

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3979289号
(P3979289)

(45) 発行日 平成19年9月19日(2007.9.19)

(24) 登録日 平成19年7月6日(2007.7.6)

(51) Int. Cl.

F I

HO2P 21/00	(2006.01)	HO2P	5/408	ZHVC
HO2P 27/04	(2006.01)	B6OK	6/04	32O
B6OW 10/08	(2006.01)	B6OL	11/14	
B6OW 20/00	(2006.01)	B6OL	9/18	J
B6OL 11/14	(2006.01)			

請求項の数 8 (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-378506 (P2002-378506)
 (22) 出願日 平成14年12月26日(2002.12.26)
 (65) 公開番号 特開2004-215320 (P2004-215320A)
 (43) 公開日 平成16年7月29日(2004.7.29)
 審査請求日 平成17年10月26日(2005.10.26)

前置審査

(73) 特許権者 000100768
 アイシン・エイ・ダブリュ株式会社
 愛知県安城市藤井町高根10番地
 (74) 代理人 100096426
 弁理士 川合 誠
 (74) 代理人 100089635
 弁理士 清水 守
 (74) 代理人 100116207
 弁理士 青木 俊明
 (72) 発明者 小林 靖彦
 愛知県安城市藤井町高根10番地 アイシン・エイ・ダブリュ株式会社内
 (72) 発明者 山口 康夫
 愛知県安城市藤井町高根10番地 アイシン・エイ・ダブリュ株式会社内
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電動駆動制御装置、電動駆動制御方法及びそのプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電動機械と、電動機械トルクの目標値を表す電動機械目標トルク及び電動機械回転速度に対応させて、所定の直流電圧における電流指令値がベクトルで表された電流指令値マップと、該電流指令値マップを参照し、前記電動機械目標トルク及び電動機械回転速度に基づいて電流指令値を算出する指令値算出処理手段と、前記電流指令値に基づいて出力信号を算出する出力信号算出処理手段と、前記出力信号に基づいて電流を発生させ、該電流を電動機械に供給する電流発生装置と、前記電動機械の駆動に伴って電圧飽和が発生する度合いに対応して変化する電圧飽和変量を前記電流指令値に基づいて算出する電圧飽和変量算出処理手段と、前記電圧飽和変量に対応させて前記電動機械回転速度を補正する制御変量補正処理手段とを有するとともに、前記電流指令値マップにおいて、電圧制限楕円内における電動機械目標トルクの等トルク曲線上にあり、かつ、最小になる電流指令値が記録され、前記指令値算出処理手段は、電動機械目標トルク及び補正された電動機械回転速度に基づいて前記電流指令値を算出することを特徴とする電動駆動制御装置。

10

【請求項2】

電動機械と、電動機械トルクの目標値を表す電動機械目標トルク及び電動機械回転速度に対応させて、所定の直流電圧における電流指令値がベクトルで表された電流指令値マップと、該電流指令値マップを参照し、前記電動機械目標トルク及び電動機械回転速度に基づいて電流指令値を算出する指令値算出処理手段と、前記電流指令値に基づいて出力信号を算出する出力信号算出処理手段と、前記出力信号に基づいて電流を発生させ、該電流を

20

電動機械に供給する電流発生装置と、前記電動機械の駆動に伴って電圧飽和が発生する度合いに対応して変化する電圧飽和変量を前記出力信号に基づいて算出する電圧飽和変量算出処理手段と、前記電圧飽和変量に対応させて前記電動機械回転速度を補正する制御変量補正処理手段とを有するとともに、前記電流指令値マップにおいて、電圧制限楕円内における電動機械目標トルクの等トルク曲線上にあり、かつ、最小になる電流指令値が記録され、前記指令値算出処理手段は、電動機械目標トルク及び補正された電動機械回転速度に基づいて前記電流指令値を算出することを特徴とする電動駆動制御装置。

【請求項 3】

前記電圧飽和変量算出処理手段は、電流指令値に基づいて、非干渉項分の電圧指令値及び積分項分の電圧指令値だけから成る電圧指令値を算出し、該電圧指令値から算出した指令電圧と指令電圧制限値との偏差から電圧飽和変量を算出する請求項 1 に記載の電動駆動制御装置。

10

【請求項 4】

前記電圧飽和変量算出処理手段は、前記出力信号のオン時間とオン時間制限値との偏差から電圧飽和変量を算出する請求項 2 に記載の電動駆動制御装置。

【請求項 5】

前記電動機械回転速度を補正するのに伴って発生させられる電動機械目標トルクが限界の電動機械トルクより大きい場合、出力可能な電動機械トルクに対応する電流指令値が発生させられる請求項 1 又は 2 に記載の電動駆動制御装置。

【請求項 6】

前記電動機械回転速度を補正するのに伴って、電動機械回転速度が限界の電動機械回転速度より高くなると、電圧制限楕円の中心の電流指令値が発生させられる請求項 1 又は 2 に記載の電動駆動制御装置。

20

【請求項 7】

電動機械トルクの目標値を表す電動機械目標トルク及び電動機械回転速度に対応させて、所定の直流電圧における電流指令値がベクトルで表された電流指令値マップを参照し、前記電動機械目標トルク及び電動機械回転速度に基づいて電流指令値を算出し、該電流指令値に基づいて出力信号を算出し、該出力信号に基づいて電流を発生させ、該電流を電動機械に供給し、前記電動機械の駆動に伴って電圧飽和が発生する度合いに対応して変化する電圧飽和変量を前記電流指令値に基づいて算出し、前記電圧飽和変量に対応させて前記電動機械回転速度を補正するとともに、前記電流指令値マップにおいて、電圧制限楕円内における電動機械目標トルクの等トルク曲線上にあり、かつ、最小になる電流指令値が記録され、前記電流指令値は、電動機械目標トルク及び補正された電動機械回転速度に基づいて算出されることを特徴とする電動駆動制御方法。

30

【請求項 8】

コンピュータを、電動機械トルクの目標値を表す電動機械目標トルク及び電動機械回転速度に対応させて、所定の直流電圧における電流指令値がベクトルで表された電流指令値マップ、該電流指令値マップを参照し、前記電動機械目標トルク及び電動機械回転速度に基づいて電流指令値を算出する指令値算出処理手段、前記電流指令値に基づいて出力信号を算出する出力信号算出処理手段、前記出力信号に基づいて発生させられた電流を電動機械に供給したときに、電動機械の駆動に伴って電圧飽和が発生する度合いに対応して変化する電圧飽和変量を前記電流指令値に基づいて算出する電圧飽和変量算出処理手段、並びに前記電圧飽和変量に対応させて前記電動機械回転速度を補正する制御変量補正処理手段として機能させるとともに、前記電流指令値マップにおいて、電圧制限楕円内における電動機械目標トルクの等トルク曲線上にあり、かつ、最小になる電流指令値を記録し、前記指令値算出処理手段は、電動機械目標トルク及び補正された電動機械回転速度に基づいて前記電流指令値を算出することを特徴とする電動駆動制御方法のプログラム。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

50

本発明は、電動駆動制御装置、電動駆動制御方法及びそのプログラムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、車両、例えば、電動車両としての電気自動車に搭載され、電動機械としての駆動モータのトルク、すなわち、駆動モータトルクを発生させるようにした電動駆動装置においては、前記駆動モータトルクを駆動輪に伝達して駆動力を発生させるようにしている。

【0003】

また、電動車両としてのハイブリッド型車両に搭載され、エンジンのトルク、すなわち、エンジントルクの一部を第1の電動機械としての発電機（発電機モータ）に、残りを駆動輪に伝達するようにした電動駆動装置においては、サンギヤ、リングギヤ及びキャリアを備えたプラネタリギヤユニットを有し、前記キャリアとエンジンとを連結し、リングギヤと駆動輪とを連結し、サンギヤと発電機とを連結し、前記リングギヤ及び第2の電動機械としての駆動モータから出力された回転を駆動輪に伝達して駆動力を発生させるようにしている。

10

【0004】

そして、発電機及び駆動モータには、回転自在に配設され、N極及びS極の永久磁石から成る磁極対を備えたロータ、該ロータより径方向外方に配設され、U相、V相及びW相のステータコイルを備えたステータ等が配設される。

【0005】

また、前記電気自動車には駆動モータ制御装置が、前記ハイブリッド型車両には発電機制御装置及び駆動モータ制御装置がそれぞれ電動機械制御装置として配設され、該電動機械制御装置において発生させられたU相、V相及びW相のパルス幅変調信号をインバータに送り、該インバータにおいて発生させられた相電流、すなわち、U相、V相及びW相の電流を前記各ステータコイルに供給することによって、前記駆動モータを駆動して駆動モータトルクを発生させたり、発電機を駆動して、発電機のトルク、すなわち、発電機トルクを発生させたりするようになっている。

20

【0006】

ところで、例えば、前記駆動モータ制御装置においては、ロータにおける磁極対の方向にd軸を、該d軸と直角の方向にq軸をそれぞれ採ったd-q軸モデル上でベクトル制御演算によるフィードバック制御が行われるようになっている。そのために、前記駆動モータ制御装置は、各ステータコイルに供給される電流、ロータの磁極位置、インバータの入口の直流電圧等を検出し、検出された電流、すなわち、検出電流を磁極位置に基づいてd軸電流及びq軸電流に変換し、前記直流電圧等に基づいてd軸電流及びq軸電流の目標値を表すd軸電流指令値及びq軸電流指令値を算出し、d軸電流とd軸電流指令値との偏差、及びq軸電流とq軸電流指令値との偏差が零(0)になるようにしている(例えば、特許文献1参照。)

