

(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2008-199864  
(P2008-199864A)

(43) 公開日 平成20年8月28日(2008.8.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
<b>HO2P 1/46 (2006.01)</b>	HO2P 1/46	5H001
<b>HO2P 21/00 (2006.01)</b>	HO2P 5/408 C	5H505
<b>HO2P 27/04 (2006.01)</b>	HO2P 6/02 371T	5H560
<b>HO2P 6/18 (2006.01)</b>		

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2007-35669(P2007-35669)  
(22) 出願日 平成19年2月16日(2007.2.16)

(71) 出願人 503361927  
富士電機機器制御株式会社  
東京都品川区大崎一丁目11番2号  
(74) 代理人 100091281  
弁理士 森田 雄一  
(72) 発明者 野村 尚史  
東京都日野市富士町1番地 富士電機アド  
バンステクノロジー株式会社内  
(72) 発明者 糸魚川 信夫  
東京都品川区大崎一丁目11番2号 富士  
電機機器制御株式会社内  
Fターム(参考) 5H001 AA03 AB05 AD02 AD05 AE01  
5H505 AA01 AA04 CC05 DD08 EE41  
FF01 HB01 LL12 LL22 LL41  
MM02

最終頁に続く

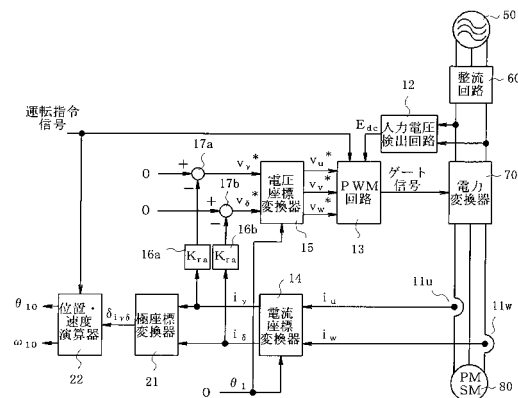
(54) 【発明の名称】 永久磁石形同期電動機の制御装置

(57) 【要約】

【課題】永久磁石形同期電動機の回転子の磁極位置を検出するための位置検出器、及び、電動機の端子電圧を検出する電圧検出器を使用しない永久磁石形同期電動機の制御装置において、電動機が回転している状態からもスムーズに始動可能な制御装置を提供する。

【解決手段】永久磁石形同期電動機80の電機子巻線の電流検出値を比例調節器16a, 16bにより増幅して電圧指令値を演算し、PWM回路13及び電力変換器70を介して電動機80の端子電圧を前記電圧指令値に制御することで、電機子巻線の「見かけの抵抗値」を制御し、電機子電流を制御する。このときの電流検出値から回転子の磁極位置及び速度を演算し、これらの演算値を用いて永久磁石形同期電動機80の運転を開始する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

永久磁石形同期電動機の回転子の磁極位置を検出する位置検出器、及び、前記電動機の端子電圧を検出する電圧検出器を用いずに、電力変換器により前記電動機を駆動するための制御装置において、

前記電動機の電機子電流及び端子電圧をベクトルとしてとらえると共に、

前記電動機の電機子電流を検出する電流検出手段と、

この電流検出手段により検出した電流検出値を増幅する電流増幅手段と、

この電流増幅手段の出力を用いて電圧指令値を演算する電圧指令値演算手段と、

前記電動機の端子電圧を前記電圧指令値に制御する前記電力変換器と、

前記電流検出値から前記電動機の速度を演算する速度演算手段と、

前記電流検出値から前記電動機の回転子磁極位置を演算する磁極位置演算手段と、

前記速度演算手段により演算した速度と前記磁極位置演算手段により演算した回転子磁極位置とを用いて、前記電動機の運転を開始する制御手段と、

を備えたことを特徴とする制御装置。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載した永久磁石形同期電動機の制御装置において、

前記速度演算手段は、

前記電流検出値のベクトルの回転速度から前記電動機の速度を演算することを特徴とする永久磁石形同期電動機の制御装置。

20

## 【請求項 3】

前記請求項 1 または 2 に記載した永久磁石形同期電動機の制御装置において、

前記磁極位置演算手段は、

前記電流検出値のベクトルの角度及び前記電動機の速度演算値から前記磁極位置を演算することを特徴とする永久磁石形同期電動機の制御装置。

## 【請求項 4】

前記請求項 1 ~ 3 の何れか 1 項に記載した永久磁石形同期電動機の制御装置において、

前記速度演算手段及び前記磁極位置演算手段は、前記電力変換器により前記電動機の端子電圧の制御を開始してから所定期間が経過した後にそれぞれ演算を開始することを特徴とする永久磁石形同期電動機の制御装置。

30

## 【請求項 5】

前記請求項 1 ~ 4 の何れか 1 項に記載した永久磁石形同期電動機の制御装置において、

前記電流検出値のベクトルの大きさが所定値より小さい場合に、前記電動機の速度が零であることを検出する零速度検出手段を備え、

この零速度検出手段により前記電動機の速度が零であることが検出されない場合にのみ、前記電動機の速度演算値及び磁極位置演算値を使用して前記電動機の運転を開始することを特徴とする永久磁石形同期電動機の制御装置。

## 【請求項 6】

請求項 1 に記載した永久磁石形同期電動機の制御装置において、

前記電動機の端子電圧を線間で零に制御する零電圧印加手段と、

前記零電圧印加手段により端子電圧を零に制御しているときの前記電流検出値から前記電動機の第 2 の速度を演算する第 2 の速度演算手段と、を備え、

40

前記第 2 の速度演算手段により演算した速度が所定値より低い場合にのみ、請求項 1 に記載した手段によって前記電動機の運転を開始することを特徴とする永久磁石形同期電動機の制御装置。

