

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4709218号
(P4709218)

(45) 発行日 平成23年6月22日 (2011.6.22)

(24) 登録日 平成23年3月25日 (2011.3.25)

(51) Int. Cl.

F I

H O 2 P 6/10 (2006.01)

H O 2 P 6/02 3 5 1 G

H O 2 P 21/00 (2006.01)

H O 2 P 5/408 Z H V C

H O 2 P 27/04 (2006.01)

B 6 O L 11/14

B 6 O L 11/14 (2006.01)

B 6 O K 6/20 3 2 O

B 6 O W 10/08 (2006.01)

B 6 O K 6/44

請求項の数 6 (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2007-524482 (P2007-524482)
 (86) (22) 出願日 平成17年7月11日 (2005.7.11)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2005/012735
 (87) 国際公開番号 W02007/007387
 (87) 国際公開日 平成19年1月18日 (2007.1.18)
 審査請求日 平成19年10月12日 (2007.10.12)

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 100077816
 弁理士 春日 譲
 (72) 発明者 金子 悟
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
 株式会社日立製作所
 日立研究所内
 (72) 発明者 勝濱 健太
 茨城県ひたちなか市大字高場2520番地
 株式会社日立製作所
 オートモティブシステムグループ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 界磁巻線型同期モータの制御装置、電動駆動システム、電動4輪駆動車およびハイブリッド自動車

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

界磁巻線を回転子に有する界磁巻線型モータから所望のトルクを発生するように制御する制御手段を有する界磁巻線型同期モータの制御装置であって、

前記制御手段は、d 軸電流に脈動が生じた際の、前記界磁巻線型モータの界磁巻線に流れる界磁電流の脈動を抑制するように、d 軸電流を入力とし、該 d 軸電流の脈動により発生する前記界磁巻線の誘起電圧成分を前記 d 軸電流の時間変化量を演算することにより求め、界磁巻線電圧指令に対し補償することを特徴とする界磁巻線型同期モータの制御装置

。

【請求項 2】

請求項 1 記載の界磁巻線型同期モータの制御装置において、

前記制御手段により演算される前記 d 軸電流 の時間変化量は、前記制御手段の制御周期の所定倍数での時間変化量であることを特徴とする界磁巻線型同期モータの制御装置。

【請求項 3】

請求項 1 記載の界磁巻線型同期モータの制御装置において、

前記制御手段により演算される前記 d 軸電流 の時間変化量は、前記モータの磁束方向に流れる固定子巻線電流をローパスフィルタ処理し、前記ローパスフィルタ処理された電流値について前記時間変化量を演算することを特徴とする界磁巻線型同期モータの制御装置

。

【請求項 4】

界磁巻線を回転子に有する界磁巻線型モータと、
前記界磁巻線型モータに交流電力を供給するインバータと、
前記界磁巻線型モータから所望のトルクを発生するように前記インバータに電圧指令を印加する制御手段とを有する電動駆動システムであって、
前記制御手段は、d 軸電流に脈動が生じた際の、前記界磁巻線型モータの界磁巻線に流れる界磁電流の脈動を抑制するように、d 軸電流を入力とし、該 d 軸電流の脈動により発生する前記界磁巻線の誘起電圧成分を前記 d 軸電流の時間変化量を演算することにより求め、界磁巻線電圧指令に対し補償することを特徴とする電動駆動システム。

【請求項 5】

第 1 の車輪を駆動する内燃機関によって駆動されて発電するとともに、電力を供給されて駆動力を発生する電動発電機と、

この電動発電機の発電電力によって駆動され、第 2 の車輪を駆動するとともに、界磁巻線を回転子に有する界磁巻線型モータと、

前記界磁巻線型モータに交流電力を供給するインバータと、

前記界磁巻線型モータから所望のトルクを発生するように前記インバータに電圧指令を印加する制御手段とを有する電動 4 輪駆動車であって、

前記制御手段は、d 軸電流に脈動が生じた際の、前記界磁巻線型モータの界磁巻線に流れる界磁電流の脈動を抑制するように、d 軸電流を入力とし、該 d 軸電流の脈動により発生する前記界磁巻線の誘起電圧成分を前記 d 軸電流の時間変化量を演算することにより求め、界磁巻線電圧指令に対し補償することを特徴とする電動 4 輪駆動車。

【請求項 6】

車輪を駆動するとともに、界磁巻線を回転子に有する界磁巻線型モータと、

前記界磁巻線型モータに交流電力を供給するインバータと、

前記界磁巻線型モータから所望のトルクを発生するように前記インバータに電圧指令を印加する制御手段とを有するハイブリッド自動車であって、

前記制御手段は、d 軸電流に脈動が生じた際の、前記界磁巻線型モータの界磁巻線に流れる界磁電流の脈動を抑制するように、d 軸電流を入力とし、該 d 軸電流の脈動により発生する前記界磁巻線の誘起電圧成分を前記 d 軸電流の時間変化量を演算することにより求め、界磁巻線電圧指令に対し補償することを特徴とするハイブリッド自動車。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、界磁巻線に電流を流して磁束を発生させ、その磁束に基づいてトルクを発生する界磁巻線型同期モータを制御する制御装置、電動駆動システム、電動 4 輪駆動車およびハイブリッド自動車に関する。