30

【0007】

【特許文献1】

特開平5-130710号公報

40

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前記従来の電動駆動装置においては、前記電流を検出する電流センサ、磁極位置を検出する磁極位置センサ、直流電圧を検出する電圧センサ等の各センサに検出誤差があったり、温度変化に伴って、駆動モータの逆起電圧定数 M_{if} 、ステータコイルのインダクタンス L_d 、 L_q 、ステータコイルの抵抗 R_a 等の機器定数が変化したりすると、実現不可能な電流指令値を設定してしまう。

【0009】

その結果、電圧飽和が発生し、駆動モータ目標トルク T_M^* と実際に発生させられる駆動モータトルク T_M との間にずれが生じてしまい、走行に伴って運転者に違和感を感じさせ

50

たり、駆動モータの駆動が困難になったりしてしまう。

【0010】

本発明は、前記従来の電動駆動装置の問題点を解決して、電圧飽和が発生するのを防止することができ、走行に伴って運転者に違和感を感じさせたり、電圧飽和が発生して駆動モータの駆動が困難になったりすることがない電動駆動制御装置、電動駆動制御方法及びそのプログラムを提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

そのために、本発明の電動駆動制御装置においては、電動機械と、電動機械トルク目標値を表す電動機械目標トルク及び電動機械回転速度に対応させて、所定の直流電圧における電流指令値がベクトルで表された電流指令値マップと、該電流指令値マップを参照し、前記電動機械目標トルク及び電動機械回転速度に基づいて電流指令値を算出する指令値算出処理手段と、前記電流指令値に基づいて出力信号を算出する出力信号算出処理手段と、前記出力信号に基づいて電流を発生させ、該電流を電動機械に供給する電流発生装置と、前記電動機械の駆動に伴って電圧飽和が発生する度合いに対応して変化する電圧飽和変量を前記電流指令値に基づいて算出する電圧飽和変量算出処理手段と、前記電圧飽和変量に対応させて前記電動機械回転速度を補正する制御変量補正処理手段とを有する。

10

【0012】

そして、前記電流指令値マップにおいて、電圧制限楕円内における電動機械目標トルクの等トルク曲線にあり、かつ、最小になる電流指令値が記録され、前記指令値算出処理手段は、電動機械目標トルク及び補正された電動機械回転速度に基づいて前記電流指令値を算出する。

20

【0026】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【0027】

この場合、車両、例えば、電動車両としての電気自動車について説明するが、本発明をハイブリッド型車両に適用することもできる。

【0028】

図1は本発明の第1の実施の形態における電動駆動制御装置の機能ブロック図である。

30

【0029】

図において、31は電動機械としての駆動モータ、91は該駆動モータ31のトルクとしての駆動モータトルク T_M の目標値を表す駆動モータ目標トルク T_M^* 及び電動機械回転速度としての駆動モータ回転速度 N_M に基づいて指令値を算出する指令値算出処理手段、68は前記指令値に基づいて出力信号を算出する出力信号算出処理手段としてのPWM発生器、40は前記出力信号に基づいて電流を発生させ、該電流を駆動モータ31に供給する電流発生装置としてのインバータ、92は前記駆動モータ31の駆動に伴って電圧飽和が発生する度合いに対応して変化する電圧飽和変量を前記指令値に基づいて算出する電圧飽和変量算出処理手段、93は前記電圧飽和変量に対応させて制御変量を補正する制御変量補正処理手段である。

40

【0030】

次に、電気自動車に搭載された電動駆動制御装置について説明する。

【0031】

図2は本発明の第1の実施の形態における電動駆動制御装置の概略図、図3は本発明の第1の実施の形態における電動駆動制御装置のブロック図、図4は本発明の第1の実施の形態における電圧飽和回避処理部のブロック図、図5は本発明の第1の実施の形態における電動駆動制御装置の動作を示すメインフローチャート、図6は本発明の第1の実施の形態における位置検出処理のサブルーチンを示す図、図7は本発明の第1の実施の形態における駆動モータ制御処理手段のサブルーチンを示す図、図8は本発明の第1の実施の形態における電圧制限楕円を示す図、図9は本発明の第1の実施の形態における電動駆動制御装

50

置の動作を示す図である。

【0032】

図において、31は電動機械としての駆動モータであり、該駆動モータ31としてDCブラシレス駆動モータが使用され、例えば、駆動モータ31は電動車両の駆動軸等に取り付けられる。前記駆動モータ31は、回転自在に配設された図示されないロータ、及び該ロータより径方向外方に配設されたステータを備える。前記ロータは、ロータコア、及び該ロータコアの円周方向における複数箇所に配設された永久磁石を備え、該永久磁石のS極及びN極によって磁極対が構成される。また、前記ステータは、円周方向における複数箇所に、径方向内方に向けて突出させてティースが形成された図示されないステータコア、並びに前記ティースに巻装されたU相、V相及びW相のコイルとしてのステータコイル11～13を備える。

10

【0033】

前記ロータの出力軸に、磁極位置を検出するための磁極位置検出部としてパルス発生型の磁極位置センサ21が配設され、該磁極位置センサ21は、センサ出力として磁極位置信号SGを発生させ、電動機械制御装置としての駆動モータ制御装置45に送る。

【0034】

そして、前記駆動モータ31を駆動して電動車両を走行させるために、バッテリー14からの直流の電流が電流発生装置としてのインバータ40によって相電流、すなわち、U相、V相及びW相の電流 I_u 、 I_v 、 I_w に変換され、各相の電流 I_u 、 I_v 、 I_w はそれぞれ各ステータコイル11～13に供給される。

20

【0035】

そのために、前記インバータ40は、6個のスイッチング素子としてのトランジスタ T_{r1} ～ T_{r6} を備え、各トランジスタ T_{r1} ～ T_{r6} を選択的にオン・オフさせることによって、前記各相の電流 I_u 、 I_v 、 I_w を発生させることができるようになっている。

【0036】

本実施の形態においては、電流発生装置としてインバータ40を使用するようになっているが、該インバータ40として、2～6個のスイッチング素子を一つのパッケージに組み込むことによって形成されたIGBT等のパワーモジュールを使用したり、IGBTにドライブ回路等を組み込むことによって形成されたIPMを使用したりすることができる。

【0037】

前記バッテリー14からインバータ40に電流を供給する際の入口側に電圧検出部としての電圧センサ15が配設され、該電圧センサ15は、インバータ40の入口側の直流電圧 V_{dc} を検出し、駆動モータ制御装置45に送る。なお、直流電圧 V_{dc} としてバッテリー電圧を使用することもでき、その場合、前記バッテリー14に電圧検出部としてバッテリー電圧センサが配設される。

30

【0038】

なお、前記駆動モータ31、インバータ40、図示されない駆動輪等によって電動駆動装置が構成される。また、17はコンデンサである。

【0039】

ところで、前記ステータコイルはスター結線されているので、各相のうちの二つの相の電流の値が決まると、残りの一つの相の電流の値も決まる。したがって、各相の電流 I_u 、 I_v 、 I_w を制御するために、例えば、U相及びV相のステータコイルのリード線にU相及びV相の電流 I_u 、 I_v を検出電流 i_u 、 i_v として検出する電流検出部としての電流センサ33、34が配設され、該電流センサ33、34は、検出電流 i_u 、 i_v を駆動モータ制御装置45に送る。

40

【0040】

前記駆動モータ制御装置45には、コンピュータとして機能する図示されないCPUのほかに、データを記録したり、各種のプログラムを記録したりするためのRAM、ROM等の図示されない記録装置が配設され、前記ROMに電流指令値マップが設定される。

【0041】

50

そして、前記ROMには、各種のプログラム、データ等が記録されるようになっているが、プログラム、データ等を同じ外部の記録媒体に記録することもできる。その場合、例えば、前記駆動モータ制御装置45にフラッシュメモリを配設し、前記外部の記録媒体から前記プログラム、データ等を読み出してフラッシュメモリに記録する。したがって、外部の記録媒体を交換することによって、前記プログラム、データ等を更新することができる。

【0042】

また、22はアクセル操作部としてのアクセルペダル23に隣接させて配設されたアクセルセンサであり、該アクセルセンサ22によってアクセルペダル23の操作量(踏込量)を表すアクセル開度 が検出される。

10

【0043】

次に、前記駆動モータ制御装置45の動作について説明する。

【0044】

まず、前記駆動モータ制御装置45の図示されない位置検出処理手段は、位置検出処理を行い、前記磁極位置センサ21から送られた磁極位置信号SGを読み込み、該磁極位置信号SGに基づいて磁極位置 を検出する。そのために、前記位置検出処理手段の図示されない回転速度算出処理手段は、回転速度算出処理を行い、前記磁極位置信号SGに発生させられたパルス間の平均速度を駆動モータ31の電気角速度 として算出し、前記位置検出処理手段の図示されない磁極位置算出処理手段は、磁極位置算出処理を行い、前記電気角速度 に従って磁極位置 を算出する。なお、前記回転速度算出処理手段は、前記電気角速度 に基づいて駆動モータ回転速度NM

20

$$NM = 60 \cdot \quad / 2$$

も算出する。なお、駆動モータ回転速度NMによって電動機械回転速度が構成される。

【0045】

続いて、前記位置検出処理手段の図示されない磁極位置補正処理手段は、磁極位置補正処理を行い、駆動モータ31の駆動に伴って電圧飽和が発生する度合いに対応して変化する電圧飽和変量 を読み込み、該電圧飽和変量 に基づいて磁極位置 を補正する。