## 【請求項 7】

永久磁石形同期電動機の回転子の磁極位置を検出する位置検出器、及び、前記電動機の端子電圧を検出する電圧検出器を用いずに、電力変換器により前記電動機を駆動するための制御装置において、

前記電動機の電機子電流及び端子電圧をベクトルとしてとらえると共に、

50

前記電動機の電機子電流を検出する電流検出手段と、  
この電流検出手段により検出した電流検出値を増幅する電流増幅手段と、  
この電流増幅手段の出力を用いて電圧指令値を演算する電圧指令値演算手段と、  
前記電動機の端子電圧を前記電圧指令値に制御する電力変換器と、  
前記電動機の速度が零であることを検出する零速度検出手段と、を備え、  
前記電力変換器により前記電動機の端子電圧を制御して前記電機子電流による制動力を  
前記電動機の回転子に作用させ、前記零速度検出手段が前記電動機の速度が零であること  
を検出した後に、前記電動機の運転を開始することを特徴とする永久磁石形同期電動機の  
制御装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載した永久磁石形同期電動機の制御装置において、  
前記零速度検出手段は、  
前記電流検出値のベクトルの大きさが所定値より小さい場合に、前記電動機の速度が零  
であることを検出することを特徴とする永久磁石形同期電動機の制御装置。

【請求項 9】

請求項 7 に記載した永久磁石形同期電動機の制御装置において、  
前記零速度検出手段は、  
前記電力変換器による端子電圧の制御を開始してから所定時間が経過した場合に、前記  
電動機の速度が零であることを検出することを特徴とする永久磁石形同期電動機の制御装  
置。

【請求項 10】

請求項 1 または請求項 7 に記載した永久磁石形同期電動機の制御装置において、  
前記電力変換器の入力電圧を検出する入力電圧検出手段と、  
この入力電圧検出手段により検出した入力電圧検出値が所定値より高い場合に、前記電  
力変換器から前記電動機への給電を停止する電圧制限手段と、  
を備えたことを特徴とする永久磁石形同期電動機の制御装置。

【請求項 11】

請求項 1 または請求項 7 に記載した永久磁石形同期電動機の制御装置において、  
前記電流検出値のベクトルの大きさが所定値より大きい場合に、前記電力変換器から前  
記電動機への給電を停止する電流制限手段を備えたことを特徴とする永久磁石形同期電動  
機の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、永久磁石形同期電動機の回転子の磁極位置を検出する位置検出器、及び、電  
動機の端子電圧を検出する電圧検出器を用いない制御装置に関し、詳しくは、永久磁石形  
同期電動機の回転子が回転している状態からでもスムーズに始動することができる制御装  
置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

永久磁石形同期電動機の制御装置のコストを低減するため、回転子の磁極位置を検出す  
るための位置検出器、及び、電動機の端子電圧を検出する電圧検出器を使用しないで、電  
動機を運転する技術が既に提案されている。

このような技術としては、まず、電動機の端子電圧や電機子電流の情報から回転子の磁  
極位置及び速度を演算し、これらに基づいて電機子電流を制御することにより高精度なトル  
ク制御や速度制御を実現する、いわゆるセンサレスベクトル制御がある。また、センサ  
レスベクトル制御より簡単な制御方法として、電動機の端子電圧の大きさを周波数指令値  
に比例して制御し、端子電圧の周波数を周波数指令値に制御する  $V/f$  制御も実用化され  
ている。

【0003】

ところで、ファンやポンプ等のアプリケーションでは、電動機を回転している状態から始動したいニーズがある。回転中の永久磁石形同期電動機は、回転子の永久磁石によって電動機の端子間に速度に比例した電圧が誘起される。この電圧を誘起電圧と呼ぶ。

このため、回転中の永久磁石形同期電動機をショックレスで始動するためには、電動機に電力を供給する電力変換器の出力電圧の角度、周波数及び大きさを始動開始時から誘起電圧と等しく制御する必要があり、これを実現するには回転子の磁極位置及び速度の情報が必要である。

#### 【0004】

回転子の磁極位置検出器、及び、電動機の端子電圧を検出する電圧検出器を持たない永久磁石形同期電動機の制御装置において、始動時の磁極位置及び速度を演算する公知技術として、特許文献1や特許文献2に記載された発明がある。

10

#### 【0005】

まず、特許文献1に係る発明は、電流フィードバック制御によって電機子電流を零に制御し、このときの電圧指令値または電機子電流から回転子の磁極位置及び速度を演算し、これらの演算値を使って回転中の電動機をショックレスで始動するものである。

また、特許文献2に係る発明は、電力変換器の出力電圧を線間で零に制御することで電機子巻線の端子間を短絡し、定常状態で流れる電機子電流から回転子の磁極位置及び速度を演算すると共に、これらの演算値を用いて回転中の電動機をショックレスで始動するものである。

20

#### 【0006】

更に、永久磁石形同期電動機が回転している状態から運転を開始する第2の方法として、回転子を一旦停止させてから運転を開始する方法がある。このように回転中の回転子を停止させるための公知技術として、特許文献3に記載されている発明がある。

特許文献3に係るの発明は、電力変換器の出力電圧を線間で零に制御して電機子巻線の端子間を短絡し、このときに発生する制動力によって回転子を停止させ、回転子が停止してから電動機の運転を開始するものであり、この方法は、比較的簡単な構成でスムーズに始動できるという特徴がある。

#### 【0007】

【特許文献1】特開2005-65410号公報(段落[0017]~[0035]、図1、図2等)

30

【特許文献2】特許第3471269号公報(段落[0020]~[0031]、図1等)

