

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3961791号
(P3961791)

(45) 発行日 平成19年8月22日(2007.8.22)

(24) 登録日 平成19年5月25日(2007.5.25)

(51) Int. Cl.

F I

H O 2 P 5/74 (2006.01)

H O 2 P 7/74

H

B 6 O L 9/18 (2006.01)

H O 2 P 7/74

G

H O 2 P 21/00 (2006.01)

B 6 O L 9/18

L

H O 2 P 27/04 (2006.01)

H O 2 P 5/408

C

請求項の数 4 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2001-200019 (P2001-200019)

(22) 出願日 平成13年6月29日(2001.6.29)

(65) 公開番号 特開2003-18887 (P2003-18887A)

(43) 公開日 平成15年1月17日(2003.1.17)

審査請求日 平成17年2月24日(2005.2.24)

(73) 特許権者 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦

(74) 代理人 100084618

弁理士 村松 貞男

(74) 代理人 100092196

弁理士 橋本 良郎

(74) 代理人 100091351

弁理士 河野 哲

(74) 代理人 100088683

弁理士 中村 誠

(74) 代理人 100070437

弁理士 河井 将次

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電動機制御装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

固定子巻線が各相毎に直列に接続される共に当該直列接続の一端はインバータ装置に接続され且つ他端は各相間で短絡接続されてなる複数の多相同期電動機と、

前記電動機夫々の回転子位置を検出する複数の回転子位置センサと、

前記回転子位置センサ夫々からの回転子位置情報に基づいて最も位相の遅れた電動機の回転子位置情報を基準位相として前記電動機夫々をベクトル制御する制御手段とを具備することを特徴とする電動機制御装置。

【請求項2】

前記制御手段は、前記最も位相の遅れた電動機の回転子位置情報を基準位相としてトルク最大の動作点に電流を制御することにより、位相の遅れた電動機のトルクが他の電動機よりも大きなトルクを出力するように制御することを特徴とする請求項1記載の電動機制御装置。

【請求項3】

固定子巻線が各相毎に直列に接続される共に当該直列接続の一端はインバータ装置に接続され且つ他端は各相間で短絡接続されてなる複数の多相同期電動機をベクトル制御する電動機制御方法において、

前記電動機夫々の回転子位置を検出し、該回転子位置情報に基づいて最も位相の遅れた電動機の回転子位置情報を基準位相として前記電動機夫々をベクトル制御することを特徴とする電動機制御方法。

10

20

【請求項 4】

前記最も位相の遅れた電動機の回転子位置情報を基準位相としてトルク最大の動作点に電流を制御することにより、位相の遅れた電動機のトルクが他の電動機よりも大きなトルクを出力するように制御することを特徴とする請求項 3 記載の電動機制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、車両駆動制御装置に適用されて好適な電動機制御装置及び方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、この種の車両駆動に用いられる電動機としては誘導電動機が一般的に用いられている。誘導電動機は電動機間を並列接続した上で 1 台のインバータ装置で駆動する、いわゆる並列駆動を安定に行うことができるため、インバータ装置の低コスト化が可能になるためである。近年さらなる高効率化を目的として永久磁石電動機を車両駆動用電動機に適用しようとする試みがある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、永久磁石同期電動機は、以下の理由により並列駆動が容易でなく、1 つの電動機に 1 台のインバータ装置を用意するいわゆる個別駆動方式にならざるを得ないため、高コストなシステムとなってしまう。

【0004】

永久磁石電動機の並列駆動が容易でないのは、それが同期電動機的一种であるからである。直径の異なる車輪と直結又はギヤで接続された複数の同期電動機は、それぞれが異なる回転数で回転するのが一般的である。

【0005】

従って、回転数の異なる同期電動機を並列に接続すると、インバータ動作のいかんにかかわらず、互いの逆起電圧の位相差により過大な横流が発生し、その電流によって振動トルクが発生し、本来の目的である安定な駆動力の確保ができなくなってしまう。

【0006】

さらに、永久磁石電動機を車両駆動システムに適用した場合を想定すると、万が一インバータ装置を構成する IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) などの半導体素子が短絡故障を起こした場合には永久磁石電動機の回転によって発生する逆起電圧によって多大な短絡電流が流れつづけることができてなくなってしまう。