【背景技術】

【0002】

最近、モータを駆動源として走行する自動車が増加している。電気自動車やハイブリッド車に代表される環境対応自動車である。さらに、環境対応自動車とともに、前輪をエンジンで直接駆動し、後輪をモータで駆動する電動 4 輪駆動自動車も普及し始めている。これら電動自動車の走行駆動用モータは小形で高効率という特長から同期モータが主流として用いられている。この同期モータにはいくつかの種類がある。回転子に永久磁石を埋め込んだタイプの埋め込み型永久磁石モータ、回転子の周囲に永久磁石を貼り付けた表面型永久磁石モータ、さらには回転子側に界磁巻線を有し、その巻線に電流を流して磁束を発生させる界磁巻線型同期モータなどである。

【0003】

これら同期モータは、回転子側に磁束を有している。この磁束の持たせ方には種々の方法があり、永久磁石モータは回転子に永久磁石を備え、また界磁巻線型モータは界磁巻線に電流を流すことにより磁束を発生させる。モータは、この回転子側の磁束に直交するように固定子側の固定子巻線に電流を流すことでトルクを発生させる。

【 0 0 0 4 】

以上のように、モータは磁束を有していることから、モータの回転数が高くなると、回転数に応じて誘起電圧が発生する。モータが高回転になることによりこの誘起電圧が高くなり、誘起電圧がシステム電圧を超えた場合、その回転において電流を流し込めず必要トルクが出せないこととなる。

【 0 0 0 5 】

このときに、誘起電圧の上昇を抑える方策が一般的に行われているのが、「弱め界磁制御」である。永久磁石モータでは、固定子巻線電流のうち回転子の磁束方向（一般的に d 軸方向とする）に、回転子が発生している磁束を打ち消すように、d 軸の負方向に電流を流すことで弱め界磁制御を実現している。これに対して、界磁巻線型同期モータでは、直接界磁電流を減少させて磁束を減らすことができる。

10

【 0 0 0 6 】

さらに、界磁巻線型モータを用いた場合、アプリケーションによっては上記 2 つの弱め界磁制御方式を併用することがある。このような場合には、特許第 3 3 3 1 7 3 4 号明細書に記載されているように、界磁電流を回転数に逆比例させて流す方式と、固定子巻線電流を誘起電圧と同位相成分と直交する成分に分けて（いわゆる d 軸電流と q 軸電流）、それぞれの電流を制御する方式がある。特許第 3 3 3 1 7 3 4 号明細書に記載の方式では、界磁電流と d 軸電流をそれぞれ制御できるため、モータに誘起される電圧を抑えながら、所望のトルクを発生させることができる。

20

【 0 0 0 7 】

【特許文献 1】特許第 3 3 3 1 7 3 4 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

ここで、界磁巻線型同期モータにおいて、磁束を発生するために界磁電流を流し、さらに弱め界磁制御として d 軸方向に電流を流した場合、界磁巻線に d 軸電流の脈動による影響が現れる場合がある。すなわち、通常は、界磁巻線に界磁電流 I_f を流し、磁束 ϕ を発生させる。このとき、界磁巻線の端子間には所要の界磁電圧 V_f を印加する。この界磁電流は通常、直流電流であり、磁束 ϕ を一定に発生させようとする。このとき、磁束 ϕ を弱めようと d 軸電流 I_d を流したときには、d 軸電流も磁束方向においては直流分の電流とみなすことができ、基本的には界磁巻線と d 軸方向巻線は干渉することはないものである。

30

【 0 0 0 9 】

しかしながら、磁束 ϕ を弱めようとする d 軸電流 I_d がモータ速度変動などの外乱等により脈動を起こした場合、この脈動により磁束 ϕ の変化が発生する。このように磁束が脈動による変動を起こした場合、界磁巻線に誘起電圧 e_f が発生する。誘起電圧 e_f が発生すると、界磁電流 I_f は界磁電圧 V_f と誘起電圧 e_f の電位差で流れるため、d 軸電流の脈動成分と同周波数で変動を起こす。この界磁電流 I_f の変動により磁束 ϕ が脈動し、結果としてトルク脈動が発生するという問題があった。

【 0 0 1 0 】

本発明の目的は、d 軸電流に脈動が生じても、トルクに作用する磁束を変動させることなく、トルク脈動を低減して、安定にトルクを出すことができる界磁巻線型同期モータの制御装置、電動駆動システム、電動 4 輪駆動車およびハイブリッド自動車を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

(1) 上記目的を達成するために、本発明は、界磁巻線を回転子に有する界磁巻線型モータから所望のトルクを発生するように制御する制御手段を有する界磁巻線型同期モータの制御装置であって、前記制御手段は、d 軸電流に脈動が生じた際の、前記界磁巻線型モータの界磁巻線に流れる界磁電流の脈動を抑制するように、d 軸電流を入力とし、該 d 軸