【特許文献3】特開昭62-296787号公報(第2頁左上欄第12行~第3頁右上欄第17行、第1図等)

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

特許文献1のように、電圧指令値から回転子磁極位置及び速度を演算する場合、電圧指令値が速度に比例するため、低速時に演算誤差が大きくなりやすい。また、電流フィードバック制御によって電機子電流を零に制御した場合、電機子電流はほぼ零になることから、電機子電流から磁極位置及び速度を正確に演算するのは困難である。

40

#### 【0009】

一方、特許文献2または特許文献3に記載された始動方法を実施するために、電機子巻線の端子電圧を零に制御すると、特に、回転子の速度が高い場合に、電機子電流が過大になりやすい。この電機子電流を制限するための技術として、特許文献2の段落[0019]等には、電機子電流が所定値を超えた場合に、電力変換器から永久磁石形同期電動機への給電を停止して電機子電流の大きさを制限する方法が記載されている。

#### 【0010】

ところで、特許文献2の発明による回転子の磁極位置及び速度の演算は、電機子巻線の端子間を短絡したときの定常状態の現象に基づいている。このため、電力変換器から永久

50

磁石形同期電動機への給電の実行/停止を繰り返すと、電機子電流が定常状態に収束しないので、磁極位置や速度の演算を正確に行うことができない。また、電力変換器と永久磁石形同期電動機とを接続する電線が長い場合には、電線の抵抗成分による電圧降下により、電力変換器の出力電圧を零に制御したときの電機子電流が小さくなり、特許文献1と同様に回転子磁極位置及び速度の演算精度が低下するのは明らかである。

【0011】

また、特許文献3に係る発明において、電動機の端子電圧を零に制御したときの電機子電流が大きい場合には、電力変換器や永久磁石形同期電動機にダメージを与えるだけでなく、過大な制動力が発生して機械系にもダメージを与えるといった問題がある。

特許文献2に記載されているように、電機子電流が大きくなった場合に電力変換器から永久磁石形同期電動機への給電を停止して電機子電流の大きさを制限しても、制動力が間欠的に発生するため、ショックが発生する。また、電機子巻線の端子電圧を零に制御したときの電機子電流が小さい場合には、制動力が不足して停止までの時間が長くなる等の問題がある。

【0012】

そこで、本発明の解決課題は、上述した特許文献1～3に記載された発明が有する問題を解決し、回転中の永久磁石形同期電動機をスムーズに始動することができる制御装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記課題を解決するため、本発明に係る永久磁石形同期電動機の制御装置は、電機子巻線の電流検出値を電流増幅手段により増幅して電圧指令値を演算し、電力変換器の出力電圧を前記電圧指令値に制御する。この結果、電機子巻線の「見かけの抵抗値」を前記電流増幅手段のゲインによって制御することができ、回転子の磁極位置や速度が不明な場合でも電機子電流を所望の値に制御することができる。このようにして電機子電流を最適に制御することで、回転子の磁極位置及び速度の演算を高精度化でき、回転中の永久磁石形同期電動機の始動をよりスムーズに行うことができる。

【0014】

すなわち、請求項1に記載した発明は、永久磁石形同期電動機の回転子の磁極位置を検出する位置検出器、及び、前記電動機の端子電圧を検出する電圧検出器を用いず、電力変換器により前記電動機を駆動するための制御装置において、

前記電動機の電機子電流及び端子電圧をベクトルとしてとらえると共に、

前記電動機の電機子電流を検出する電流検出手段と、

この電流検出手段により検出した電流検出値を増幅する電流増幅手段と、

この電流増幅手段の出力を用いて電圧指令値を演算する電圧指令値演算手段と、

前記電動機の端子電圧を前記電圧指令値に制御する前記電力変換器と、

前記電流検出値から前記電動機の速度を演算する速度演算手段と、

前記電流検出値から前記電動機の回転子磁極位置を演算する磁極位置演算手段と、

前記速度演算手段により演算した速度と前記磁極位置演算手段により演算した回転子磁極位置とを用いて、前記電動機の運転を開始する制御手段と、

を備えたものである。

【0015】

請求項2記載の発明は、請求項1において、前記速度演算手段が、前記電流検出値のベクトルの回転速度から電動機の速度を演算するものである。

【0016】

請求項3記載の発明は、請求項1において、前記磁極位置演算手段が、前記電流検出値のベクトルの角度及び電動機の速度演算値から前記磁極位置を演算するものである。

【0017】

請求項4記載の発明は、請求項1～3の何れか1項において、前記速度演算手段及び前記磁極位置演算手段が、前記電力変換器により電動機の端子電圧の制御を開始してから所

10

20

30

40

50

定期間が経過し、定常状態に収束した後にそれぞれ演算を開始するものである。

これにより、回転子の磁極位置及び速度の演算をより高精度に行うことができる。

【0018】

請求項5記載の発明は、請求項1において、前記電流検出値のベクトルの大きさから電動機の速度が零であることを検出する零速度検出手段を備え、この検出手段により速度が零でないと検出された場合にのみ、磁極位置及び速度の演算値を用いて電動機の運転を開始するものである。

これにより、電機子電流が小さく、十分な演算精度が得られない場合に、始動が不安定になるのを回避することが可能である。

【0019】

請求項6記載の発明は、請求項1において、運転開始時に電動機の端子電圧を線間で零に制御し、このときの電流検出値から第2の速度演算値を求め、この第2の速度演算値が所定値より低い場合にのみ、請求項1に記載した手段に従って電動機の運転を開始するものである。なお、第2の速度演算値が所定値よりも高い場合には、公知の始動方法を用いて始動することにより、始動可能な速度範囲を拡大する。