【0007】

この解決策として、インバータ装置と電動機の間で電気的接続を切り離す開放スイッチを設け、インバータ装置故障時にはこの開放スイッチを切り離す方式が提案されている。

【0008】

図 6 は、このような開放スイッチを設けた車両駆動システムの構成を示しており、架線、パンタグラフ等からなる給電系 10 と、第 1, 第 2 のインバータ装置 11 A, 11 B と、第 1, 第 2 の開放スイッチ 12 A, 12 B と、第 1, 第 2 の永久磁石電動機 13 A, 13 B と、第 1, 第 2 の回転子位置センサ 14 A, 14 B と、第 1, 第 2 のギヤ 15 A, 15 B と、第 1, 第 2 の車輪 16 A, 16 B とからなる。符号 17 は台車である。

【0009】

しかしながらこの開放スイッチ 12 A, 12 B は車両用の比較的高い電圧に耐えられる設計とするため一般的に高価で体積が大きく、システムコストの低減に悪影響を及ぼす。

【0010】

本発明の目的は、コスト上昇を招くことなく、永久磁石同期電動機の如き電動機を並列駆動することが可能な電動機制御装置及び方法を提供することにある。

【0011】

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために本発明は、固定子巻線が各相毎に直列に接続される共に当該直列接続の一端はインバータ装置に接続され且つ他端は各相間で短絡接続されてなる複数の多相同期電動機と、前記電動機夫々の回転子位置を検出する複数の回転子位置センサと、前記回転子位置センサ夫々からの回転子位置情報に基づいて最も位相の遅れた電動機の位置情報を基準位相として前記電動機夫々をベクトル制御する制御手段とを具備することを特徴とする電動機制御装置、である。

【0014】

本発明では、複数の電動機を直列接続し、各電動機の回転子位置情報に基づいて最も位相の遅れた電動機の位置情報を基準位相として前記電動機夫々をベクトル制御することにより、たとえ、半導体素子が短絡故障した場合、電動機の逆起電圧の合成によって短絡電流が流れるが、短絡電流によりそれぞれの電動機でトルクが発生し、車輪レール間に空転により回転速度が変化し、その結果、互いの逆起電圧を打ち消し合う位相差に収束するので、定常時の短絡電流を小さくすることができる。

10

【0017】**【発明の実施の形態】**

以下、本発明を車両駆動制御装置に適用した一実施形態について説明する。

【0018】

図1は、従来例である図6と同一部分には同一符号を付した、本実施形態の装置の構成図である。

20

【0019】

本実施形態における車両駆動制御装置は、3相インバータ装置11と、第1、第2の永久磁石電動機13A、13Bと、第1、第2の回転子位置センサ16A、16Bとで構成される。

【0020】

3相インバータ装置11は、IGBTなどの半導体スイッチング素子からなる主回路部100と、制御部200とからなり、従来から鉄道車両で用いられている一般的なインバータ装置と同一であり、直流1500Vなどの電圧を、給電系10のパンタグラフを介して給電し、制御部100の演算結果により主回路部200の各半導体スイッチング素子のオンオフパターンにより所望の電圧・周波数の3相交流電圧を出力する。

30

【0021】

第1の永久磁石電動機13Aは、第1のギヤ15Aを介して第1の車輪16Aに回転トルクを伝達する。第2の永久磁石電動機13Bは同様に、第2のギヤ15Bを介して第2の車輪16Bに回転トルクを伝達する。

【0022】

第1、第2の永久磁石電動機13A、13Bの回転子は、一般的な3相永久磁石電動機と同一の構成でよい。第1、第2の永久磁石電動機13A、13Bの固定子巻線は、従来の3相永久磁石電動機の固定子が、一方端が電動機外部に出力され、インバータ装置などの3相交流電源に接続され、他方端は電動機内部で3相短絡されていたのに対して、両方の端が、電動機外部に出力され、外部で電氣的に接続することが可能な構成となっている。

40

【0023】

3相巻線の一方の端をそれぞれU、V、W、他方の端をX、Y、Zとそれぞれ名づける。第1の永久磁石電動機13AのUは、3相インバータ装置11のU相に接続し、第1の永久磁石電動機13AのV、Wも同様に3相インバータ装置11のV相、W相にそれぞれ接続する。

【0024】

第2の永久磁石電動機13BのUは、第1の永久磁石電動機13AのXに接続し、第2の永久磁石電動機13BのV、Wも同様に第1の永久磁石電動機13AのY、Zに接続する。

【0025】

50

第2の永久磁石電動機13BのX、Y、Zは、互いに短絡接続する。

【0026】

以上の構成による車両駆動制御装置においては、第1の永久磁石電動機13Aと第2の永久磁石電動機13Bとの回転状態が異なって逆起電圧位相が異なっているとしても、3相インバータ装置11を動作させない状態、つまり全ての半導体スイッチング素子をオフの状態では、意図しない過大な電流が流れない。

