42は電機子軸電流指令値 i_r を参照する必要はなく、計算を更に簡略化することができる。

【0039】

この実施の形態2においても、実施の形態1と同様に運転時に同期機の特性パラメータを測定して、この特性パラメータを用いた制御が即座に可能であるのは同様である。また、先に示したように、同期機の特性パラメータが磁気飽和の影響により変動する現象に対応するには、実施の形態1の場合と同様に、特性パラメータを運転条件(各電流値あるいは指令値など)を参照して変化させるような、特性テーブルあるいは特性式を用いれば良い。

【0040】

なお、この実施の形態2では、負荷角 θ の計算と界磁磁束制御の双方を簡略化する方法について説明したが、電機子鎖交磁束位相の計算は実施の形態1の方式で行い、界磁磁束制御のための界磁電流指令を界磁電流指令発生器42により磁束指令 r と負荷角 θ から計算する上記実施の形態2の方法で簡易化する方式も、構成可能である。

【0041】

なお、この実施の形態における負荷角演算器41がこの発明における負荷角演算手段、界磁電流指令発生器42が界磁電流指令発生手段である。

【0042】

以上に説明したように、この発明によれば、永久磁石の磁束情報を含めた同期機の特性パラメータを用いて最適な運転状態を保つような制御を行うので、同期機の特性パラメータが変動した場合でも、わずかな制御特性パラメータの変更によりその変動を反映して最適な運転状態を保つことが可能になる。また、本発明の実施の形態2による同期機の制御装置では、磁束の推定及び制御を行わずに簡易化した制御が行えるようにしたので、より簡便な構成により実施の形態1と同様の効果を奏することができる。

10

20

30

40

50

【0043】

以上のようにこの発明によれば、界磁として巻線界磁と永久磁石とを有する巻線界磁式同期機を制御するものであって、巻線界磁式同期機の回転数を入力して磁束指令を発生する磁束指令発生手段と、巻線界磁式同期機の電機子電流及び界磁電流値から永久磁石の磁束を考慮して電機子鎖交磁束の大きさと位相と負荷角とを算出する電機子鎖交磁束算出手段と、トルク指令を電機子鎖交磁束で除して電機子電流指令を求める除算器と、電機子鎖交磁束算出手段の算出した電機子鎖交磁束と磁束指令との誤差及び負荷角に基づき界磁電流指令を算出する界磁電流指令算出手段と、電機子鎖交磁束の方向及び電機子鎖交磁束の方向と直交する方向の直交2軸上で電機子鎖交磁束の方向と直交する方向の電機子電流と電機子電流指令との誤差が零になるように制御するとともに電機子鎖交磁束の方向の電機子電流が零になるように制御する電機子電流制御手段とを備えたので、巻線界磁式同期機

10

【0044】

そして、電機子鎖交磁束算出手段は巻線界磁式同期機ごとの特性に基づいて電機子鎖交磁束の大きさと位相とを算出するものであり、界磁電流算出手段は巻線界磁式同期機ごとの特性に基づいて界磁電流指令を算出するものであることを特徴とするので、巻線界磁式同期機の特性にばらつきがあっても各巻線界磁式同期機に応じて適切な制御を行うことができる。

【0045】

また、界磁として巻線界磁と永久磁石とを有する巻線界磁式同期機を制御するものであって、巻線界磁式同期機の回転数を入力して磁束指令を発生する磁束指令発生手段と、トルク指令を磁束指令の指令値で除して電機子電流指令を求める除算器と、磁束指令と電機子電流指令とから負荷角を演算する負荷角演算手段と、磁束指令と負荷角とから永久磁石の磁束を考慮して界磁電流指令を算出する界磁電流指令発生手段と、回転子位相に負荷角を加えて磁束指令の位相を求める加算器と、磁束指令の方向及び磁束指令の方向と直交する方向の直交2軸上で磁束指令の方向と直交する方向の電機子電流と電機子電流指令との誤差が零になるように制御するとともに電機子鎖交磁束の方向の電機子電流が零になるように制御する電機子電流制御手段とを備えたので、巻線界磁式同期機の特性パラメータが変動した場合でも、当該特性パラメータの変動を反映して容易に最適な制御を行うことができる

20

30

【0046】

さらに、負荷角演算手段は巻線界磁式同期機ごとの特性に基づいて負荷角を演算するものであり、界磁電流指令発生手段は巻線界磁式同期機ごとの特性に基づいて界磁電流指令を算出するものであることを特徴とするので、巻線界磁式同期機の特性にばらつきがあっても各巻線界磁式同期機に応じて適切な制御を行うことができる。