50

電流の脈動により発生する前記界磁巻線の誘起電圧成分を前記 d 軸電流の時間変化量を演算することにより求め、界磁巻線電圧指令に対し補償するようにしたものである。

かかる構成により、d 軸電流に脈動が生じても、トルクに作用する磁束を変動させることなく、トルク脈動を低減して、安定にトルクを出すことができるものとなる。

【0014】

(2) 上記(1)において、好ましくは、前記制御手段により演算される前記 d 軸電流の時間変化量は、前記制御手段の制御周期の所定倍数での時間変化量である。

【0015】

(3) 上記(1)において、好ましくは、前記制御手段により演算される前記 d 軸電流の時間変化量は、前記モータの磁束方向に流れる固定子巻線電流をローパスフィルタ処理し、前記ローパスフィルタ処理された電流値について前記時間変化量を演算するものである。

10

【0016】

(4) 上記目的を達成するために、本発明は、界磁巻線を回転子に有する界磁巻線型モータと、前記界磁巻線型モータに交流電力を供給するインバータと、前記界磁巻線型モータから所望のトルクを発生するように前記インバータに電圧指令を印加する制御手段とを有する電動駆動システムであって、前記制御手段は、d 軸電流に脈動が生じた際の、前記界磁巻線型モータの界磁巻線に流れる界磁電流の脈動を抑制するように、d 軸電流を入力とし、該 d 軸電流の脈動により発生する前記界磁巻線の誘起電圧成分を前記 d 軸電流の時間変化量を演算することにより求め、界磁巻線電圧指令に対し補償するようにしたものである。

20

かかる構成により、d 軸電流に脈動が生じても、トルクに作用する磁束を変動させることなく、トルク脈動を低減して、安定にトルクを出すことができるものとなる。

【0017】

(5) 上記目的を達成するために、本発明は、第1の車輪を駆動する内燃機関によって駆動されて発電するとともに、電力を供給されて駆動力を発生する電動発電機と、この電動発電機の発電電力によって駆動され、第2の車輪を駆動するとともに、界磁巻線を回転子に有する界磁巻線型モータと、前記界磁巻線型モータに交流電力を供給するインバータと、前記界磁巻線型モータから所望のトルクを発生するように前記インバータに電圧指令を印加する制御手段とを有する電動4輪駆動車であって、前記制御手段は、d 軸電流に脈動が生じた際の、前記界磁巻線型モータの界磁巻線に流れる界磁電流の脈動を抑制するように、d 軸電流を入力とし、該 d 軸電流の脈動により発生する前記界磁巻線の誘起電圧成分を前記 d 軸電流の時間変化量を演算することにより求め、界磁巻線電圧指令に対し補償するようにしたものである。

30

かかる構成により、d 軸電流に脈動が生じても、トルクに作用する磁束を変動させることなく、トルク脈動を低減して、安定にトルクを出すことができるものとなる。

【0018】

(6) 上記目的を達成するために、本発明は、車輪を駆動するとともに、界磁巻線を回転子に有する界磁巻線型モータと、前記界磁巻線型モータに交流電力を供給するインバータと、前記界磁巻線型モータから所望のトルクを発生するように前記インバータに電圧指令を印加する制御手段とを有するハイブリット自動車であって、前記制御手段は、d 軸電流に脈動が生じた際の、前記界磁巻線型モータの界磁巻線に流れる界磁電流の脈動を抑制するように、d 軸電流を入力とし、該 d 軸電流の脈動により発生する前記界磁巻線の誘起電圧成分を前記 d 軸電流の時間変化量を演算することにより求め、界磁巻線電圧指令に対し補償するようにしたものである。

40

かかる構成により、d 軸電流に脈動が生じても、トルクに作用する磁束を変動させることなく、トルク脈動を低減して、安定にトルクを出すことができるものとなる。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、d 軸電流に脈動が生じても、トルクに作用する磁束を変動させること

50

なく、トルク脈動を低減して、安定にトルクを出し得るものとなる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 0 】

【図 1】本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置を搭載した電動 4 輪駆動車の構成を示すブロック図である。

【図 2】本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置の構成を示すブロック図である。

【図 3】本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置に用いる非干渉補償量演算部の構成を示すブロック図である。

【図 4】本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータにおける干渉原理の説明図である。

10

【図 5】本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータにおける非干渉補償の内容を示すフローチャートである。

【図 6】本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータにおける非干渉補償の原理説明図である。

【図 7】本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置を搭載したハイブリット自動車の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

【 0 0 2 1 】

1 0 ... エンジン

20

1 4 ... インバータ

2 0 ... 界磁巻線型同期モータ

2 0 A ... モータジェネレータ

2 2 a ... 固定子巻線

2 2 f ... 界磁巻線

1 0 0 ... モータコントロールユニット

1 1 0 ... 電流指令演算部

1 3 0 ... P W M 変換部

1 4 0 ... モータ電流検出部

1 8 0 ... $I_d - I_f$ 非干渉補償量演算部

30

1 8 2 ... I_d 変化量演算部

1 8 4 ... V_f 補償演算部

1 9 0 ... ローパスフィルタ

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 2 】

以下、図 1 ～ 図 7 を用いて、本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置の構成及び動作について説明する。