【0020】

請求項7記載の発明は、請求項1と同様に、電機子巻線の電流検出値を電流増幅器で増幅して電圧指令値を演算し、電力変換器の出力電圧を前記電圧指令値に制御することにより、電機子電流を所望の値に制御する。

また、電機子電流の通流に伴って回転子に発生する制動力を最適値に制御し、電動機の回転子を停止させる。零速度検出手段が電動機の速度が零であることを検出した後に電動機の運転を開始することで、簡単かつスムーズに始動することができる。

【0021】

請求項8記載の発明は、請求項7において、前記電流検出値のベクトルの大きさが所定値より小さい場合に、電動機の速度が零であることを検出するものである。

【0022】

請求項9記載の発明は、請求項7において、前記電力変換器により電動機の電機子巻線の端子電圧の制御を開始してから所定の時間が経過したら、電動機の速度が零であることを検出するものである。

【0023】

請求項10記載の発明は、請求項1または請求項7において、前記電力変換器の入力電圧を検出する入力電圧検出手段と、この入力電圧検出手段により検出した入力電圧検出値が所定値より高い場合には、前記電力変換器から電動機への給電を停止する電圧制限手段と、を備えたものである。

これにより、永久磁石形同期電動機が発生する回生電力によって電力変換器の入力電圧が過大になるのを防ぐことができる。

【0024】

請求項11記載の発明は、請求項1または請求項7において、前記電流検出値のベクトルの大きさが所定値より大きい場合には、前記電力変換器から電動機への給電を停止する電流制限手段を備えたものである。

これにより、電機子電流が過大になるのを未然に防止することができる。

【発明の効果】

【0025】

本発明によれば、永久磁石形同期電動機の回転子の磁極位置を検出するための位置検出器、及び、電動機の端子電圧を検出する電圧検出器を用いない永久磁石形同期電動機の制御装置において、電動機が回転している状態から始動するときの電機子電流の大きさを適切に制御することができ、従来方法よりも一層スムーズに運転を開始することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、図に沿って本発明の実施形態を説明する。

10

20

30

40

50

はじめに、本発明の各実施形態に共通する、永久磁石形同期電動機の回転子の磁極位置及び速度の演算原理について説明する。

【0027】

まず、永久磁石形同期電動機の回転子の磁極方向をd軸と定義し、このd軸と直交する進み方向をq軸と定義した回転座標系を定義する(図6参照)。図6において、 $i_{dq}$ はd, q軸を基準とした電流ベクトル*i*の角度、 $r_{ac}$ は後述する見かけの電機子抵抗である。この見かけの電機子抵抗 $r_{ac}$ は、後に説明するが、本来の電機子抵抗 $r_a$ によって流れる電機子電流を増幅して得た電機子電流に対応する抵抗を意味している。

この場合、永久磁石形同期電動機のd, q軸における電圧方程式は数式1となる。

【0028】

【数1】

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_a + pL_d & -\omega_r L_q \\ \omega_r L_d & r_a + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_r \phi_m \end{bmatrix}$$

【0029】

なお、数式1において、 $v_d$  : d軸電圧、 $v_q$  : q軸電圧、 $i_d$  : d軸電流、 $i_q$  : q軸電流、 $\omega_r$  : 回転子の電気角速度、 $p$  : 微分演算子、 $L_d$  : d軸インダクタンス、 $L_q$  : q軸インダクタンス、 $r_a$  : 電機子抵抗(本来の電機子抵抗)、 $\phi_m$  : 永久磁石の磁束である。

【0030】

回転子の磁極位置検出器を持たない場合、永久磁石形同期電動機の回転子の磁極位置及び速度を検出できないため、d, q軸の位置及び速度が分からない。そこで、制御装置内部にd, q軸に対応した回転直交座標である $\gamma, \delta$ 軸を定義し、これに基づいて制御を行う(図7参照)。この図7において、 $\omega_1$ は $\gamma, \delta$ 軸の回転角速度、 $i_{\gamma\delta}$ は $\gamma, \delta$ 軸を基準とした電流ベクトル*i*の角度である。

$i_{\gamma}$ 軸の電流を $i_{\delta}$ 軸の電圧指令値にそれぞれ負帰還した場合、 $v_{\gamma}^*$ 軸の電圧指令値は数式2となる。

【0031】

【数2】

$$\begin{bmatrix} v_{\gamma}^* \\ v_{\delta}^* \end{bmatrix} = -K_{ra} \begin{bmatrix} i_{\gamma} \\ i_{\delta} \end{bmatrix}$$

【0032】

ここで、 $v_{\gamma}^*$  :  $\gamma$ 軸電圧指令値、 $v_{\delta}^*$  :  $\delta$ 軸電圧指令値、 $i_{\gamma}$  :  $\gamma$ 軸電流、 $i_{\delta}$  :  $\delta$ 軸電流、 $K_{ra}$  : 比例ゲインである。

このとき、d, q軸の電圧 $v_d, v_q$ は、明らかに数式3となる。

【0033】

【数3】

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = -K_{ra} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}$$

【0034】

数式1におけるd, q軸電圧 $v_d, v_q$ に数式3を代入し、更に、電流微分項を零として定常状態の電流を求めると、数式4となる。

10

20

30

40

50

【0035】

【数4】

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{-\omega_r \phi_m}{r_{ac}^2 + \omega_r^2 L_d L_q} \begin{bmatrix} \omega_r L_q \\ r_{ac} \end{bmatrix}$$