【0047】

また、界磁として巻線界磁と永久磁石とを有する巻線界磁式同期機を制御するものであって、巻線界磁式同期機の回転数を入力して磁束指令を発生する磁束指令発生手段と、巻線界磁式同期機の電機子電流及び界磁電流値から永久磁石の磁束を考慮して電機子鎖交磁束の大きさと位相と負荷角とを算出する電機子鎖交磁束算出手段と、トルク指令を電機子鎖交磁束で除して電機子電流指令を求める除算器と、磁束指令と位相とから永久磁石の磁束を考慮して界磁電流指令を算出する界磁電流指令発生手段と、電機子鎖交磁束の方向及び電機子鎖交磁束の方向と直交する方向の直交2軸上で電機子鎖交磁束の方向と直交する方向の電機子電流と電機子電流指令との誤差が零になるように制御するとともに電機子鎖交磁束の方向の電機子電流が零になるように制御する電機子電流制御手段とを備えたので、巻線界磁式同期機の特性パラメータが変動した場合でも、当該特性パラメータの変動を反映して容易に最適な制御を行うことができる

40

50

構成とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0048】

【図1】この発明の実施の形態1である同期機の制御装置の構成を示す構成図である。

【図2】図1の同期機の制御装置の動作を説明するための同期機のベクトル図である。

【図3】図1の磁束制御手段の詳細構成を示す構成図である。

【図4】この発明の実施の形態2である同期機の制御装置の構成を示す構成図である。

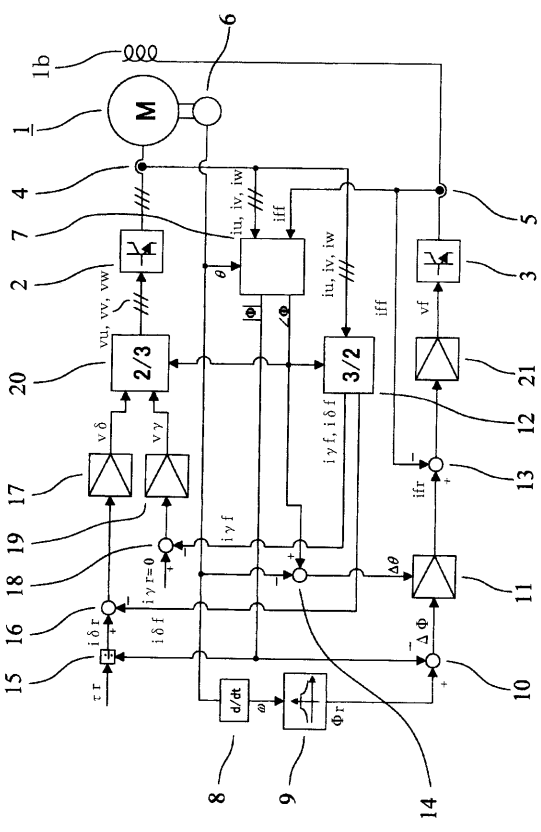
【図5】電機子鎖交磁束と電機子電流が直交している状態の同期機のベクトル図である。

【符号の説明】

【0049】

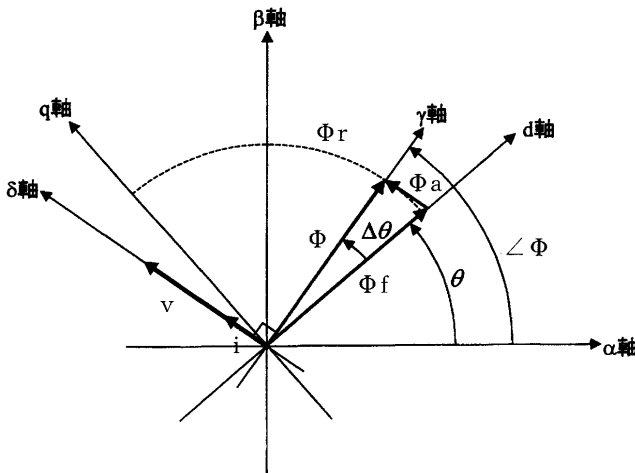
- 1 同期機、 7 磁束推定手段、 9 磁束指令発生手段、 11 磁束制御手段、
- 15 除算器、 17 γ 軸電流制御器、 19 δ 軸電流制御器、 41 負荷角演算器、
- 42 界磁電流指令発生器、 43 加算器。

【図1】

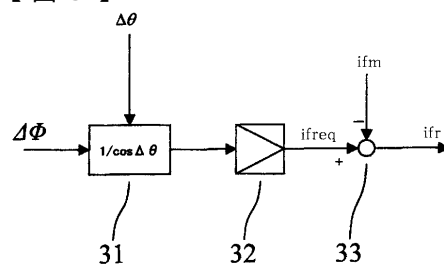


1 : 同期機
 7 : 磁束推定手段
 9 : 磁束指令発生手段
 10 : 除算器
 11 : 磁束制御手段
 15 : 除算器
 17 : δ 軸電流制御器
 19 : γ 軸電流制御器

【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 葉石 敦生

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(72)発明者 小林 勝

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

Fターム(参考) 5H505 CC01 DD08 EE41 GG04 HA08 JJ04 JJ06 JJ25 LL01 LL22
LL34 LL35 LL40 LL41
5H576 CC01 DD07 EE01 GG04 HA02 JJ04 JJ06 JJ25 LL01 LL22
LL34 LL35 LL40 LL41