最初に、図 1 を用いて、本実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置を搭載した電動 4 輪駆動車の構成について説明する。

図 1 は、本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置を搭載した電動 4 輪駆動車の構成を示すブロック図である。

40

【 0 0 2 3 】

電動 4 輪駆動車は、前輪 F W をエンジン 1 0 により駆動され、後輪 R W を界磁巻線型同期モータ 2 0 により駆動される。エンジン 1 0 の回転数は、エンジンコントロールユニット (E C U) 3 0 によって制御される。高圧直流電力を発電する専用の発電機 1 2 は、エンジン 1 0 により駆動される。発電機 1 2 が出力する直流電力は、インバータ 1 4 によって交流電力に変換され、モータ 2 0 に供給される。モータコントロールユニット (M C U) 1 0 0 は、エンジンコントロールユニット 3 0 から与えられるモータトルク指令値 T_r^* に基づいて、インバータ 1 4 を制御して、モータ 2 0 の固定子巻線に供給する電流を制御し、また、モータ 2 0 の界磁巻線に流す電流を制御することで、モータ 2 0 から所定の

50

トルクが得られるように制御する。

【 0 0 2 4 】

エンジン 1 0 の出力は、変速機 1 6 を介して、前輪 F W に伝達される。モータ 2 0 の出力は、デフ 1 8 によって左右に分配され、後輪 R W に伝達される。なお、モータ 2 0 とデフ 1 8 の間には、動力伝達経路を開閉するクラッチ（図示せず）が設けられている。

【 0 0 2 5 】

なお、前輪をモータで駆動し、後輪をエンジンで駆動するようにしてもよいものである。

【 0 0 2 6 】

電動 4 輪駆動自動車では、後輪駆動用のモータとして、界磁巻線型モータを用いた場合、d 軸方向に電流を流す方式と直接界磁電流を減じる方式の 2 つの方式を併用する場合がある。これにより、モータに誘起される電圧を抑えながら、所望のトルクを得ることができる。

【 0 0 2 7 】

すなわち、電動 4 輪駆動車として後輪駆動用モータに求められる性能は、まず動作点が多いということである。例えば深雪の中で発進する場合、前輪が完全にグリップを失ったときでも後輪のみで発進できることが重要となり、低速域で大トルクを出力する必要がある。また、中速走行域まで 4 輪駆動を継続するとした場合、モータとしては非常に高回転にする必要がある。このように、低速大トルクと高速回転域を両立しようとした場合、永久磁石同期モータでは低速大トルクを発生するために必要な永久磁石の磁束が災いして高回転域では誘起電圧が高くなりすぎてしまい、必要な高回転域まで駆動できない場合が生じる。それに対して、動作点が多い電動 4 輪駆動システムに用いるモータとしては、「界磁巻線型の同期モータ」が有効である。界磁巻線型の同期モータであれば、高回転域において界磁電流を抑えることにより磁束を小さくすることが可能となり、結果として誘起電圧を小さく抑え、高回転域まで駆動できるようになる。さらに、電動 4 輪駆動システムでは、後輪駆動用モータの電力発生源となる発電機はエンジンの回転数により出力電圧に制限が生じる。例えば発進時のとき、エンジン回転数が十分に上がりきれない状態においても発進するだけのトルクが必要となってくる。このときモータとしては、低電圧で大きなトルクを出すことになる。したがって、このような場合には、界磁電流を落とすとトルクが出なくなるため、界磁電流をあまり落とさず、d 軸電流を流すことで誘起電圧を下げる必要がある。すなわち、上述のような場合、モータのトルクを制御するモータコントロールユニット 1 0 0 は、界磁電流 I_f 、弱め界磁制御を行うための I_d 、トルクを制御するための I_q をそれぞれ制御する。

【 0 0 2 8 】

次に、図 2 を用いて、本実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置の構成について説明する。

図 2 は、本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置の構成を示すブロック図である。なお、図 1 と同一符号は、同一部分を示している。

【 0 0 2 9 】

図 2 に示すモータコントロールユニット 1 0 0 は、モータ 2 0 の d 軸電流 I_d と、q 軸電流 I_q と、界磁電流 I_f を、フィードバック制御する。モータコントロールユニット 1 0 0 に入力するトルク指令 T_r^* は、エンジンコントロールユニット 3 0 から与えられる。

【 0 0 3 0 】

トルク指令 T_r^* は、車両の状態に応じて、エンジンコントロールユニット 3 0 が出力する。例えば、シフト位置がニュートラルレンジの場合、運転モード (MODE) を 2WD モードとして、トルク指令 T_r^* を、例えば、0 Nm とする。シフト位置が 1ST レンジとなると、運転モードを 4WD 待機モードとして、トルク指令 T_r^* を、第 1 の所定値とする。更に、アクセルペダルが踏み込まれると、運転モードが 4WD モードとして、第 2 の所定値 (第 2 の所定値 > 第 1 の所定値) までトルク指令 T_r^* を徐々に増加する。ま