【0027】

また、万一3相インバータ装置11の主回路部を構成する半導体スイッチング素子のうちいずれか一つが短絡故障を起こした場合にも、図3の波形が示すとおり、第1の永久磁石電動機13Aと第2の永久磁石電動機13Bとの逆起電圧の和が短絡されることによって流れる短絡電流により電動機トルクが発生し、それによって車輪とレールの間に空転が発生することで、上記2台の電動機の回転子位相 θ_1 と θ_2 とが 180° の位相差を結果として持ち、短絡電流はほとんど流れなくなる。

10

【0028】

したがって、短絡電流が流れつづけることによってインバータ装置や配線ケーブルが焼損することを防ぐための電流遮断スイッチを設ける必要がなくなり、システムコストの低減を図ることができる。

【0029】

次に本発明の第2の実施形態を、図4～図5を用いて説明する。第2の実施形態における車両駆動制御装置におけるシステム構成は第1の実施形態と同一であり、3相インバータ装置11の制御部に特徴がある。

20

【0030】

第2の車両駆動制御装置における3相インバータ装置11の制御部100は、設定部101、電流指令演算部102と、d軸電流制御部103と、q軸電流制御部104と、dq3相変換部105と、3相dq変換部106と、基準位相選択部107とで構成される。

【0031】

本実施形態におけるd軸は、永久磁石磁束方向と定義し、q軸はそれと直角方向と定義する。

【0032】

電流指令演算部102と、d軸電流制御部103と、q軸電流制御部104と、dq3相変換部105と、3相dq変換部106との構成動作は、一般的な文献に記載された永久磁石電動機のベクトル制御方式をそのまま使うことができる。本実施形態において特に特徴的なのは、基準位相選択部107である。

30

【0033】

基準位相選択部107においては、第1の永久磁石電動機13Aに取り付けられたレゾルバなどの回転子位置センサ14Aから出力される回転子位相 θ_1 と、第2の永久磁石電動機13Bに取り付けられた回転子位置センサ14Bから出力される回転子位相 θ_2 とを入力として、次の演算により遅れ位相の信号を選択してベクトル制御基準位相 θ_r として出力する。

【0034】

(1) $0 < \theta_1 - \theta_2 < 180^\circ$ のとき、 $\theta_r = \theta_2$

(2) $180^\circ < \theta_1 - \theta_2 < 360^\circ$ のとき、 $\theta_r = \theta_1$

このようにベクトル制御基準位相を取った上で、後述するトルク最大の動作点に電流を制御することにより、2台のうち位相の遅れた電動機のトルクが他方の電動機よりも常に大きなトルクを出力するようになり、結果として2台の電動機の手速度、位相が安定にバランスするようにできる。

40

【0035】

図5は、2台の電動機が接続された車輪の直径が1%異なる場合において、初期位相差 45° であった状態から図4に示す制御ブロックによりベクトル制御を行った場合の動作波形を示す図である。

50

【 0 0 3 6 】

車輪の直径が異なるため、車輪が同一の回転数で回転すると、車輪とレールの間の微小空転速度（一般的にクリープと呼ばれる）が異なるため、定常状態での2台の電動機の出力トルクは異なり、位相差も完全にはゼロにはならないが、2台の電動機間での振動トルクなど不安定動作が発生しないことがわかる。

【 0 0 3 7 】

電流指令演算部 1 0 2 においては、トルク指令 $Torq\ Ref$ を入力として次の演算により d 軸電流指令 $Id\ Ref$ 、 $Iq\ Ref$ を求めて出力する。

【 0 0 3 8 】

(1) 制御対象電動機が表面磁石式永久磁石電動機であった場合は、次の式による。

10

【 0 0 3 9 】

【 数 1 】

$$Id\ Ref = 0$$

$$Iq\ Ref = \frac{Torq\ Ref}{\Phi_{PM}}$$

Φ_{PM} は永久磁石磁束である。

【 0 0 4 0 】

20

表面磁石式永久磁石電動機は回転子磁氣的突極性がないためリラクタンストルクは発生しない。したがって d 軸電流を流し込んでもその電流がトルクには寄与しない。よって上記設定により、同一電流で最大のトルクを出力することができて、高効率な駆動が可能になると共に、基準位相選択部 1 0 7 の動作との兼ね合いで、2台の直列電動機が位相同期する方向にバランスする効果も併せ持つ。