【0046】

次に、前記駆動モータ制御装置45の図示されない駆動モータ制御処理手段は、駆動モータ制御処理を行い、検出電流 i_u 、 i_v 、 i_w 、磁極位置 、直流電圧Vdc等に基づいて駆動モータ31を駆動する。

30

【0047】

そのために、前記駆動モータ制御処理手段の図示されない電流指令値算出処理手段としてのトルク指令・電流指令変換部は、電流指令値算出処理を行い、d軸電流 i_d 及びq軸電流 i_q の目標値を表すd軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* を算出する。そのために、駆動モータ制御装置45の図示されない車速検出処理手段は、車速検出処理を行い、前記駆動モータ回転速度NMに対応する車速Vを検出し、検出された車速Vを、電気自動車の全体の制御を行う図示されない車両制御装置に送る。そして、該車両制御装置の図示されない車両用指令値算出処理手段は、車両用指令値算出処理を行い、前記車速V及びアクセル開度 を読み込み、車速V及びアクセル開度 に基づいて車両要求トルク T_O^* を算出し、該車両要求トルク T_O^* に対応させて駆動モータトルク T_M の目標値を表す駆動モータ目標トルク(トルク指令値) T_M^* を発生させ、前記駆動モータ制御装置45に送る。

40

【0048】

ところで、前記駆動モータ制御装置45においては、ロータにおける磁極対の方向にd軸を、該d軸と直角の方向にq軸をそれぞれ採ったd-q軸モデル上でベクトル制御演算によるフィードバック制御が行われるようになっている。なお、駆動モータトルク T_M によって電動機械トルクが、駆動モータ目標トルク T_M^* によって電動機械目標トルクが構成される。

【0049】

50

そこで、前記トルク指令・電流指令変換部は、前記直流電圧 V_{dc} 、電気角速度及び駆動モータ目標トルク T_M^* を読み込み、前記電流指令値マップを参照して、前記駆動モータ目標トルク T_M^* に対応するd軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* を電流指令値として算出する。また、電流指令値算出処理手段によって第1の指令値算出処理手段が構成され、電流指令値算出処理によって第1の指令値算出処理が構成され、d軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* によって第1の指令値が構成される。

【0050】

次に、前記駆動モータ制御処理手段の図示されない検出電流取得処理手段は、検出電流取得処理を行い、前記検出電流 i_u 、 i_v を読み込んで取得するとともに、検出電流取得処理手段の演算器35は、前記検出電流 i_u 、 i_v に基づいて検出電流 i_w

$$i_w = -i_u - i_v$$

を算出することによって取得する。

【0051】

続いて、前記駆動モータ制御処理手段の第1の変換処理手段としての三相二相変換部61は、第1の変換処理としての三相/二相変換を行い、前記磁極位置補正処理によって補正された後の磁極位置を読み込み、検出電流 i_u 、 i_v 、 i_w をそれぞれd軸電流 i_d 及びq軸電流 i_q に変換する。

【0052】

このようにして、d軸電流 i_d 及びq軸電流 i_q が実電流として算出され、d軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* が算出されると、前記d軸電流及びq軸電流、並びにd軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* に基づいてフィードバック制御が行われる。

【0053】

ところで、例えば、運転者がアクセルペダル23を踏み込んで車両を急発進させようとした場合には、d軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* が急激に変動することがあるが、前記検出電流 i_u 、 i_v 、 i_w のサンプリング周期が長いと、フィードバック制御を行うに当たりゲインを大きくすることができない。そこで、検出電流 i_u 、 i_v 、 i_w がサンプリングされた後のd軸電流 i_d 及びq軸電流 i_q 、本実施の形態においては、一つのサンプリングタイミングだけ後のd軸電流 i_d 及びq軸電流 i_q を予測し、予測されたd軸電流 i_{dp} 及びq軸電流 i_{qp} 、並びにd軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* に基づいて比例積分制御を行い、実質的にサンプリング周期を短くするようにしている。

【0054】

また、d軸電流 i_d 及びq軸電流 i_q を予測するに当たり、例えば、各ステータコイルに供給される電流 I_u 、 I_v 、 I_w が変化して各ステータコイルのインダクタンス L_a が変化すると、それに伴って、予測されたd軸電流 i_{dp} 及びq軸電流 i_{qp} に予測電流誤差が発生することがあり、その場合、フィードバック制御によってd軸電流偏差 i_d 及びq軸電流偏差 i_q を零に近づけるのが困難になり、d軸電流 i_d 及びq軸電流 i_q とd軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* との間に定常偏差が発生してしまう。

【0055】

そこで、本実施の形態においては、予測されたd軸電流 i_{dp} 及びq軸電流 i_{qp} に基づいて比例制御を行い、実際のd軸電流 i_d 及びq軸電流 i_q に基づいて積分制御を行うようにしている。

【0056】

そのために、d軸電流 i_d は、一方で、駆動モータ制御処理手段の図示されない電流予測処理手段としての電流予測部71に送られ、該電流予測部71において電流予測処理が行われ、所定の数、本実施の形態においては、一つのサンプリングタイミングだけ後のd軸電流 i_d が算出されて予測され、予測されたd軸電流 i_{dp} が予測電流として、前記駆動モータ制御処理手段の図示されない予測偏差算出処理手段としての減算器81に送られる。また、前記d軸電流 i_d は、他方で、そのまま、実電流として、前記駆動モータ制御処

10

20

30

40

50

理手段の図示されない実偏差算出処理手段としての減算器 8 2 に送られる。

【 0 0 5 7 】

前記電流予測部 7 1 は、乗算器 (R a) d 1、減算器 d 2、乗算器 (T / L d) d 3 及び加算器 d 4 を備え、現在のサンプリングタイミングを n - 1 とし、一つ後のサンプリングタイミングを n し、現在の d 軸電流 i d を i d (n - 1) とし、サンプリング周期を T とし、ステータコイルの d 軸上のインダクタンスを L d とし、ステータコイルの抵抗を R a とし、現在の電圧降下 V z d の値を V z d (n - 1) としたとき、予測された d 軸電流 i d p の値 i d (n) は、

$$i d (n) = i d (n - 1) + (T / L d) \{ V z d (n - 1) - R a \cdot i d (n - 1) \}$$

10

になる。

【 0 0 5 8 】

そして、前記減算器 8 1 は、予測偏差算出処理を行い、d 軸電流 i d p と前記 d 軸電流指令値 i d * との予測偏差としての d 軸電流偏差 i d p を算出し、前記減算器 8 2 は、実偏差算出処理を行い、d 軸電流 i d と前記 d 軸電流指令値 i d * との実偏差としての d 軸電流偏差 i d を算出し、d 軸電流偏差 i d p、i d を、前記駆動モータ制御処理手段の図示されない電圧指令値算出処理手段としての電圧指令値算出部 7 8 に送る。

【 0 0 5 9 】

同様に、q 軸電流 i q は、一方で、前記電流予測処理手段としての電流予測部 7 2 に送られ、該電流予測部 7 2 において電流予測処理が行われ、所定の数、本実施の形態においては、一つのサンプリングタイミングだけ後の q 軸電流 i q が算出されて予測され、予測された q 軸電流 i q p が予測電流として、前記駆動モータ制御処理手段の図示されない予測偏差算出処理手段としての減算器 8 6 に送られる。また、前記 q 軸電流 i q は、他方で、そのまま、実電流として、前記駆動モータ制御処理手段の図示されない実偏差算出処理手段としての減算器 8 7 に送られる。

20

【 0 0 6 0 】

前記電流予測部 7 2 は、乗算器 (R a) q 1、減算器 q 2、乗算器 (T / L q) q 3 及び加算器 q 4 を備え、現在のサンプリングタイミングを n - 1 とし、一つ後のサンプリングタイミングを n し、現在の q 軸電流 i q を i q (n - 1) とし、ステータコイルの q 軸上のインダクタンスを L q とし、ステータコイルの抵抗を R a とし、現在の電圧降下 V z q の値を V z q (n - 1) としたとき、予測された q 軸電流 i q p の値 i q (n) は、

$$i q (n) = i q (n - 1) + (T / L q) \{ V z q (n - 1) - R a \cdot i q (n - 1) \}$$

30

になる。

【 0 0 6 1 】

そして、前記減算器 8 6 は、予測偏差算出処理を行い、q 軸電流 i q p と前記 q 軸電流指令値 i q * との予測偏差としての q 軸電流偏差 i q p を算出し、前記減算器 8 7 は、実偏差算出処理を行い、q 軸電流 i q と前記 q 軸電流指令値 i q * との実偏差としての q 軸電流偏差 i q を算出し、q 軸電流偏差 i q p、i q を、前記駆動モータ制御処理手段の図示されない電圧指令値算出処理手段としての電圧指令値算出部 7 9 に送る。

40

【 0 0 6 2 】

続いて、前記駆動モータ制御処理手段の図示されない比例積分演算処理手段としての電圧指令値算出部 7 8、7 9 は、比例積分 (P I) 演算処理を行、前記電圧指令値算出部 7 8 は、電圧指令値算出処理を行い、前記 d 軸電流偏差 i d p、i d が零になるように電圧指令値としての d 軸電圧指令値 v d * を算出し、前記電圧指令値算出部 7 9 は、電圧指令値算出処理を行い、q 軸電流偏差 i q p、i q が零になるように電圧指令値としての q 軸電圧指令値 v q * を算出する。

【 0 0 6 3 】

そのために、電圧指令値算出部 7 8 は、比例演算処理手段としての比例演算部 8 3、積分演算処理手段としての積分演算部 8 4、電圧降下算出処理手段としての加算器 8 5、及び