10

20

30

40

50

た、前輪速と後輪速の差が発生してスリップしている状態では、前後輪差に応じてトルク指令 T_r^* を出力する。

【0031】

モータコントロールユニット100は、電流指令決定部110と、 $d-q/3$ 相変換部120と、PWM変換部130と、モータ電流検出部140と、3相/ $d-q$ 変換部150と、磁極位置・回転速度検出部160と、デューティ変換部170と、 I_d-I_f 非干渉補償量演算部180と、制御器CNT1, CNT2, CNT3と、減算器DF1, DF2, DF3と、加算器AD1とを備えている。

【0032】

モータコントロールユニット100の電流指令決定部110は、エンジンコントロールユニット30から入力したトルク指令 T_r^* と、磁極位置・回転速度検出部160によって検出されたモータの回転速度 ω_m により、 d 軸電流 I_d の指令値 I_d^* 、 q 軸電流 I_q の指令値 I_q^* 、界磁電流 I_f の指令値 I_f^* をそれぞれ決定する。電流指令決定方法としては、モータのトルク式に基づいて算出する方式や、予めデータをテーブル化してコントローラのROM領域に記憶させておいて、 T_r^* と ω_m を引数として各電流指令値を検索する方式などを用いることができる。ここで、モータの回転速度 ω_m は、モータ20の回転軸に取り付けられた位置センサ24からの位置信号PLSに基づき、磁極位置回転速度検出部160によって演算される。

【0033】

ここで、 d 軸電流 I_d 、 q 軸電流 I_q は直接モータ電流から検出できるものではなく、図2に示すように、モータ20の3相電流を電流センサCSで検出し、モータ電流検出部140で3相交流電流の物理値 I_u 、 I_v 、 I_w とする。さらに、3相/ $d-q$ 変換部150は、3相交流電流の物理値 I_u 、 I_v 、 I_w と磁極位置回転速度検出部160によって得られるモータ20の回転子磁極位置 θ に基づいて、 d 軸電流・ q 軸電流の検出値 $I_d^{\wedge}$ 、 $I_q^{\wedge}$ を演算する。

【0034】

減算器DF1は、 d 軸電流 I_d の指令値 I_d^* と、演算された d 軸電流の検出値 $I_d^{\wedge}$ の差分を演算する。減算器DF2は、 q 軸電流 I_q の指令値 I_q^* と、演算された q 軸電流の検出値 $I_q^{\wedge}$ の差分を演算する。制御器CNT1は、減算器DF1の出力から、 $d-q$ 座標の電圧指令 V_d^* を算出する。制御器CNT2は、減算器DF2の出力から、 $d-q$ 座標の電圧指令 V_q^* を算出する。

【0035】

電圧指令 V_d^* 、 V_q^* は、3相交流モータ20に印加されるために、 $d-q/3$ 相変換部120で交流電圧信号 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に変換される。さらに、PWM変換部130において、パルス幅変調され、インバータ14のスイッチング素子を駆動するためのPWM信号 P_u 、 P_v 、 P_w が得られる。そして、このPWM信号 P_u 、 P_v 、 P_w に基づいて、PWMインバータ14からモータ20の3相の固定子巻線22aに電圧が印加される。なお、図2ではPWM信号を簡略化して3本で図示したが、実際はPWMインバータの6つのスイッチング素子をON/FFするため、6本の信号が出力される。

【0036】

以上のように、 d 軸電流 I_d 、 q 軸電流 I_q はそれぞれフィードバック制御系が構成される。さらに、 I_d-I_f 非干渉補償量演算部180は、 d 軸と q 軸間に生じる誘起電圧の干渉を補償するため、 $d-q$ 軸間の非干渉制御に用いられるものであるが、この詳細については、図3を用いて後述する。

【0037】

ここで、本実施形態で用いるモータ20は界磁巻線型同期モータであり、回転子の磁束を発生させるために界磁巻線22fに界磁電流 I_f を流す。界磁電流指令値 I_f^* は、電流指令決定部110によって決定される。減算器DF3は、界磁電流指令値 I_f^* と、電流センサ26にて検出された界磁電流検出値 $I_f^{\wedge}$ の差分を演算する。制御器CNT3は、減算器DF3の出力に基づいて、界磁電圧指令 V_f^* を演算する。デューティ変換器1

10

20

30

40

50

70は、界磁電圧指令 V_f^* に相当する電圧が界磁巻線22fにかかるように、界磁電圧指令 V_f^* をデューティ変換し、スイッチング素子SW1を駆動する。

【0038】

以上が、界磁巻線型同期モータの制御方式の一例である。この制御方式では、d軸電流 I_d 、q軸電流 I_q 、界磁電流 I_f のそれぞれにフィードバックループを設けて制御している。この方式はそれぞれの電流を指令値に対してある所定の応答速度で追従させることが可能である。

