

(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2015-226373

(P2015-226373A)

(43) 公開日 平成27年12月14日(2015.12.14)

(51) Int.Cl.			F I	テーマコード (参考)		
<b>B60L</b>	<b>15/20</b>	<b>(2006.01)</b>	B60L	15/20	J	3D037
<b>B60K</b>	<b>28/14</b>	<b>(2006.01)</b>	B60K	28/14		5H125
<b>B60L</b>	<b>3/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B60L	3/00	Z	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2014-109382 (P2014-109382)  
 (22) 出願日 平成26年5月27日 (2014.5.27)

(71) 出願人 000004260  
 株式会社デンソー  
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地  
 (74) 代理人 100106149  
 弁理士 矢作 和行  
 (74) 代理人 100121991  
 弁理士 野々部 泰平  
 (74) 代理人 100145595  
 弁理士 久保 貴則  
 (72) 発明者 鍵井 清幸  
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会  
 社デンソー内  
 Fターム(参考) 3D037 FA10 FA20 FA21 FA24 FA26  
 5H125 AA01 AB01 AC12 BA07 EE02  
 EE06 EE07 EE41

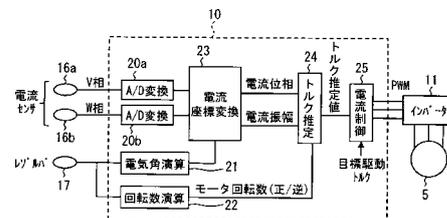
(54) 【発明の名称】 車両制御装置

(57) 【要約】

【課題】 モータの制御に異常が生じた場合に、その異常の原因が、モータの制御を継続可能なものであるか否かを判別するとともに、モータの制御が継続可能と判別した場合に、その異常の原因を取り除きつつ、モータの制御を実行すること。

【解決手段】 電動機5の制御に異常が生じたとき、ECU10は、最初に、その異常の原因を判定する。そして、電動機5の制御の異常の原因が、電流センサ16a、16bやレゾルバ17の故障にあると判定すると、ECU10は、レゾルバ角推定制御や電流推定制御において、それらのセンサ16a、16b、17によって検出されるはずであった検出値の推定値を求める。そして、ECU10は、異常となったセンサ16a、16b、17の検出結果ではなく、求めた推定値に基づいて、電動機5を制御する。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

車両の各車輪（1～4）にそれぞれ設けられ、対応する車輪に駆動力を与える複数の駆動用モータ（5～8）と

前記各車輪の駆動用モータに対応して設けられ、該当する駆動用モータの動作に関連する物理量を検出するための複数の検出手段（16a、16b、17）と、

前記検出手段の検出信号から得られる前記駆動用モータの動作に関連する物理量に基づいて、前記各車輪の前記駆動用モータを制御する制御手段（10）と、

前記駆動用モータの制御に異常が生じた場合に、その異常の原因を判定する原因判定手段（S110～S140）と、

前記原因判定手段により、前記駆動用モータの制御の異常の原因が、前記検出手段の故障にあると判定された場合、前記検出手段の検出信号から得られるはずの前記駆動用モータの動作に関連する物理量の推定値を求める推定手段（26、27）と、を備え、

前記制御手段は、前記検出手段が故障し、前記推定手段によって前記駆動用モータの動作に関連する物理量の推定値が求められたとき、その物理量の推定値に基づいて、前記駆動用モータを制御することを特徴とする車両制御装置。

## 【請求項 2】

前記推定手段は、1つの車輪の駆動用モータに対応する検出手段が故障した場合に、その故障した検出手段の検出信号から得られるはずの物理量を、少なくとも、前記1つの車輪以外の残りの車輪の駆動用モータに対応する前記検出手段から出力される検出信号を用いて推定するものであり、

前記制御手段は、1つの車輪の駆動用モータに対応する検出手段が故障した場合、前記推定手段によって求められる推定値に基づいて前記駆動用モータの制御を継続し、2つ以上の車輪の駆動用モータに対応する検出手段が故障した場合、全ての前記駆動用モータの制御を停止することを特徴とする請求項1に記載の車両制御装置。

## 【請求項 3】

操舵角を検出する操舵角検出手段（15）を有し、

前記検出手段（17）は、前記駆動用モータによって駆動される車輪の回転に応じた検出信号を出力するものであり、

前記推定手段（26）は、前記1つの車輪の駆動用モータに対応する前記検出手段が故障したとき、前記操舵角検出手段によって検出される操舵角と、前記検出手段が故障した前記1つの車輪以外の、残りの車輪の駆動用モータに対応する前記検出手段から出力される検出信号とに基づいて、前記1つの車輪の回転数の推定値を求めることを特徴とする請求項1又は2に記載の車両制御装置。