【0036】

数式4において、 $r_{ac}$ は、以下の数式5で表される見かけの電機子抵抗である。

【数5】

$$r_{ac} = r_a + K_{ra}$$

10

すなわち、本来の電機子抵抗 $r_a$ と比例ゲイン $K_{ra}$ とを直列接続してなる見かけの電機子抵抗 $r_{ac}$ を導入すると、数式4によれば、定常状態の電流は見かけの電機子抵抗 $r_{ac}$ の関数となり、この電機子抵抗 $r_{ac}$ の大きさは比例ゲイン $K_{ra}$ によって調整することができる。言い換えれば、比例ゲイン $K_{ra}$ を調整すれば、電機子電流の大きさを制御することが可能になる。

具体的には、比例ゲイン $K_{ra}$ を正の値に調整すれば、見かけの電機子抵抗値を大きくして電機子電流を抑制することができる。一方、比例ゲイン $K_{ra}$ を負の値に調整すれば、見かけの電機子抵抗値を減少させて電機子電流を増加させ、回転子の磁極位置及び速度の演算精度を向上させることができる。

本願発明は上記の点に着目したものである。

20

【0037】

前述した図6は、数式4により得られた定常状態における電流ベクトル図を示している。電流ベクトル $i$ の方向は、正転時と逆転時とで異なっており、 $d$ 軸を基準とした電流ベクトル $i$ の角度 $\delta_{idq}$ は数式6となる。

【0038】

【数6】

$$\delta_{idq} = -\text{sign}(\omega_r) \left\{ \tan^{-1} \left( \left| \frac{\omega_r L_q}{r_a} \right| \right) + \frac{\pi}{2} \right\}$$

30

【0039】

ここで、数式6における符号関数 $\text{sign}(\omega_r)$ は数式7によって表される。

【数7】

$$\text{sign}(\omega_r) = \begin{cases} 1 & (\omega_r > 0) \\ -1 & (\omega_r < 0) \end{cases}$$

【0040】

一方、図7に示すように、 $\theta$ 軸の回転角速度 $\omega_1$ を零とし、かつ、 $\theta$ 軸の位置 $\theta_1$ を零（ $u$ 相巻線方向を零と定義する）にする場合、 $d$ 軸を基準とした電流ベクトルの角度 $\delta_i$ は数式8のようになる。

40

【0041】

【数8】

$$\delta_{i\gamma\delta} = \tan^{-1} \left( \frac{i_\delta}{i_\gamma} \right)$$

【0042】

図7のベクトル図より、 $d$ 軸の位置、すなわち、回転子の磁極位置 $\theta_r$ は、数式9によ

50



って表される。

【0043】

【数9】

$$\theta_r = \delta_{i_{y\delta}} - \delta_{i_{dq}}$$

【0044】

数式9に数式6，数式8を代入すると、回転子の磁極位置  $\theta_r$  は数式10によって演算することができる。

【0045】

【数10】

$$\theta_r = \tan^{-1}\left(\frac{i_{\delta}}{i_{\gamma}}\right) + \text{sign}(\omega_r) \left\{ \tan^{-1}\left(\left|\frac{\omega_r L_q}{r_{ac}}\right|\right) + \frac{\pi}{2} \right\}$$

【0046】

回転子の速度は、 $\theta_r$  軸を基準とした電流ベクトル  $i$  の角度の微分により演算できることが明らかであるから、数式11によって角速度  $\omega_r$  を演算する。

【0047】

【数11】

$$\omega_r = p \delta_{i_{y\delta}}$$

【0048】

数式10，数式11による回転子の磁極位置  $\theta_r$  及び角速度  $\omega_r$  の演算は、制御装置による電流検出及び座標変換により検出可能な  $i_{\delta}$ ， $i_{\gamma}$  軸電流を用いて実現することができる。

【0049】

以下に、上記原理に基づいた本発明の実施形態について述べる。まず、図1は請求項1～請求項4に相当する本発明の第1実施形態を示すブロック図であり、その構成及び動作を説明する。

【0050】

図1において、整流回路60は三相交流電源50の交流電力を整流して直流電圧を電力変換器70に供給する。PWM回路13は、相電圧指令値  $v_u^*$ ， $v_v^*$ ， $v_w^*$  と入力電圧検出回路12により検出した入力電圧検出値  $E_{dc}$  とから、電力変換器70の出力電圧を前記相電圧指令値  $v_u^*$ ， $v_v^*$ ， $v_w^*$  に制御するためのゲート信号を生成する。

電力変換器70は、上記ゲート信号に基づいて内部の半導体スイッチング素子を制御することにより、相電圧指令値  $v_u^*$ ， $v_v^*$ ， $v_w^*$  通りの電圧を永久磁石形同期電動機80に供給する。

【0051】

電力変換器70から電動機80への給電の実行/停止は、PWM回路13に入力される運転指令信号に基づいて行う。具体的には、運転指令信号のリセット中はゲート信号を全てオフして電力変換器70から電動機80への給電を停止し、運転指令信号のセット中はゲート信号を電力変換器70に与えて電動機80に給電する。

【0052】

電力変換器70の出力側のu相電流検出器11u、w相電流検出器11wによりそれぞれ検出した相電流検出値  $i_u$ ， $i_w$  は、電流座標変換器14により  $i_{\delta}$ ， $i_{\gamma}$  軸座標上の  $i_{\delta}$ ， $i_{\gamma}$  軸電流検出値  $i_{\delta}$ ， $i_{\gamma}$  に座標変換する。この座標変換の際、前述した如く  $\theta_r$  軸の位置  $\theta_r$  を零とする。