【0039】

ここで、交流モータでは、d-q軸間には一般的に非干渉成分が発生する。非干渉成分とは、以下の式(1)に示すq軸誘起電圧成分 e_q がd軸電圧に、式(2)に示すd軸誘起電圧成分 e_d がq軸電圧に作用するものである。

$$e_q = \omega \times L_q \times I_q \quad \dots (1)$$

$$e_d = \omega \times (L_d \times I_d + \varphi) \quad \dots (2)$$

ここで、 ω はモータ角速度[rad/s]、 L_d はd軸インダクタンス[H]、 L_q はq軸インダクタンス[H]、 φ は界磁主磁束[Wb]である。

【0040】

この誘起電圧成分 e_d 、 e_q はd-q軸間の電圧に影響するため、各d、q軸電流制御系に外乱となって現れる。 I_d - I_f 非干渉補償量演算部180は、d軸とq軸間に生じる誘起電圧の干渉を補償するため、d-q軸間の非干渉制御に用いられるものである。非干渉補償量演算部180は、それぞれd軸、q軸の誘起電圧相当を推定演算し、電流制御の出力であるd-q軸電圧指令 V_d^* 、 V_q^* を補償する。

【0041】

次に、図3～図6を用いて、本実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置に用いる非干渉補償量演算部180の構成及び動作について説明する。

図3は、本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置に用いる非干渉補償量演算部180の構成を示すブロック図である。なお、図1と同一符号は、同一部分を示している。図4は、本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータにおける干渉原理の説明図である。図5は、本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータにおける非干渉補償の内容を示すフローチャートである。図6は、本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータにおける非干渉補償の原理説明図である。

【0042】

ここで、本実施形態で用いる界磁巻線型同期モータでは、界磁巻線に電流を流すことによって発生する界磁主磁束 φ とd軸電流により発生する弱め方向の磁束が干渉する。この干渉原理を図4を用いて説明する。通常、界磁巻線22fに界磁電流 I_f を流し、磁束 φ を発生させる。このとき、界磁巻線22fの端子間には所要の界磁電圧 V_f を印加する。この界磁電流 I_f は直流電流であり、磁束 φ を一定に発生させようとする。このとき、磁束 φ を弱めようとd軸電流を流したときには、d軸電流も磁束方向においては直流分の電流とみなすことができるため、基本的には界磁巻線22fと固定子巻線のd軸方向巻線22adは干渉することはない。しかしながら、磁束 φ を弱めようとするd軸電流 I_d は、前述のようにq軸電流の脈動やモータ速度の変動などの外乱等により脈動を起こした場合には、d軸電流 I_d の脈動により磁束の変化が発生する。このように磁束がd軸電流脈動による変動を起こした場合、界磁巻線22fに誘起電圧 e_f が発生する。誘起電圧 e_f が発生すると、界磁電流 I_f は界磁電圧 V_f と誘起電圧 e_f の電位差で流れるため、d軸電流の脈動成分と同周波数で変動を起こす。この界磁電流 I_f の変動により磁束 φ が脈動し、結果としてトルク脈動を引き起こすことがある。

【0043】

次に、図3を用いて、 I_d - I_f 非干渉補償量演算部180による界磁電流 I_f とd軸

10

20

30

40

50

電流の非干渉制御方法（以下、「 $I_d - I_f$ 非干渉制御」と称する）について説明する。本制御方法の目的は、前述の I_d の脈動により発生する界磁電流 I_f の脈動、そして、その結果として発生するトルク脈動を抑制することにある。すなわち、図6（A）は、本来破線で示すような d 軸電流 I_{d1} が流れている状態で、実線で示すように、 d 軸電流 I_d に脈動が発生した状態を示している。この d 軸電流 I_d の脈動によって、図6（B）に示すように、破線で示す本来の界磁電流 I_{f1} に対して、実線で示すように、界磁電流 I_f に脈動が発生する。

【0044】

図3に示すように、 $I_d - I_f$ 非干渉補償量演算部180は、 I_d 変化量演算部182と、 V_f 補償演算部184と、調整ゲイン乗算部186とを備えている。 $I_d - I_f$ 非干渉補償量演算部180は、 d 軸電流 I_d のフィードバック制御系と界磁電流 I_f のフィードバック制御系との間に設けられている。

10

【0045】

$I_d - I_f$ 非干渉補償量演算部180の I_d 変化量演算部182は、 d 軸電流 I_d の時間変化量 dI_d/dt を演算する。すなわち、図5のステップs10において、 I_d 変化量演算部182は、前回の d 軸電流値 $I_d(n-1)$ を格納する。次に、ステップs20において、 I_d 変化量演算部182は、今回の d 軸電流値 $I_d(n)$ を格納する。そして、ステップs20において、 I_d 変化量演算部182は、ステップs10の値とステップs20の値の差分を取ることで、 d 軸電流 I_d の変化分 ΔI_d を算出する。

20

【0046】

次に、図3の V_f 補償演算部184は、図6のステップs40に示すように、 I_d 変化量演算部182によって求められた d 軸電流 I_d の時間変化量 dI_d/dt に、 d 軸インダクタンス L_d 相当を乗算することで、誘起電圧相当の変化 $d\phi_d/dt$ を演算する。

【0047】

これは、 d 軸電流 I_d による磁束 ϕ_d が、以下の式（3）であらわされることに基づいている。

$$\phi_d = L_d \times I_d \dots (3)$$

すなわち、 I_d 変化量演算部182において、 I_d の時間変化量を演算し、 V_f 補償演算部184にて d 軸インダクタンス L_d 相当を乗算することで誘起電圧相当の変化を得られている。