50

電圧算出処理手段としての減算器 74 を備える。そして、前記比例演算部 83 において、リミッタ d11 及びゲイン乗算器 (Gpd) d12 によって比例演算処理が行われ、d 軸電流偏差 i_{dp} 及び比例演算用のゲイン Gpd に基づいて比例項分の電圧指令値を表す電圧降下 V_{zdp}

$$V_{zdp} = G_{pd} \cdot i_{dp}$$

が比例演算値として算出され、前記積分演算部 84 において、積分器 (1/s) d13、リミッタ d14 及びゲイン乗算器 (Gid) d15 によって積分演算処理が行われ、d 軸電流偏差 i_d 及び積分演算用のゲイン Gid に基づいて積分項分の電圧指令値を表す電圧降下 V_{zdi}

$$V_{zdi} = G_{id} \cdot i_d$$

が積分演算値として算出され、前記加算器 85 において電圧降下算出処理が行われ、電圧降下 V_{zdp} 、 V_{zdi} が加算されて、電圧降下 V_{zd}

$$\begin{aligned} V_{zd} &= V_{zdp} + V_{zdi} \\ &= G_{pd} \cdot \Delta i_{dp} + G_{id} \cdot \Sigma \Delta i_d \end{aligned}$$

が算出される。なお、前記リミッタ d11 は d 軸電流偏差 i_{dp} が、前記リミッタ d14 は積分値 i_d が発散しないように制限する。

【0064】

また、前記駆動モータ制御処理手段の図示されない誘起電圧算出処理手段は、誘起電圧算出処理を行い、電気角速度 ω 及び q 軸電流 i_{qp} を読み込み、乗算器 (Lq) q16 及び乗算器 () q17 によって、前記電気角速度 ω 、q 軸電流 i_{qp} 及び q 軸上のインダクタンス L_q に基づいて、q 軸電流 i_q によって誘起される誘起電圧 e_d

$$e_d = \omega \cdot L_q \cdot i_q$$

を算出する。

【0065】

続いて、前記減算器 74 は、加算器 85 から送られた電圧降下 V_{zd} から誘起電圧 e_d を減算し、出力電圧としての d 軸電圧指令値 v_d^*

$$\begin{aligned} v_d^* &= V_{zd} - e_d \\ &= V_{zd} - \omega \cdot L_q \cdot i_q \end{aligned}$$

を算出する。このようにして、d 軸電流偏差 i_{dp} 、 i_d が零になるように、d 軸電圧指令値 v_d^* が発生させられ、該 d 軸電圧指令値 v_d^* が、リミッタ d19 を介して前記駆動モータ制御装置 45 の第 2 の変換処理手段としての二相三相変換部 67 に送られる。なお、前記リミッタ d19 は、d 軸電圧指令値 v_d^* が発散しないように制限される。

【0066】

一方、前記電圧指令値算出部 79 は、比例演算処理手段としての比例演算部 88、積分演算処理手段としての積分演算部 89、電圧降下算出処理手段としての加算器 90、及び電圧算出処理手段としての加算器 76 を備える。そして、前記比例演算部 88 において、リミッタ q11 及びゲイン乗算器 (Gpq) q12 によって比例演算処理が行われ、q 軸電流偏差 i_{qp} 及び比例演算用のゲイン Gpq に基づいて比例項分の電圧指令値を表す電圧降下 V_{zqp}

$$V_{zqp} = G_{pq} \cdot i_{qp}$$

が比例演算値として算出され、前記積分演算部 89 において、積分器 (1/s) q13、リミッタ q14 及びゲイン乗算器 (Giq) q15 によって積分演算処理が行われ、q 軸電流偏差 i_q 及び積分演算用のゲイン Giq に基づいて積分項分の電圧指令値を表す電圧降下 V_{zqi}

$$V_{zqi} = G_{iq} \cdot i_q$$

が積分演算値として算出され、前記加算器 90 において電圧降下算出処理が行われ、電圧降下 V_{zqp} 、 V_{zqi} が加算されて、電圧降下 V_{zq}

10

20

30

40

$$\begin{aligned} V_{zq} &= V_{zqp} + V_{zqi} \\ &= G_{pq} \cdot \Delta i_{qp} + G_{iq} \cdot \Sigma \Delta i_q \end{aligned}$$

が算出される。なお、前記リミッタ q 1 1 は q 軸電流偏差 i_{dq} が、前記リミッタ q 1 4 は積分値 i_q が発散しないように制限される。

【0067】

また、前記駆動モータ制御処理手段の図示されない誘起電圧算出処理手段は、誘起電圧算出処理を行い、電気角速度 ω 及び d 軸電流 i_d を読み込み、乗算器 (Ld) d 1 6、加算器 d 1 7 及び乗算器 () d 1 8 によって、前記電気角速度 ω 、逆起電圧定数 M I f、d 軸電流 i_{dp} 及び d 軸上のインダクタンス L d に基づいて、d 軸電流 i_d によって誘起さ

10

$$e_q = (\text{M I f} + L_d \cdot i_d)$$

を算出する。

【0068】

続いて、前記加算器 7 6 は、加算器 9 0 から送られた電圧降下 V_{zq} に誘起電圧 e_q を加算し、出力電圧としての q 軸電圧指令値 v_q^*

$$\begin{aligned} v_q^* &= V_{zq} + e_q \\ &= V_{zq} + \omega (\text{M I f} + L_d \cdot i_d) \end{aligned}$$

を算出する。このようにして、q 軸電流偏差 i_{qp} 、 i_q が零になるように、q 軸電圧指令値 v_q^* が発生させられ、該 q 軸電圧指令値 v_q^* がリミッタ q 1 9 を介して前記二相三相変換部 6 7 に送られる。なお、前記リミッタ q 1 9 は、q 軸電圧指令値 v_q^* が発散しないように制限される。

20

【0069】

前記電圧指令値算出処理手段によって第 2 の指令値算出処理手段が構成され、電圧指令値算出処理によって第 2 の指令値算出処理が構成され、d 軸電圧指令値 v_d^* 及び q 軸電圧指令値 v_q^* が構成される。また、第 1、第 2 の指令値算出処理手段によって指令値算出処理手段 9 1 が構成される。

【0070】

続いて、該二相三相変換部 6 7 は、前記 d 軸電圧指令値 v_d^* 、q 軸電圧指令値 v_q^* 及び磁極位置 θ を読み込み、第 2 の変換処理としての二相 / 三相変換を行い、d 軸電圧指令値 v_d^* 及び q 軸電圧指令値 v_q^* を U 相、V 相及び W 相の電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に変換し、該電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を、駆動モータ制御装置 4 5 の出力信号算出処理手段としての PWM 発生器 6 8 に送る。

30

【0071】

該 PWM 発生器 6 8 は、出力信号算出処理を行い、前記各相の電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 及び前記直流電圧 V_{dc} に基づいて、前記 d 軸電流指令値 i_d^* 及び q 軸電流指令値 i_q^* に対応するパルス幅を有する各相のパルス幅変調信号 M_u 、 M_v 、 M_w を出力信号として発生させ、駆動モータ制御装置 4 5 外に配設されたドライブ回路 5 1 に送る。

【0072】

該ドライブ回路 5 1 は、前記各相のパルス幅変調信号 M_u 、 M_v 、 M_w を受けて 6 個のゲート信号を発生させ、該ゲート信号をインバータ 4 0 に送る。該インバータ 4 0 は、前記パルス幅変調信号 M_u 、 M_v 、 M_w に基づいて、トランジスタ $Tr_1 \sim Tr_6$ をスイッチングして各相の電流 I_u 、 I_v 、 I_w を発生させ、該各相の電流 I_u 、 I_v 、 I_w を前記駆動モータ 3 1 の各ステータコイルに供給する。

40

【0073】

このように、駆動モータ目標トルク T_M^* に基づいてトルク制御が行われ、駆動モータ 3 1 が駆動されて電動車両が走行させられる。

【0074】

ところで、駆動モータ 3 1 において、各ステータコイルに各相の電流 I_u 、 I_v 、 I_w を

50

所定の振幅及び位相で供給する場合、抵抗 R_a 、インダクタンス L_d 、 L_q 、逆起電圧等を考慮してインバータ 40 のトランジスタ $Tr_1 \sim Tr_6$ をスイッチングし、各ステータコイルに所定の電圧 V_u 、 V_v 、 V_w を印加する必要がある。ところが、電気角速度が大きくなり、駆動モータ回転速度 NM が高くなるのに伴って、逆起電圧が高くなると、あるバッテリー電圧 V_B (又は直流電圧 V_{dc}) では、前記各ステータコイルに前記所定の電圧 V_u 、 V_v 、 V_w を印加することができなくなり、駆動モータ 31 が、図 8 に示される d 軸及び q 軸から成る回転座標系において、電圧制限楕円で表される出力限界に達してしまう。そして、駆動モータ 31 が出力限界に達すると、前記比例積分処理手段による比例積分処理が発散してしまう。

【0075】

10

ここで、前記パルス幅変調信号 M_u 、 M_v 、 M_w が、パルス幅で表されるオン時間が最大になるフルオン状態になるときの指令電圧を V_{lim} としたとき、

$$V_{lim}^2 = (v_{dlim}^2 + v_{qlim}^2) \dots\dots (1) \text{ になる。}$$

そして、定常状態における d 軸電圧指令値 v_{dlim} 及び q 軸電圧指令値 v_{qlim} は、

$$v_{dlim} = R_a \cdot i_{dlim} - \omega \cdot L_q \cdot i_{qlim} \dots\dots (2)$$

$$v_{qlim} = R_a \cdot i_{qlim} + (\omega M_{If} + L_d \cdot i_{dlim}) \dots\dots (3)$$