【0053】

10

20

30

40

50

電流座標変換器 14 から出力された  $i_{\alpha}$ 、 $i_{\beta}$  は、それぞれ、比例ゲイン  $K_{ra}$  を有する比例調節器 16a、16b により増幅され、その後、加算器 17a、17b によって負帰還され、 $v_{\alpha}^*$ 、 $v_{\beta}^*$  が演算される。これらの電圧指令値  $v_{\alpha}^*$ 、 $v_{\beta}^*$  は電圧座標変換器 15 によって相電圧指令値  $v_{u}^*$ 、 $v_{v}^*$ 、 $v_{w}^*$  に変換され、前記 PWM 回路 13 に与えられる。

上記構成において、比例調節器 16a、16b は請求項における電流増幅手段を構成し、加算器 17a、17b 及び電圧座標変換器 15 は請求項における電圧指令値演算手段を構成している。

【0054】

一方、 $i_{\alpha}$ 、 $i_{\beta}$  軸電流検出値  $i_{\alpha}$ 、 $i_{\beta}$  は、極座標変換器 21 によって電流ベクトルの大きさ  $i_a$  及び電流ベクトルの角度  $\theta_i$  に変換され、位置・速度演算器 22 は、電流ベクトルの角度  $\theta_i$  を用いて前述の数式 10、数式 11 により回転子の磁極位置演算値  $\theta_{10}$  及び角速度演算値  $\omega_{10}$  を求める。ここで、数式 10、数式 11 は、定常状態における演算式であるため、 $\theta_{10}$  及び  $\omega_{10}$  の演算は、運転指令信号がセットされてから所定の期間が経過し、定常状態に収束してから実施する。

10

【0055】

以上により演算した磁極位置演算値  $\theta_{10}$  及び角速度演算値  $\omega_{10}$  を用いて制御装置各部を初期化し、電力変換器 70 により永久磁石形同期電動機 80 の運転を開始することで、回転中の永久磁石形同期電動機 80 をスムーズに始動することができる。

【0056】

20

次に、請求項 5 に相当する本発明の第 2 実施形態の構成及び動作を、図 2 のブロック図を参照しつつ説明する。この実施形態は、上述した第 1 実施形態を部分的に改良したものであり、以下では第 1 実施形態からの改良箇所を中心に説明して重複箇所の説明を省略する。

【0057】

前述した数式 4 から明らかなように、本発明における永久磁石形同期電動機の電流制御は、速度零の場合に電機子電流が零になるので実現が困難になる。また、速度が零に近い極低速の場合には、電流検出器 11u、11w の検出精度による制約から演算精度が低下し、磁極位置演算値及び角速度演算値を使って始動した場合にショックが発生する恐れがある。

30

この問題を回避するため、図 2 の第 2 実施形態では、極座標変換器 21 からの電流ベクトルの大きさ  $i_a$  が入力される零速度検出器 23 を設け、電流ベクトルの大きさ  $i_a$  が所定値より小さい場合には零速度検出信号を出力するようにした。ここで、極座標変換器 21 は、電流ベクトルの大きさ  $i_a$  を数式 12 により演算する。

【0058】

【数 12】

$$i_a = \sqrt{i_v^2 + i_d^2}$$

40

【0059】

なお、零速度検出器 23 から零速度検出信号が出力された場合は、例えば、一般的な停止状態からの始動方法である特公昭 55 - 26793 号公報記載の方法（回転子磁石を所定位置に配置して起動準備を行い、次いで電力変換器により電動機の所定相の固定子巻線に短時間通電して回転子を一方向に起動させ、その回転により固定子巻線に誘起する電圧から回転子磁極位置を検出して運転に移行する方法）により電動機 80 を始動すればよい。

【0060】

次に、請求項 6 に相当する本発明の第 3 実施形態を説明する。

前述した第 1 実施形態による始動方法は、制御装置の演算遅れや電力変換器の制御遅れ

50

によって回転子の速度が高い時に制御誤差が発生し、最悪の場合には電流制御系が不安定化する問題がある。そこで、第3実施形態は上記の問題を解決して始動可能な速度範囲を拡大したものである。

なお、この第3実施形態が適用される制御装置の図示は省略するが、基本的には図1の構成と同様である。

#### 【0061】

第3実施形態では、運転開始に先立ち、電力変換器70によって永久磁石形同期電動機80の端子電圧を所定期間だけ線間で零に制御し、このときに検出される電流ベクトルの大きさが電動機80の速度にほぼ比例することを利用して第2の速度演算値を求める。

そして、第2の速度演算値が所定値より高い場合は、第1実施形態による始動方法では制御誤差の発生が予想されるため、例えば、本出願人による特許第3636340号に記載された方法を用いて始動する。すなわち、この始動方法は、電動機の電機子巻線を短絡させて端子電圧を間欠的に零に制御したときに流れる電機子電流を用いて回転子磁極位置及び速度を演算し、始動する方法である。一方、第2の速度演算値が所定値より低い場合は、第1実施形態として記載した方法により始動すればよい。

10

#### 【0062】

次いで、請求項7, 8に相当する本発明の第4実施形態を図3のブロック図に従って説明する。

本実施形態において、永久磁石形同期電動機80の端子電圧の制御方法は第1実施形態と同じであり、このときに流れる電機子電流により発生する制動力を利用して回転子を一旦停止させてから運転を開始する。以下では第1実施形態との相違点を中心に説明し、重複箇所の説明は省略する。

20

#### 【0063】

図3において、PWM回路13は、運転指令信号がセットされたら、電力変換器70の電圧制御を開始し、電動機80に制動力を発生させる。零速度検出器23は、極座標変換器21により演算した電流ベクトルの大きさ $i_a$ が所定の値より小さくなったら零速度検出信号を出力する。図3には図示していないが、零速度検出信号を検出したら、第2実施形態と同様に、特公昭55-26793号公報に記載された停止状態からの始動方法によって運転を開始すればよい。