30

【0048】

理論的には V_f 補償演算部184にて d 軸電流の時間変化量 dI_d/dt に対し、 d 軸インダクタンス L_d 相当を乗算することで、界磁巻線電圧指令に対する d 軸電流脈動による誘起電圧 $d\phi_d/dt$ とすることができる。実際にはパラメータ誤差や制御安定性を考慮する必要があるため、図3の調整ゲイン乗算部186は、図6のステップs50において、調整ゲイン K をさらに乗算して、補償量 V_f2 が演算される。ここで、調整ゲイン K は、例えば、0.8～0.9程度の数値が選ばれる。

【0049】

40

さらに、 $I_d - I_f$ 非干渉補償量演算部180で求められた補償量 V_f2 は、図6（C）に示すように、 d 軸電流 I_d の脈動分に相当する電圧となる。そして、 $I_d - I_f$ 非干渉補償量演算部180で求められた補償量 V_f2 は、加算器AD1によって、界磁巻線電圧指令 V_f1 に加算され、非干渉の補償される界磁巻線電圧指令 V_f^* として、デューティ変換器170に入力する（図6のステップs60）。

【0050】

以上に述べたように、 d 軸電流の脈動により発生する界磁巻線の誘起電圧成分を d 軸電流の時間変化量を演算することにより求め、界磁巻線電圧指令に対し補償することにより、界磁巻線電流の脈動やトルク脈動を抑制することができる。

【0051】

50

ここで、 d 軸の時間変化量 di/dt を求めるための時間間隔 (dt) は、コントローラのサンプリングや検出された d 軸電流に含まれるノイズの周波数やその振幅等によって決定する。実際には、サンプリングの整数倍の時間長さでの電流変化量とすることで、演算負荷を軽くすることができる。また、検出された d 軸電流にノイズが含まれていて、正しい時間変化量が演算しにくい場合は、図 2 に破線で示したように、 d 軸電流検出値をローパスフィルタ 190 に通して、含まれるノイズ成分を取り除くことにより、実 d 軸電流の変化量を検出しやすくする。

【0052】

次に、図 7 を用いて、本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置を搭載したハイブリット自動車の構成について説明する。

10

図 7 は、本発明の一実施形態による界磁巻線型同期モータの制御装置を搭載したハイブリット自動車の構成を示すブロック図である。なお、図 1 と同一符号は、同一部分を示している。

【0053】

ハイブリット自動車は、前輪 FW をエンジン 10 及びモータジェネレータ 20A により駆動される。エンジン 10 及びモータジェネレータ 20A の出力は、変速機 16 を介して、前輪 FW に伝達される。ここで、モータジェネレータ 20A は、図 1 における界磁巻線型同期モータと同様の構成を有し、エンジン 10 によって駆動され、発電電力をバッテリー 40 に蓄電する。また、モータジェネレータ 20A は、バッテリー 40 の電力によって駆動され、エンジン 10 を駆動して、アイドルストップ後のエンジンの再始動をする。さらに、モータジェネレータ 20A は、バッテリー 40 の電力によって駆動され、前輪 FW を駆動する。ここで、モータジェネレータ 20A が出力する交流電力は、インバータ 14 によって直流電力に変換され、バッテリー 40 に蓄電される。また、バッテリー 40 の直流電力は、インバータ 14 によって交流電力に変換され、モータジェネレータ 20A に供給される。

20

【0054】

エンジン 10 の回転数は、エンジンコントロールユニット (ECU) 30 によって制御される。モータコントロールユニット (MCU) 100 は、エンジンコントロールユニット 30 から与えられるモータトルク指令値 T_r^* に基づいて、インバータ 14 を制御して、モータジェネレータ 20A の固定子巻線に供給する電流を制御し、また、モータジェネレータ 20A の界磁巻線に流す電流を制御することで、モータジェネレータ 20A から所定のトルクが得られるように制御する。

30

【0055】

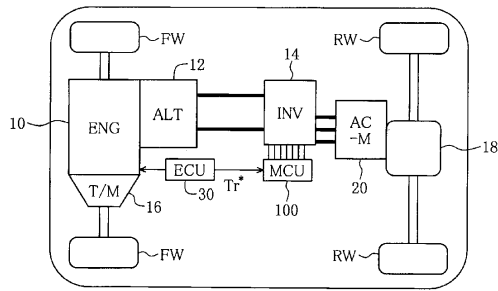
ここで、モータコントロールユニット 100 の構成は、図 2 に示したものと同様である。本例でも、モータコントロールユニット 100 は、非干渉補償量演算部 180 を有しており、本発明の $I_d - I_f$ 非干渉制御を適用することにより、モータジェネレータ 20A のトルク脈動を抑制することが可能となる。