になる。

【0076】

したがって、前記電圧制限楕円は、前記式 (1) に式 (2)、(3) を代入して抵抗 R_a が小さいと仮定すると次の式 (4) で表すことができ、電圧制限楕円の中心の座標は $O(-M_{If}/L_d, 0)$ となり、長径 r_1 は、

20

$$r_1 = V_{lim} / (\omega \cdot L_d)$$

となり、

短径 r_2 は、

$$r_2 = V_{lim} / (\omega \cdot L_q)$$

になる。

【0077】

【数1】

$$\frac{(i_{dlim} + M_{If}/L_d)^2}{(V_{lim}/\omega \cdot L_d)^2} + \frac{i_{qlim}^2}{(V_{lim}/\omega \cdot L_q)^2} = 1 \dots\dots (4)$$

30

【0078】

ところで、前述されたように、駆動モータ 31 の出力限界は前記電圧制限楕円で表されるので、前記電圧制限楕円より外の d 軸電流指令値 i_{d^*} 及び q 軸電流指令値 i_{q^*} を採ることができない。そして、前記電圧制限楕円の中心で表される d 軸電流指令値 i_{d^*} 及び q 軸電流指令値 i_{q^*}

$$i_{d^*} = M_{If} / L_d$$

$$i_{q^*} = 0$$

が、電圧飽和に対して最も安全な値になり、前記電圧制限楕円に近い点で表される d 軸電流指令値 i_{d^*} 及び q 軸電流指令値 i_{q^*} ほど電圧飽和によって制御の発散が発生しやすい。したがって、電圧飽和変量 V_{om} を、指令電圧 V_{om} の大きさ、又は前記パルス幅変調信号 M_u 、 M_v 、 M_w のオン時間によって表すことができる。

40

【0079】

ところで、前記電流センサ 33、34、磁極位置センサ 21、電圧センサ 15 等の各センサに検出誤差があったり、温度変化に伴って、逆起電圧定数 M_{If} 、インダクタンス L_d 、 L_q 、抵抗 R_a 等の機器定数が変化したりしたときに、実現不可能な d 軸電流指令値 i_{d^*} 及び q 軸電流指令値 i_{q^*} が設定されると、電圧飽和が発生し、駆動モータ目標トルク T_M^* と実際に発生させられる駆動モータトルク T_M との間はずれが生じて、走行に伴って運転者に違和感を感じさせたり、駆動モータ 31 の駆動が困難になったりしてしまう

50

。

【0080】

例えば、d軸及びq軸から成る回転座標系においては、図9に示されるように、電流指令値をベクトル長さE及び電流位相から成るベクトルBで表すことができ、d軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* は、

$$i_d^* = -B \cdot \sin$$

$$i_q^* = B \cdot \cos$$

になる。この場合、前記磁極位置センサ21によって検出された磁極位置に誤差eが生じると、d'軸及びq'軸から成る回転座標系が形成され、ステータコイルが電流位相-eで通電され、誤差eだけ回転させられたベクトルBmで表される電流指令値が発生させられてしまう。その結果、ベクトルBmが電圧制限楕円の外に出てしまい、電圧飽和を発生させてしまう。

10

【0081】

そこで、電圧飽和が発生するのを防止するために、駆動モータ制御装置45に電圧飽和回避処理部25、及び加算器95が配設される。そして、前記電圧飽和回避処理部25は、電圧飽和変量算出処理手段92としての電圧飽和変量算出部43、及び磁極位置補正量算出処理手段としての磁極位置補正量算出部44を備え、前記電圧飽和変量算出部43は、電圧飽和変量算出処理を行い、ノイズの影響を受けない変量、本実施の形態においては、d軸電流指令値 i_d^* 、q軸電流指令値 i_q^* 及び電圧降下 V_{zd} 、 V_{zq} に基づいて電圧飽和変量を算出し、前記磁極位置補正量算出部44は、磁極位置補正量算出処理を行い、前記電圧飽和変量に基づいて比例積分演算を行い、磁極位置を補正するための磁極位置補正量dを算出する。また、前記加算器95は、磁極位置に磁極位置補正量dを加算することによって磁極位置を補正し、補正された磁極位置を算出する。

20

【0082】

そのために、電圧飽和変量算出部43において、乗算器(Lq)q21、乗算器()q22によって、q軸電流指令値 i_q^* に基づいて、非干渉項分の電圧指令値 $L_q \cdot i_q^*$ が算出され、加算器q23によって、前記非干渉項分の電圧指令値 $L_q \cdot i_q^*$ と積分項分の電圧指令値を表す電圧降下 V_{zd} とが加算されてd軸電圧指令値 v_{df}^* が算出される。また、乗算器(Ld)d21、加算器d22、乗算器()d23によって、d軸電流指令値 i_d^* に基づいて、非干渉項分の電圧指令値 $(MIf + Ld \cdot i_d^*)$ が算出され、加算器d24によって、前記非干渉項分の電圧指令値 $(MIf + Ld \cdot i_d^*)$ と積分項分の電圧指令値を表す電圧降下 V_{zq} とが加算されてq軸電圧指令値 v_{qf}^* が算出される。

30

【0083】

なお、d軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* は、電気角速度に基づいて算出されるが、電気角速度は算出処理上、磁極位置の誤差を含まないので、本来ノイズの影響を受けない。また、電圧降下 V_{zd} 、 V_{zq} は、積分演算部84、89による積分演算処理が行われて算出されたものであるため、ノイズの影響を無視することができる。したがって、d軸電圧指令値 v_{df}^* 及びq軸電圧指令値 v_{qf}^* はノイズの影響を受けない。また、d軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* に基づいてd軸電圧指令値 v_{df}^* 及びq軸電圧指令値 v_{qf}^* を算出するようになっているので電圧飽和が発生するのを早く検出することができる。

40

【0084】

なお、比例項分の電圧指令値を表す電圧降下 V_{zdp} 、 V_{zqp} は、定常状態においてほぼ零であるので、d軸電圧指令値 v_{df}^* 及びq軸電圧指令値 v_{qf}^* を算出する上で無視される。

【0085】

続いて、乗算器d24(x)によって前記d軸電圧指令値 v_{df}^* が、乗算器q25によって前記q軸電圧指令値 v_{qf}^* が二乗され、加算器f1によって値 v_{df}^{*2} と値 v_{qf}^{*2} とが加算されて指令電圧 V_{om}

50

$$V_{om} = (v_{df}^2 + v_{qf}^2)$$

が算出される。そして、駆動モータ制御装置45の図示されない許容電圧算出処理手段は、許容電圧算出処理を行い、直流電圧 V_{dc} を読み込み、該直流電圧 V_{dc} に基づいて電圧飽和が発生しない許容電圧を算出する。前記電圧飽和変量算出部43は、許容電圧を読み込み、該許容電圧を前記指令電圧 V_{om} の目標値を表す指令電圧制限値 V_{om}^*

$$V_{om}^* = ((2/3)V_{dc})$$

として設定し、減算器f2によって、指令電圧 V_{om} と指令電圧制限値 V_{om}^* との偏差 V_{om}

$$V_{om} = V_{om} - V_{om}^*$$

を算出する。また、電圧飽和変量算出部43は、電圧飽和変量

$$= V_{om}$$

を算出する。なお、指令電圧制限値 V_{om}^* を理論値としているが、実際には、実験によって求められ、電流制御が安定する指令電圧 V_{om} の上限値を使用するのが好ましい。

【0086】

このようにして、電圧飽和変量が算出されると、磁極位置補正量算出部44において、前記偏差 V_{om} に基づいて、ゲイン乗算器(Gp)h1によって比例成分 $G_p \cdot V_{om}$ が算出され、リミッタh2によって比例成分 $G_p \cdot V_{om}$ が制限され、零以下の値を採ると零にされる。また、積分器(1/s)h3によって偏差 V_{om} が積分され、積分値 V_{om} が算出され、ゲイン乗算器(Gi)h4によって積分成分 $G_i \cdot V_{om}$ が算出され、リミッタh5によって積分成分 $G_i \cdot V_{om}$ が制限され、零以下の値を採るとクリアされる。

【0087】

続いて、加算器h6によって比例成分 $G_p \cdot V_{om}$ と積分成分 $G_i \cdot V_{om}$ とが加算され、磁極位置補正量d

$$d = G_p \cdot V_{om} + G_i \cdot V_{om}$$

が算出される。

【0088】

このようにして、磁極位置補正量dが算出されると、該磁極位置補正量dは、磁極位置を正方向及び逆方向のうちのいずれの方向に補正するかを決定するために、回転方向決定処理手段としての回転方向決定部98に送られる。該回転方向決定部98は、駆動モータ31が駆動モータトルク T_M を発生させる力行状態にあるか、外部からトルクを受ける回生状態にあるかを判断し、駆動モータ31が力行状態にある場合、磁極位置が逆方向に補正されるように磁極位置補正量dを決定し、駆動モータ31が回生状態にある場合、磁極位置が正方向に補正されるように磁極位置補正量dを決定する。

【0089】

続いて、前記加算器95は、磁極位置に磁極位置補正量dを加算し、磁極位置を補正して磁極位置を算出する。なお、前記磁極位置補正量算出部44及び加算器95によって磁極位置補正処理手段が構成される。また、該磁極位置補正処理手段によって制御変量補正処理手段が構成され、磁極位置補正処理によって制御変量補正処理93が構成され、磁極位置によって制御変量が構成される。