#### 【0064】

次に、請求項9に相当する本発明の第5実施形態を説明する。

上述の第4実施形態では、極座標変換器21により演算した電流ベクトルの大きさ $i_a$ に基づいて零速度を検出しているが、この場合には零速度検出のために極座標変換器21が必要になり、構成が複雑化するおそれがある。

30

#### 【0065】

そこで、本発明の第5実施形態では、運転指令信号がセットされてからある程度の時間が経過した場合には電動機80の制動力によって速度が低下することに着目し、図示しないが、運転指令信号がPWM回路13にセットされてからの経過時間をタイマにより計測してその経過時間が所定値になった時点で速度が零になったとみなして零速度検出信号を出力させるようにした。

40

この実施形態によれば、制御装置をより一層簡素化することができる。

#### 【0066】

次いで、請求項10に相当する本発明の第6実施形態を、図4のブロック図を参照しつつ説明する。

この第6実施形態は、本発明の第1実施形態を改良したものであり、永久磁石形同期電動機80から電力変換器70へ回生される電力によって電力変換器70の入力電圧の上昇を防止する機能を付加したものである。以下では、第1実施形態からの改良箇所を中心に説明し、重複箇所の説明は省略する。

#### 【0067】

図4において、電圧制限回路31には第1の運転指令信号(元の運転指令信号)及び入

50

力電圧検出値  $E_{dc}$  が入力されており、入力電圧検出値  $E_{dc}$  が電圧制限回路 31 に設定された所定値より低い場合にのみ、第 1 の運転指令信号がセットされたら第 2 の運転指令信号をセットして PWM 回路 13 及び位置・速度演算器 22 に送る。これにより、PWM 回路 13 からのゲート信号に基づいて電力変換器 70 の出力電圧を制御する。

【0068】

そして、入力電圧検出値  $E_{dc}$  が電圧制限回路 31 内の前記所定値より高くなったら、入力電圧検出値  $E_{dc}$  が前記所定値より低くなるまで第 2 の運転指令信号をリセットして PWM 回路 13 からのゲート信号をオフし、電力変換器 70 から電動機 80 への給電を停止する。

この実施形態によれば、電力変換器 70 の入力電圧の上昇を抑制することができ、電力変換器 70 を保護することができる。

【0069】

最後に、請求項 11 に相当する本発明の第 7 実施形態を、図 5 のブロック図を参照しつつ説明する。

この第 7 実施形態は、本発明の第 1 実施形態を改良したものであり、電機子電流を抑制する機能を付加したものである。以下では、第 1 実施形態からの改良箇所を中心に説明し、重複箇所の説明は省略する。

【0070】

図 5 において、電流制限回路 32 には、第 1 の運転指令信号（元の運転指令信号）と、極座標変換器 21 からの電流ベクトルの大きさ  $i_a$  とが入力され、第 2 の運転指令信号が PWM 回路 13 及び位置・速度演算器 22 に出力されるようになっている。

極座標変換器 21 により演算された電流ベクトルの大きさ  $i_a$  が電流制限回路 32 に設定された所定値より小さい場合にのみ、第 1 の運転指令信号がセットされたら第 2 の運転指令信号をセットして PWM 回路 13 及び位置・速度演算器 22 に送る。これにより、PWM 回路 13 からのゲート信号に基づいて電力変換器 70 の出力電圧を制御する。

【0071】

電流ベクトルの大きさ  $i_a$  が電流制限回路 32 内の前記所定値より大きくなったら、電流ベクトルの大きさ  $i_a$  が前記所定値より小さくなるまで第 2 の運転指令信号をリセットして PWM 回路 13 からのゲート信号をオフし、電力変換器 70 から電動機 80 への給電を停止する。

この実施形態によれば、電機子電流の増加を抑制して電力変換器 70 を保護することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0072】

【図 1】本発明の第 1 実施形態を示すブロック図である。

【図 2】本発明の第 2 実施形態を示すブロック図である。

【図 3】本発明の第 4 実施形態を示すブロック図である。

【図 4】本発明の第 6 実施形態を示すブロック図である。

【図 5】本発明の第 7 実施形態を示すブロック図である。

【図 6】本発明の実施形態を適用したときの電流ベクトル図である。

【図 7】本発明の実施形態を適用したときの、 $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$  軸を併記した電流ベクトル図である。

【符号の説明】

【0073】

50：三相交流電源

60：整流回路

70：電力変換器

80：永久磁石形同期電動機

11u：u相電流検出回路

11w：w相電流検出回路

10

20

30

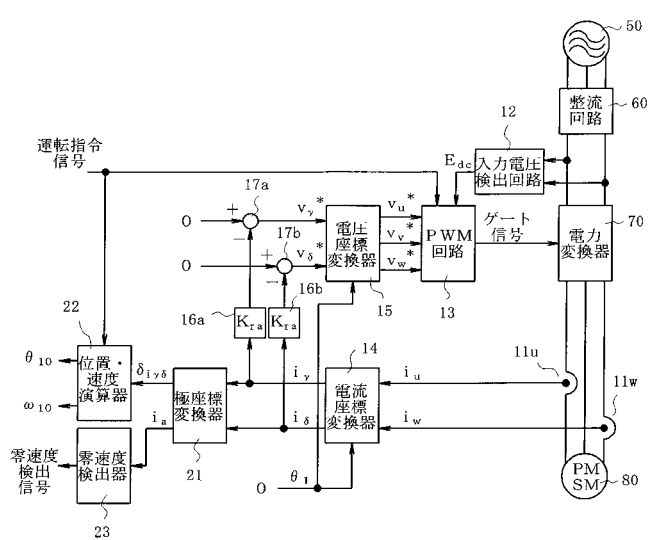
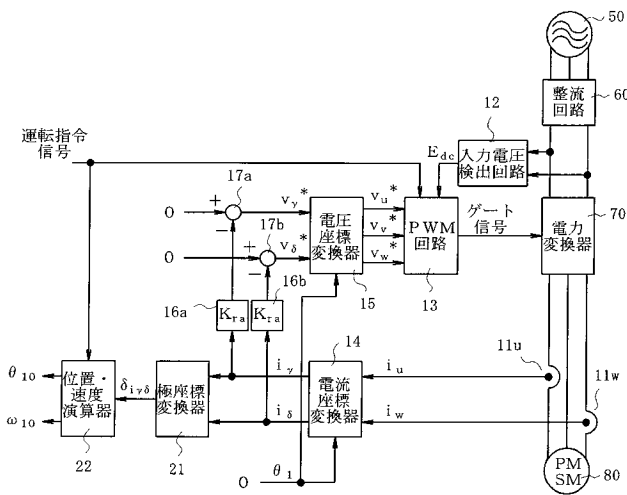
40