【0056】

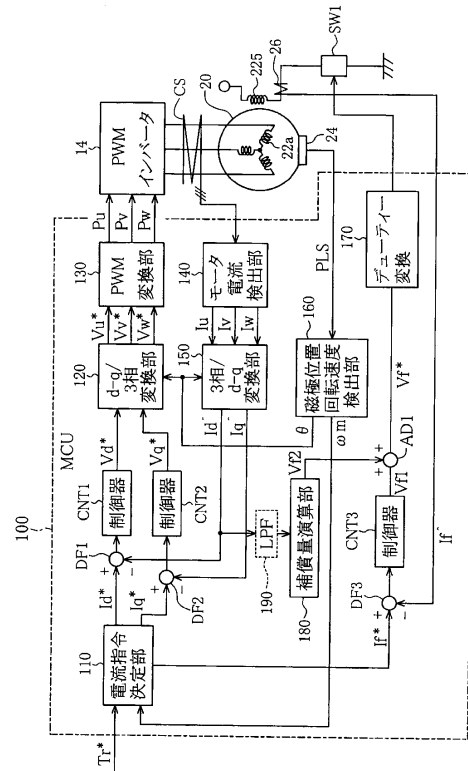
以上説明したように、本実施形態によれば、 d 軸電流の時間変化量を演算し、この時間変化量に基づいて界磁巻線に発生する誘起電圧を補償するように動作するため、トルク脈動を抑制することができる。

40

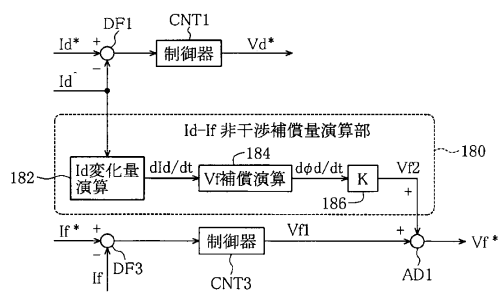
【 図 1 】



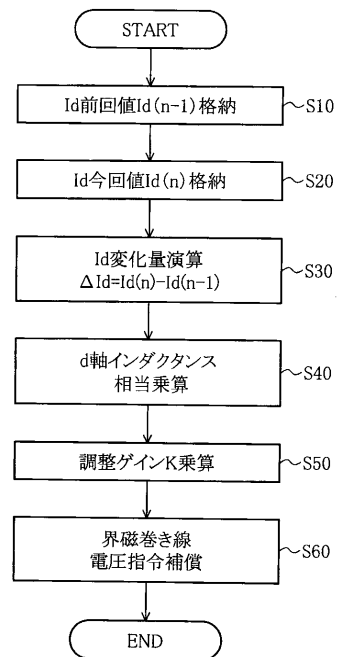
【 図 2 】



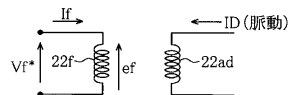
【 図 3 】



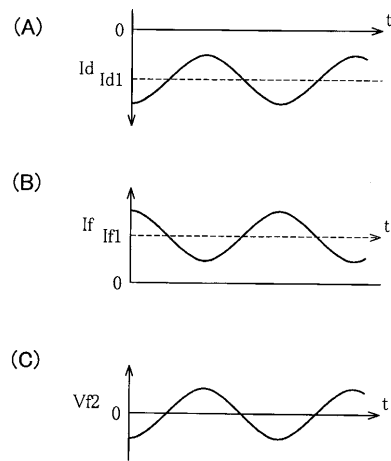
【 図 5 】



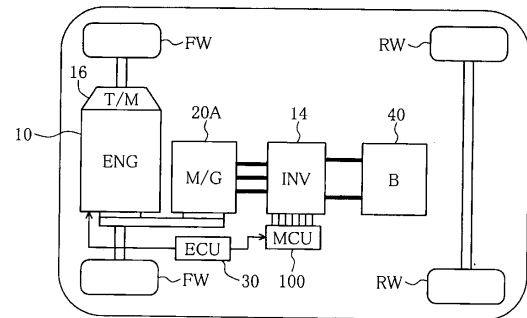
【 図 4 】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I	
B 6 0 W 20/00	(2006.01)	B 6 0 K	6/485
B 6 0 K 6/44	(2007.10)	B 6 0 K	6/52
B 6 0 K 6/485	(2007.10)	B 6 0 K	6/54
B 6 0 K 6/52	(2007.10)		
B 6 0 K 6/54	(2007.10)		

(72)発明者	赤石 茂	
	茨城県ひたちなか市大字高場 2 5 2 0 番地	株式会社日立製作所 オートモテ
	ィブシステムグループ内	
(72)発明者	茂木 一也	
	茨城県ひたちなか市高場 2 4 7 7 番地	株式会社日立カーエンジニアリン
	グ内	
(72)発明者	山本 立行	
	茨城県ひたちなか市大字高場 2 5 2 0 番地	株式会社日立製作所 オートモテ
	ィブシステムグループ内	

審査官 山村 和人

(56)参考文献 特開 2 0 0 0 - 1 9 7 3 9 8 (J P , A)
 特開 2 0 0 5 - 1 4 3 1 5 7 (J P , A)
 特開平 1 1 - 3 1 3 4 9 8 (J P , A)
 特開 2 0 0 4 - 1 4 4 0 1 9 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H02P 1/00 - 31/00
 B60L 1/00 - 15/42
 B60W 10/00 - 10/30
 B60W 20/00