【0090】

このように、電圧飽和変量が算出され、偏差 V_{om} に対応させて磁極位置が電圧飽和に対して安全側に補正されるので、磁極位置センサ21として磁極位置に発生する誤差eが大きいセンサを使用しても、電圧飽和が発生するのを防止することができる。したがって、電気自動車の走行に伴って運転者に違和感を感じさせたり、電圧飽和が発生して駆動モータ31の駆動が困難になったりすることがない。

【0091】

また、非干渉項分の電圧指令値 $L_q \cdot i_{q}^*$ 、 $(M I f + L_d \cdot i_{d}^*)$ 、及び積分項分の電圧指令値を表す電圧降下 $V_{zd i}$ 、 $V_{z q i}$ に基づいて電圧飽和変量が算出されるので、ノイズの影響を受けることなく、電圧飽和が発生するのを確実に防止するこ

10

20

30

40

50

とができる。

【0092】

次に、図5のフローチャートについて説明する。

ステップS1 位置検出処理を行う。

ステップS2 駆動モータ制御処理を行い、処理を終了する。

【0093】

次に、図6のフローチャートについて説明する。

ステップS1-1 駆動モータ回転速度算出処理を行う。

ステップS1-2 磁極位置算出処理を行う。

ステップS1-3 磁極位置補正処理を行い、リターンする。

10

【0094】

次に、図7のフローチャートについて説明する。

ステップS2-1 電流指令値算出処理を行う。

ステップS2-2 検出電流取得処理を行う。

ステップS2-3 三相二相変換処理を行う。

ステップS2-4 比例積分演算処理を行う。

ステップS2-5 二相三相変換処理を行う。

ステップS2-6 出力信号算出処理を行う。

ステップS2-7 電圧飽和変量算出処理を行い、リターンする。

【0095】

20

次に、電圧飽和変量 を、指令電圧 V_{om} の大きさ、又は前記パルス幅変調信号 M_u 、 M_v 、 M_w のオン時間によって表すようにした本発明の第2の実施の形態について説明する。

【0096】

図10は本発明の第2の実施の形態における電動駆動制御装置のブロック図、図11は本発明の第2の実施の形態における電圧飽和回避処理部のブロック図、図12は本発明の第2の実施の形態における位置検出処理のサブルーチンを示す図、図13は本発明の第2の実施の形態における電動駆動制御装置の動作を示す図、図14は本発明の第2の実施の形態における電流指令値マップを示す図、図15は本発明の第2の実施の形態における電流位相指令値マップを示す図、図16は本発明の第2の実施の形態における電流指令値を

30

【0097】

本実施の形態においては、駆動モータ制御処理の動作については、第1の実施の形態と同じであるので、駆動モータ制御処理の動作については説明を省略し、位置検出処理の動作についてだけ説明する。

【0098】

この場合、駆動モータ制御装置45(図2)の図示されない位置検出処理手段は、位置検出処理を行い、磁極位置検出部としての磁極位置センサ21から送られたセンサ出力としての磁極位置信号 S_G を読み込み、該磁極位置信号 S_G に基づいて磁極位置 を検出する。そのために、前記位置検出処理手段の図示されない回転速度算出処理手段は、回転速度算出処理を行い、前記磁極位置信号 S_G に発生させられたパルス間の平均速度を電動機械としての駆動モータ31の電気角速度 として算出し、前記位置検出処理手段の図示されない回転速度補正処理手段は、回転速度補正処理を行い、電圧飽和変量 を読み込み、該電圧飽和変量 に基づいて電気角速度 を補正する。

40

【0099】

なお、62は駆動モータ制御処理手段の電流指令値算出処理手段としてのトルク指令・電流指令変換部であり、該トルク指令・電流指令変換部62は、前記直流電圧 V_{dc} 、補正された電気角速度 及び駆動モータ目標トルク T_M^* を読み込み、電気角速度 を駆動モータ回転速度 N_M に変換し、前記電流指令値マップを参照して、前記駆動モータ目標トルク T_M^* に対応するd軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* を電流指令値として

50

算出する。

【0100】

ところで、磁極位置センサ21においては、前記磁極位置信号SGに発生させられたパルス間の平均速度を駆動モータ31の電気角速度として算出し、検出するようにしている。この場合、駆動モータ31が振動する等によって速度変動が大きい場合に、検出される電気角速度に誤差eが発生すると、電圧飽和が発生することがある。例えば、電気角速度が低いと判断してベクトルB1が表される電流指令値を選択したときに、実際の角速度が高い場合には、所定の駆動モータ目標トルク T_M^* で表される等トルク曲線上においてベクトルB2で表される電流指令値を選択しないと、電圧飽和が発生してしまう。なお、L1は電気角速度が低いと判断したときの電圧飽和楕円、L2は実際の電気角速度による電圧飽和楕円である。

10

【0101】

そこで、前記電圧飽和が発生するのを防止するために、パルス幅変調信号Mu、Mv、Mwのオン時間Tu、Tv、Twに基づいて電圧飽和変量を算出し、前述されたように、該電圧飽和変量に基づいて電気角速度を補正するようにしている。

【0102】

この場合、駆動モータ制御装置45に電圧飽和回避処理部26及び加算器49が配設される。前記電圧飽和回避処理部26は、電圧飽和変量算出処理手段92としての電圧飽和変量算出部47、及び回転速度補正量算出処理手段としての回転速度補正量算出部48を備え、前記電圧飽和変量算出部47は、電圧飽和変量算出処理を行い、磁極位置に誤差eが生じるのに伴って発生するノイズの影響を受けない変量、本実施の形態においては、前記パルス幅変調信号Mu、Mv、Mwのオン時間Tu、Tv、Twを読み込み、該オン時間Tu、Tv、Twに基づいて電圧飽和変量を算出し、前記回転速度補正量算出部48は、回転速度補正量算出処理を行い、前記電圧飽和変量に基づいて比例積分演算を行い、電気角速度を補正するための電気角速度補正量dを算出する。また、前記加算器49は、電気角速度に電気角速度補正量dを加算することによって電気角速度を補正し、補正された電気角速度を算出する。

20

【0103】

そのために、電圧飽和変量算出部47において、選択処理手段としてのセレクトag1は、選択処理を行い、所定のサンプリング周期Tでオン時間Tu、Tv、Twを読み込み、オン時間Tu、Tv、Twのうちの最大のオン時間Tmaxを選択する。また、前記電圧飽和変量算出部47は、パルス幅変調信号Mu、Mv、Mwのフルオン状態のオン時間をTfonとしたとき、オン時間Tfonの近傍の値を、目標値を表すオン時間制限値 T^* として設定し、減算器f2によって、オン時間Tmaxとオン時間制限値 T^* との偏差 $T = T_{max} - T^*$

30

を算出する。また、電圧飽和変量算出部47は、電圧飽和変量

$$= T$$

を算出する。

【0104】

このようにして、電圧飽和変量が算出されると、磁極位置補正量算出部44において、前記偏差Tに基づいて、ゲイン乗算器(Gp)h1によって比例成分 $G_p \cdot T$ が算出され、リミッタh2によって比例成分 $G_p \cdot T$ が制限され、零以下の値を採ると零にされる。また、積分器h3(1/s)によって偏差Tが積分され、積分値Tが算出され、ゲイン乗算器(Gi)h4によって積分成分 $G_i \cdot T$ が算出され、リミッタh5によって積分成分 $G_i \cdot T$ が制限され、零以下の値を採るとクリアされる。

40

【0105】

続いて、加算器h6によって比例成分 $G_p \cdot T$ と積分成分 $G_i \cdot T$ とが加算され、電気角速度補正量d

$$d = G_p \cdot T + G_i \cdot T$$

が算出される。

50

【0106】

このようにして、電気角速度補正量 d が算出されると、加算器49は、電気角速度に電気角速度補正量 d を加算し、電気角速度を補正して電気角速度を算出する。なお、前記回転速度補正量算出部48及び加算器49によって電気角速度補正処理手段が構成される。また、該電気角速度補正処理手段によって制御変量補正処理手段93(図1)が構成され、電気角速度補正処理によって制御変量補正処理が構成され、電気角速度によって制御変量が構成される。

【0107】

このように、電圧飽和変量が算出され、偏差 T が小さくなり、電圧飽和変量が大きくなると、電気角速度が偏差 T 及び電圧飽和変量に対応させて補正されるので、磁極位置センサ21として電気角速度の誤差が大きいセンサを使用したり、速度変動が大きい駆動モータ31を使用したりしても、電圧飽和が発生するのを防止することができる。したがって、電気自動車の走行に伴って運転者に違和感を感じさせたり、電圧飽和が発生して駆動モータ31の駆動が困難になったりすることがない。

10

【0108】

しかも、オン時間制限値 T^* が直流電圧 V_{dc} に依存しないので、作業を簡素化することができる。

【0109】

なお、本実施の形態においては、オン時間 T_u 、 T_v 、 T_w のうちの最大のオン時間 T_{max} を選択し、オン時間 T_{max} とオン時間制限値 T^* との偏差 T を算出するようになっているが、オン時間 T_u 、 T_v 、 T_w のうちの最大のものを T_{max} とし、次に大きいものを T_{mdl} とし、最小のものを T_{min} としたとき、重み係数を $1 \sim 3$ として、オン時間 T_{cul}