50

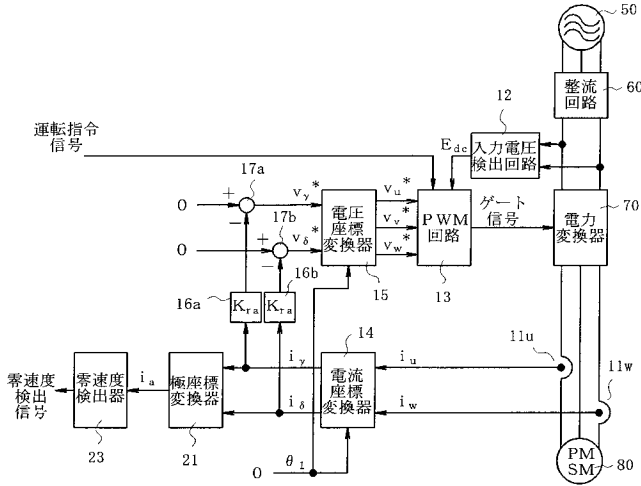
- 1 2 : 入力電圧検出回路
- 1 3 : P W M回路
- 1 4 : 電流座標変換器
- 1 5 : 電圧座標変換器
- 1 6 a , 1 6 b : 比例調節器
- 1 7 a , 1 7 b : 加算器
- 2 1 : 極座標変換器
- 2 2 : 位置・速度演算器
- 2 3 : 零速度検出器
- 3 1 : 電圧制限回路
- 3 2 : 電流制限回路

【 図 1 】

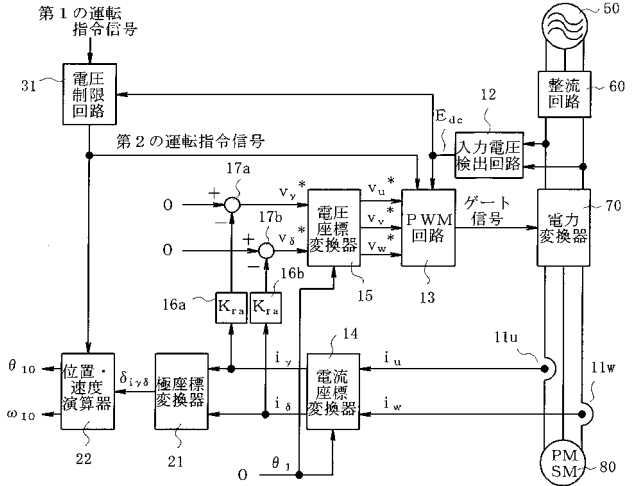
【 図 2 】



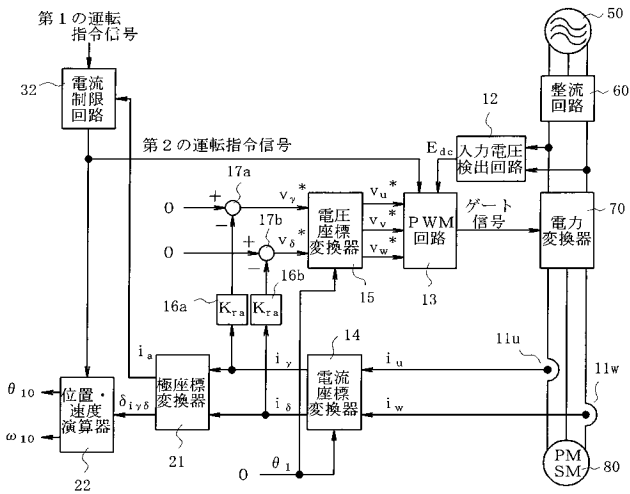
【 図 3 】



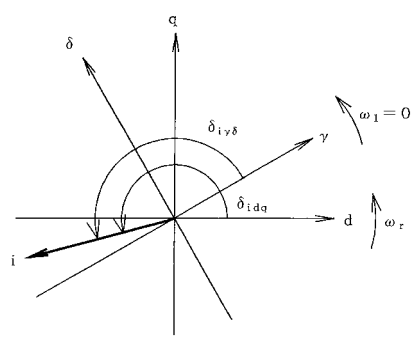
【 図 4 】



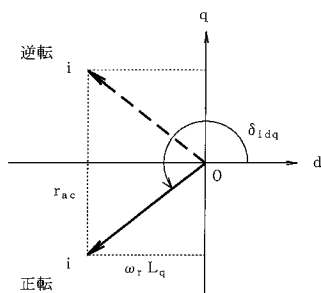
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 6 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5H560 AA01 BB12 DA12 DB12 DC12 EB01 HA08 JJ02 XA13