【 0 0 4 1 】

(2) 制御対象電動機が永久磁石リラクタンス電動機及び埋め込み磁石式永久磁石電動機のようにリラクタンストルクと永久磁石トルクを併用する原理に基づく電動機であった場合は、次の式を満たすようなゼロでない d 軸電流指令 $Id\ Ref$ を設定することで、上記と同様に、同一電流で最大トルクを出力することが可能になる。

30

【 0 0 4 2 】

【 数 2 】

$$Id\ Ref = \frac{-\Phi_{PM} - \sqrt{\Phi_{PM}^2 + 8 \cdot \Delta L^2 \cdot I^2}}{4 \cdot \Delta L}$$

Φ_{PM} は永久磁石磁束である。

【 0 0 4 3 】

$\Delta L = L_d - L_q$ であって、 L_d は d 軸インダクタンスであり、 L_q は q 軸インダクタンスである。

40

【 0 0 4 4 】

【 数 3 】

$$I = \sqrt{Id\ Ref^2 + Iq\ Ref^2}$$

は電流振幅である。

【 0 0 4 5 】

d 軸電流制御部 1 0 3 においては、d 軸電流指令 $Id\ Ref$ と d 軸電流フィードバック値

50

I_dとの偏差を入力として、偏差がゼロとなるようにP I（比例・積分）制御の結果をd軸電圧指令V_dとして出力する。

【0046】

【数4】

$$V_d = (K_p ACR + \frac{K_i ACR}{s}) \cdot (I_d \text{ Ref} - I_d)$$

ここに、K_pACRは電流制御比例ゲインであり、K_iACRは電流制御積分ゲインであり、sは微分演算子である。

10

【0047】

q軸電流制御部104においては、q軸電流指令I_qRefとq軸電流フィードバック値I_qとの偏差を入力として、偏差がゼロとなるようにP I（比例・積分）制御の結果をq軸電圧指令V_qとして出力する。

【0048】

dq3相変換部105においては、d軸電圧指令V_dと、q軸電圧指令V_qと、

【数5】

$$V_q = (K_p ACR + \frac{K_i ACR}{s}) \cdot (I_q \text{ Ref} - I_q)$$

20

【0049】

ベクトル制御基準位相θ_rとを入力として次の演算により3相電圧指令V_u、V_v、V_wを求めて出力する。

【0050】

【数6】

$$V_u = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot (V_d \cdot \cos \theta_r - V_q \cdot \sin \theta_r)$$

30

$$V_w = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot (V_d \cdot \cos \left(\theta_r + \frac{2}{3} \pi \right) - V_q \cdot \sin \left(\theta_r + \frac{2}{3} \pi \right))$$

$$V_v = -(V_u + V_w)$$

【0051】

3相dq変換部106においては、U相電流フィードバック値I_uと、W相電流フィードバック値I_wと、ベクトル制御基準位相θ_rとを入力として次の演算によりdq軸電流フィードバック値I_d、I_qを求めて出力する。

40

【0052】

【数7】

$$I_d = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{3}} (I_u \cdot \sin \left(\theta + \frac{2}{3} \pi \right) - I_w \cdot \sin \theta) \right)$$

$$I_q = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{3}} (I_u \cdot \cos \left(\theta + \frac{2}{3} \pi \right) - I_w \cdot \cos \theta) \right)$$

50

【 0 0 5 3 】

上記実施形態では、制御対象電動機として、表面磁石式永久磁石電動機、永久磁石リラクタンス電動機又は埋め込み磁石式永久磁石電動機を例示したが、この他の永久磁石同期電動機にも本発明は適用できる。

【 0 0 5 4 】

【 発明の効果 】

以上のように本発明によれば、最も遅れた電動機の位相をベクトル制御基準位相に取った上でトルク最大の動作点に電流を制御することにより、位相の遅れた電動機のトルクが他の電動機よりも常に大きなトルクを出力するようになり、結果として複数の電動機の色度及び位相を安定にバランスすることが可能な電動機制御装置及び方法を提供できるものである。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 第 1 の実施形態のシステム構成を示す図。