20

$$T_{cul} = 1 \cdot T_{max} + 2 \cdot T_{mdl} + 3 \cdot T_{min}$$

を算出し、オン時間 T_{cul} とオン時間制限値 T^* との偏差 T を算出することもできる。

【0110】

次に、フローチャートについて説明する。

ステップS1-11 駆動モータ回転速度算出処理を行う。

ステップS1-12 駆動モータ回転速度補正処理を行う。

30

ステップS1-13 磁極位置算出処理を行い、リターンする。

【0111】

ところで、前記駆動モータ31において所定の駆動モータトルク T_M を発生させるために、駆動モータ制御装置45のROMに、図14に示されるような、ベクトル長さを表す電流指令値マップ、図15に示されるような電流位相指令値マップが設定される。なお、電流指令値マップ及び電流位相指令値マップに代えて d 軸電流指令値 i_d^* 及び q 軸電流指令値 i_q^* の電流指令値マップを備えることもできる。なお、図14には、直流電圧 V_{dc} が42[V]である場合の電流指令値マップが示され、該電流指令値マップに、駆動モータ目標トルク T_M^* 及び駆動モータ回転速度 N_M に対応させて電流指令値が記録され、前記電流位相指令値マップに、駆動モータ目標トルク T_M^* 及び駆動モータ回転速度 N_M

40

に対応させて電流位相指令値が記録される。

【0112】

例えば、直流電圧 V_{dc} が42[V]であり、駆動モータ回転速度 N_M が4000[rpm]であり、駆動モータ目標トルク T_M^* が50[Nm]である場合、ベクトル長さを表す電流指令値は338[A]、電流位相指令値は51[°]になる。電流指令値マップ及び電流位相指令値マップには、電圧制限楕円内において駆動モータ目標トルク T_M^* が50[Nm]の等トルク曲線上にあり、かつ、電流指令値が最小になるものが記録される。このように、電流指令値を最小とすることによって、駆動モータ31を効率よく駆動することができる。

【0113】

50

また、中間の駆動モータ回転速度 NM 及び駆動モータ目標トルク TM^* に対応する電流指令値及び電流位相指令値は、線形補間によって算出される。そして、所定の直流電圧 Vdc 及び所定の駆動モータ回転速度 NM においては、駆動モータトルク TM に限界があるので、限界の駆動モータトルク TM 、すなわち、限界トルクより大きい駆動モータ目標トルク TM^* が発生させられたときのために、出力可能な駆動モータトルク TM に対応する電流指令値及び電流位相指令値が前記電流指令値マップ及び電流位相指令値マップに記録される。したがって、例えば、直流電圧 Vdc が42〔V〕であり、駆動モータ回転速度 NM が6000〔rpm〕であり、駆動モータ目標トルク TM^* が90〔Nm〕である場合、電流指令値算出処理において、出力可能な駆動モータトルク TM に対応する電流指令値及び電流位相指令値として510〔A〕及び75〔°〕が設定される。したがって、実際 10
に出力される駆動モータトルク TM は50〔Nm〕になる。

【0114】

また、通常、駆動モータ回転速度 NM の最大値 $NMmax$ を10000〔rpm〕とした場合、最大値 $NMmax$ を超える駆動モータ回転速度 NM 、例えば、11000〔rpm〕である場合には、電圧制限楕円の中心に位置する電流指令値及び電流位相指令値が前記電流指令値マップ及び電流位相指令値マップに記録される。したがって、例えば、直流電圧 Vdc が42〔V〕であり、駆動モータ回転速度 NM が11000〔rpm〕である場合、電流指令値及び電流位相指令値として300〔A〕及び90〔°〕が設定される。

【0115】

このような電流指令値マップ及び電流位相指令値マップが設定されるので、直流電圧 Vdc が42〔V〕であり、駆動モータ回転速度 NM が4000〔rpm〕であり、駆動モータ目標トルク TM^* が50〔Nm〕である場合に、前記回転速度補正処理において電気角速度を補正すると、電流指令値を表すベクトル B は、まず、50〔Nm〕の等トルク曲線 $LT M 1$ に沿って矢印 A 方向に移動し、それでも電圧飽和変量が高く、電圧飽和が発生する可能性が高いと、点 $p 1$ （電流指令値及び電流位相指令値として510〔A〕及び75〔°〕が設定される。）から駆動モータ31の最大出力ライン $Lmax$ に沿って駆動モータ回転速度 NM を高くしながら矢印 B 方向に移動し、例えば、30〔Nm〕の等トルク曲線 $LT M 2$ 上の点 $p 2$ （電流指令値及び電流位相指令値として360〔A〕及び75〔°〕が設定される。）に移動する。 20

【0116】

ところで、前記点 $p 2$ においても電圧飽和変量が高く、電圧飽和が発生する可能性が高いと、ベクトル B は、更に矢印 C 方向に移動する。この場合、点 $p 2$ における駆動モータ回転速度 NM は10000〔rpm〕であるので、電流指令値及び電流位相指令値として電圧制限楕円の中心 O の300〔A〕及び90〔°〕が設定される。 30

【0117】

このように、電流指令値マップ及び電流位相指令値マップを使用することによって、駆動モータトルク TM の変動をできる限り少なくして自動弱め界磁制御を行うことができる。

【0118】

前記第1の実施の形態においては、電圧飽和変量に基づいて磁極位置を補正するようになっているが、電圧飽和変量に基づいて電気角速度を補正することもできる。また、第2の実施の形態においては、電圧飽和変量に基づいて電気角速度を補正するようになっているが、電圧飽和変量に基づいて磁極位置を補正することもできる。 40

【0119】

なお、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々変形させることが可能であり、それらを本発明の範囲から排除するものではない。

【0120】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明によれば、電動駆動制御装置においては、電動機械と、電動機械トルクの目標値を表す電動機械目標トルク及び電動機械回転速度に対応させて、所定の直流電圧における電流指令値がベクトルで表された電流指令値マップと、該電 50

流指令値マップを参照し、前記電動機械目標トルク及び電動機械回転速度に基づいて電流指令値を算出する指令値算出処理手段と、前記電流指令値に基づいて出力信号を算出する出力信号算出処理手段と、前記出力信号に基づいて電流を発生させ、該電流を電動機械に供給する電流発生装置と、前記電動機械の駆動に伴って電圧飽和が発生する度合いに対応して変化する電圧飽和変量を前記電流指令値に基づいて算出する電圧飽和変量算出処理手段と、前記電圧飽和変量に対応させて前記電動機械回転速度を補正する制御変量補正処理手段とを有する。

【0121】

そして、前記電流指令値マップにおいて、電圧制限楕円内における電動機械目標トルクの等トルク曲線上にあり、かつ、最小になる電流指令値が記録され、前記指令値算出処理手段は、電動機械目標トルク及び補正された電動機械回転速度に基づいて前記電流指令値を算出する。

10

【0122】

この場合、電動機械の駆動に伴って電圧飽和変量が算出され、電圧飽和変量に対応させて電動機械回転速度が補正されるので、電圧飽和が発生するのを防止することができる。したがって、電動車両の走行に伴って運転者に違和感を感じさせたり、電圧飽和が発生して電動機械の駆動が困難になったりすることがない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態における電動駆動制御装置の機能ブロック図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態における電動駆動制御装置の概略図である。

20

【図3】本発明の第1の実施の形態における電動駆動制御装置のブロック図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態における電圧飽和回避処理部のブロック図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態における電動駆動制御装置の動作を示すメインフローチャートである。

【図6】本発明の第1の実施の形態における位置検出処理のサブルーチンを示す図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態における駆動モータ制御処理手段のサブルーチンを示す図である。

【図8】本発明の第1の実施の形態における電圧制限楕円を示す図である。

【図9】本発明の第1の実施の形態における電動駆動制御装置の動作を示す図である。

30

【図10】本発明の第2の実施の形態における電動駆動制御装置のブロック図である。

【図11】本発明の第2の実施の形態における電圧飽和回避処理部のブロック図である。

【図12】本発明の第2の実施の形態における位置検出処理のサブルーチンを示す図である。

【図13】本発明の第2の実施の形態における電動駆動制御装置の動作を示す図である。

【図14】本発明の第2の実施の形態における電流指令値マップを示す図である。

【図15】本発明の第2の実施の形態における電流位相指令値マップを示す図である。

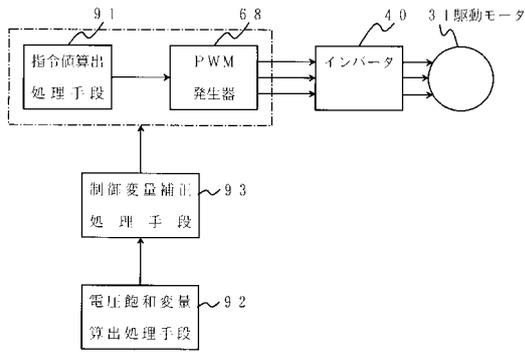
【図16】本発明の第2の実施の形態における電流指令値を変化させる動作を説明する図である。

【符号の説明】

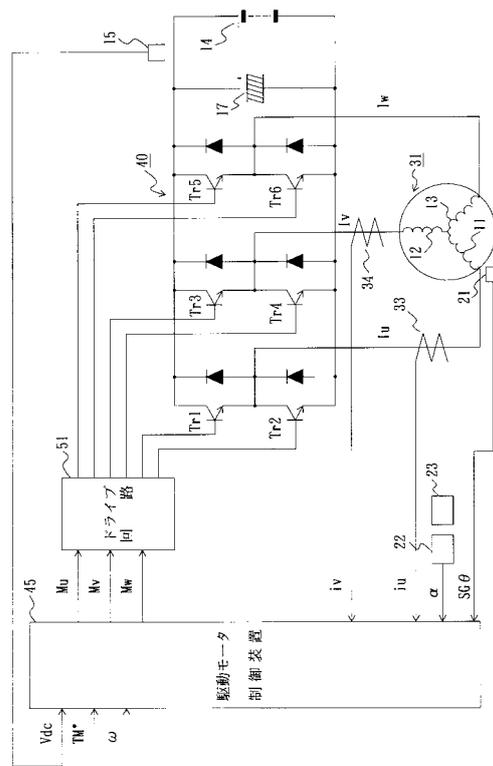
40

- 3 1 駆動モータ
- 4 0 インバータ
- 4 5 駆動モータ制御装置
- 6 8 PWM発生器
- 9 1 指令値算出処理手段
- 9 2 電圧飽和変量算出処理手段
- 9 3 制御変量補正処理手段

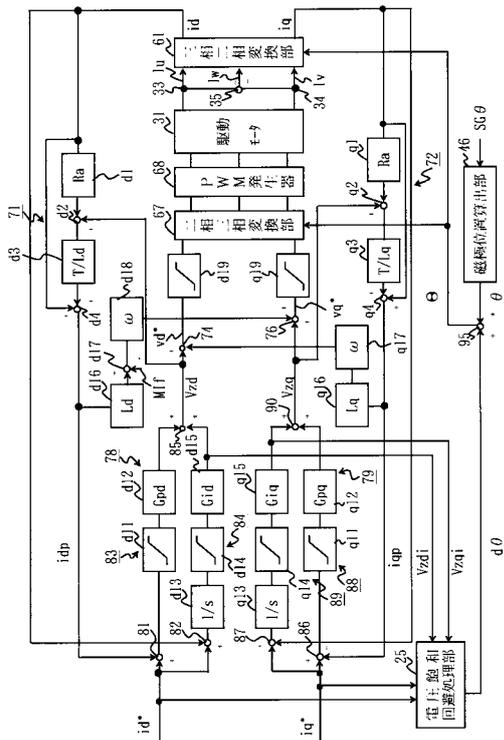
【図1】



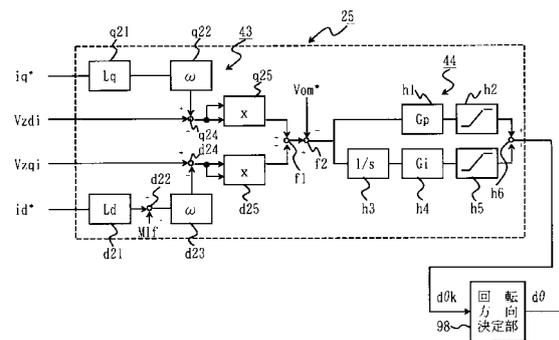
【図2】



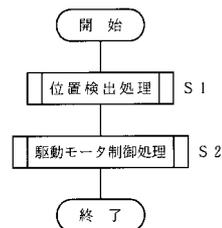
【図3】



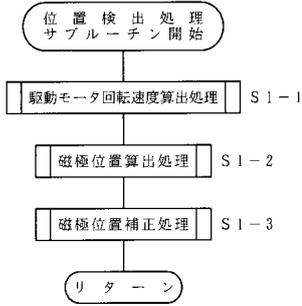
【図4】



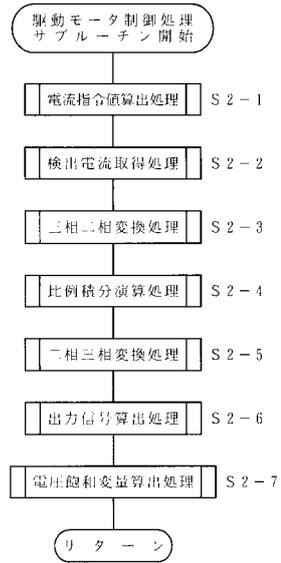
【図5】



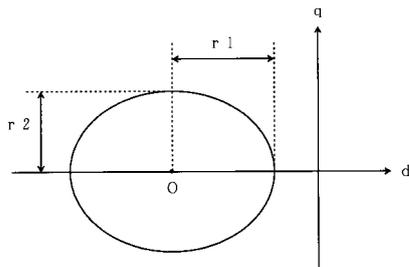
【図6】



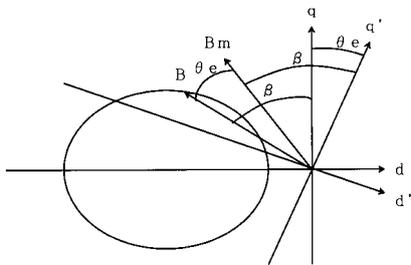
【図7】



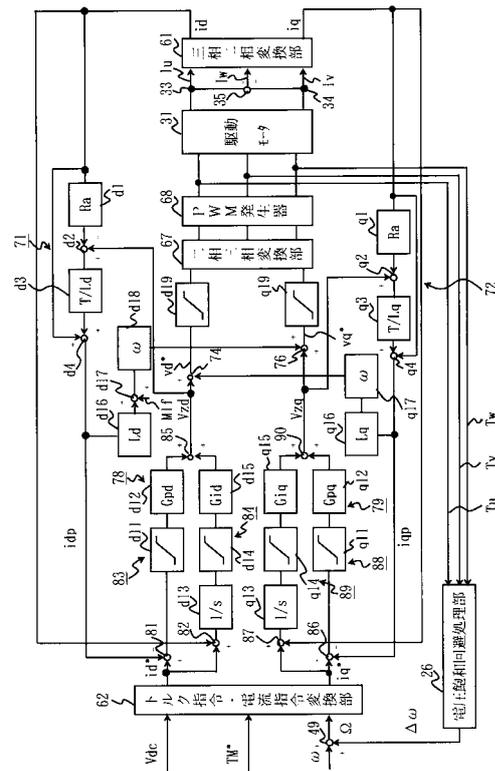
【図8】



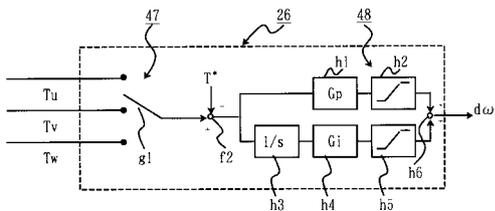
【図9】



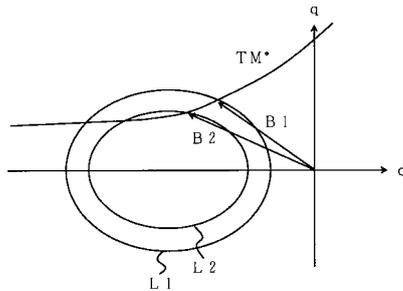
【図10】



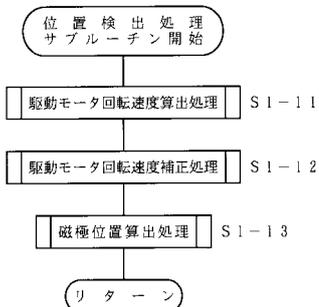
【 図 1 1 】



【 図 1 3 】



【 図 1 2 】



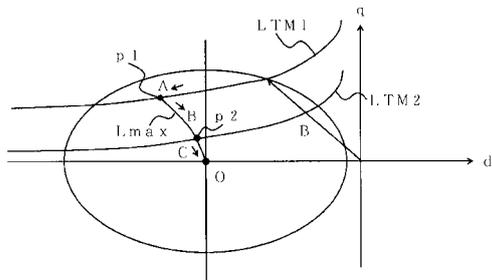
【 図 1 4 】

Vdc=42		駆動モータ目標トルクTM* [Nm]										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
駆動 目標 回転 速度 NM* [rpm]	0	0	70	130	190	250	300	360	420	480	540	620
	1000	0	70	130	190	250	300	360	420	480	540	620
	2000	0	70	130	190	250	300	366	420	480	536	536
	3000	0	70	130	190	250	308	377	417	417	417	417
	4000	66	60	123	191	258	338	382	382	382	382	382
	5000	92	108	155	210	283	401	401	401	401	401	401
	6000	130	150	199	251	347	510	510	510	510	510	510
	7000	167	170	219	270	409	409	409	409	409	409	409
	8000	199	199	245	301	356	356	356	356	356	356	356
	9000	224	221	272	322	322	322	322	322	322	322	322
	10000	250	227	298	360	360	360	360	360	360	360	360
	11000	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

【 図 1 5 】

Vdc=42		駆動モータ目標トルクTM* [Nm]										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
駆動 目標 回転 速度 NM* [rpm]	0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	1000	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	2000	30	30	30	30	30	30	30	30	30	45	45
	3000	30	30	30	30	30	34	41	44	44	44	44
	4000	76	31	29	38	43	51	54	54	54	54	54
	5000	80	69	57	53	57	65	65	65	65	65	65
	6000	82	78	68	63	67	75	75	75	75	75	75
	7000	83	80	72	67	74	74	74	74	74	74	74
	8000	84	82	75	70	72	72	72	72	72	72	72
	9000	84	84	77	72	72	72	72	72	72	72	72
	10000	85	84	78	75	75	75	75	75	75	75	75
	11000	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90

【 図 1 6 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I

B 6 0 L 9/18 (2006.01)

審査官 片岡 弘之

(56) 参考文献 特開 2 0 0 0 - 1 1 6 1 9 8 (J P , A)

特開平 0 6 - 1 5 3 5 6 7 (J P , A)

特開 2 0 0 0 - 1 1 6 1 7 0 (J P , A)

特開 2 0 0 0 - 0 7 8 7 0 5 (J P , A)

特開平 0 8 - 2 9 8 7 9 6 (J P , A)

(58) 調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B60L 1/00 - 3/12

B60L 7/00 -13/00

B60L 15/00 -15/42

B60K 6/02 - 6/06

B60W 10/08

B60W 20/00

H02P 21/00 -29/00

H02P 6/00 - 6/24