【 図 2 】 第 1 の実施形態における電動機と車輪の接続を説明する図。

【 図 3 】 第 1 の実施形態の構成において、インバータ装置半導体スイッチング素子が短絡した時の波形を示す図。

【 図 4 】 第 2 の実施形態における制御ブロック図。

【 図 5 】 第 2 の実施形態の制御構成において、制御を行った時の波形を示す図。

【 図 6 】 従来の実施形態のシステム構成を示す図。

【 符号の説明 】

20

1 0 ... 給電系

1 1 ... インバータ装置

1 0 0 ... 制御部

1 0 1 ... 設定部

1 0 2 ... 電流指令演算部

1 0 3 ... d 軸電流制御部

1 0 4 ... q 軸電流制御部

1 0 5 ... d q 3 相変換部

1 0 6 ... 3 相 d q 変換部

1 0 7 ... 基準位相選択部

30

2 0 0 ... 主回路部

1 3 A , 1 3 B ... 第 1 , 第 2 の永久磁石電動機

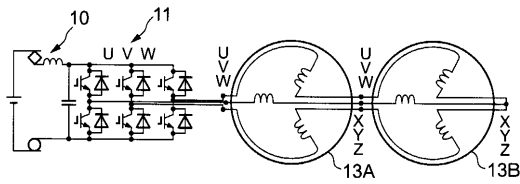
1 4 A , 1 4 B ... 第 1 , 第 2 の回転子位置センサ

1 5 A , 1 5 B ... 第 1 , 第 2 のギヤ

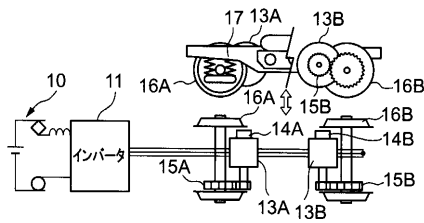
1 6 A , 1 6 B ... 第 1 , 第 2 の車輪

1 7 ... 台車

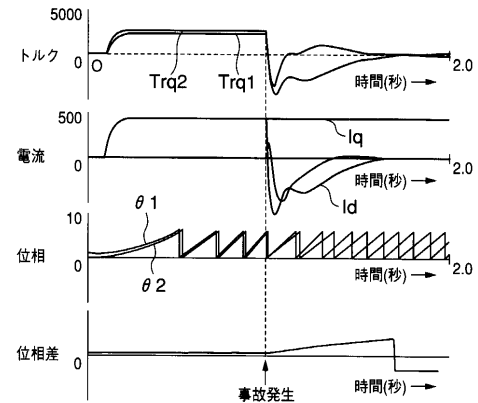
【図 1】



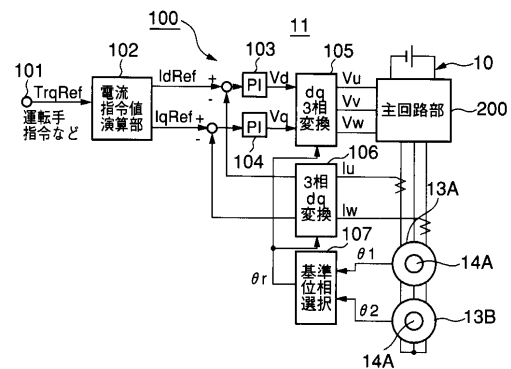
【図 2】



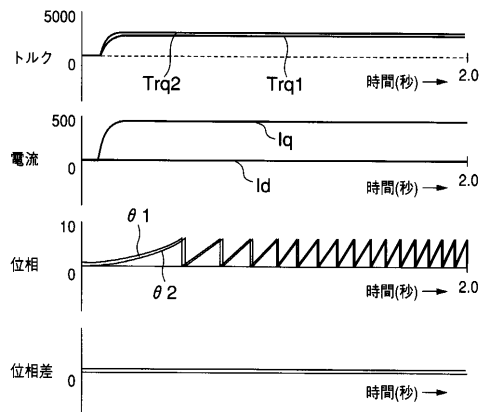
【図 3】



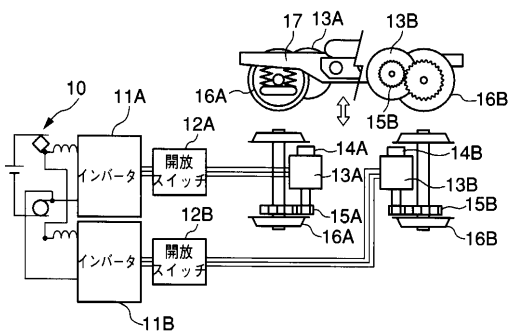
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(72)発明者 中沢 洋介
東京都府中市東芝町 1 番地 株式会社東芝府中事業所内

審査官 天坂 康種

(56)参考文献 特開平 0 4 - 2 4 8 3 9 2 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 1 8 4 7 8 8 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H02P	5/28-H02P	5/52
H02P	7/36-H02P	7/80
H02P	6/00-H02P	6/02