## 【請求項 4】

前記推定手段は、さらに、前記1つの車輪の回転数の推定値から、対応する前記駆動用モータの電気角の推定値を算出し、

前記制御手段は、前記推定手段が推定した電気角の推定値に基づき、前記駆動用モータを制御するものであって、

前記推定手段は、前記電気角の推定値から前記駆動用モータの通電電流の電流位相を算出し、その算出した電流位相の、目標とする電流位相に対するばらつきの大きさから、前記電気角の推定値に対する補正值を算出し、この補正值により補正した前記電気角の推定値を算出することを特徴とする請求項3に記載の車両制御装置。

## 【請求項 5】

車載バッテリー（12）から、前記複数の駆動用モータにそれぞれ通電される電流を合算した総電流を検出する総電流検出手段を有し、

前記検出手段（16a、16b）は、対応する前記駆動用モータに通電される電流を検出するものであり、

前記推定手段（27）は、前記1つの車輪の駆動用モータに対応する前記検出手段が故障したとき、前記総電流検出手段によって検出される総電流と、前記検出手段が故障した

10

20

30

40

50

前記1つの車輪以外の、残りの車輪の駆動用モータに対応する前記検出手段から出力される検出信号とに基づいて、前記1つの車輪の駆動用モータに通電される電流の推定値を求めることを特徴とする請求項1又は2に記載の車両制御装置。

【請求項6】

前記駆動用モータは、3相モータであり、

前記検出手段は、前記駆動用モータの3相の通電相の内、2相の通電相の電流をそれぞれ検出する第1検出手段と第2検出手段とからなり、

前記推定手段は、前記1つの車輪の駆動用モータに対応する前記第1検出手段と前記第2検出手段との一方が故障したとき、前記第1検出手段と前記第2検出手段との他方によって出力される検出信号と、前記総電流検出手段によって検出される総電流と、前記第1検出手段と前記第2検出手段との一方が故障した前記1つの車輪以外の、残りの車輪の駆動用モータに対応する前記検出手段から出力される検出信号とに基づいて、故障した前記第1検出手段と前記第2検出手段との一方によって検出されるべき、前記駆動用モータの1相の通電相の電流の推定値を算出することを特徴とする請求項5に記載の車両制御装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、車両の各車輪の駆動力を、それぞれ個別の駆動用モータによって発生する車両に適用される車両制御装置に関する。

20

【背景技術】

【0002】

例えば、特許文献1には、車輪を個々のモータによって独立に駆動する車両に適用される駆動力制御装置が開示されている。この駆動力制御装置は、走行中に、一部の車輪が駆動不能に陥った場合、他の正常な車輪を用いて、運転状態に対応した車両の走行状態を維持するようにしている。

【0003】

具体的には、特許文献1の駆動力制御装置では、モータコイルの断線を検出したとき、モータ駆動不能とみなす。そして、モータが駆動不能に陥る前後で、左側の車輪の駆動力の合計と、右側の車輪の駆動力の合計との比が変化せず、かつ補正後の目標駆動力の合計がアクセル開度に対応する駆動力となるように、正常な車輪の目標駆動力を補正する。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2005-119647号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1に記載のように、一部の車輪のモータを駆動せず、他の車輪のモータによってその分の駆動力を補おうとすると、他の車輪のモータの負荷が過剰になりやすくなるとともに、車両の走行安定性を低下させる可能性があることは否定できない。従って、モータに異常が生じた場合であっても、極力、そのモータの制御を継続できるような手段を講じることが望ましい。

40

【0006】

ここで、モータを正常に制御できなくなる状況は、モータコイルの断線が生じたときに限られる訳ではなく、種々の要因で起こりえる。例えば、モータの回転を検出するセンサや、モータに通電される電流を検出するセンサに異常が生じた場合にも、モータは異常な挙動を示すことになる。ただし、この場合、センサの検出信号に基づいて、制御装置から与えられる制御信号が異常となつて、モータは異常な挙動を示すのであり、モータそのものは正常に作動可能である。

50

## 【 0 0 0 7 】

本発明は、上述した点に鑑みてなされたものであり、駆動用モータの制御に異常が生じた場合に、その異常の原因が、駆動用モータの制御を継続可能なものであるか否かを判別するとともに、駆動用モータの制御が継続可能と判別した場合に、その異常の原因を取り除きつつ、駆動用モータの制御を実行することが可能な車両用制御装置を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 8 】

上記目的を達成するために、本発明による車両制御装置は、  
車両の各車輪（１～４）にそれぞれ設けられ、対応する車輪に駆動力を与える複数の駆動用モータ（５～８）と

各車輪の駆動用モータに対応して設けられ、該当する駆動用モータの動作に関連する物理量を検出するための複数の検出手段（１６a、１６b、１７）と、

検出手段の検出信号から得られる駆動用モータの動作に関連する物理量に基づいて、各車輪の駆動用モータを制御する制御手段（１０）と、

駆動用モータの制御に異常が生じた場合に、その異常の原因を判定する原因判定手段（S 1 1 0 ~ S 1 4 0）と、

原因判定手段により、駆動用モータの制御の異常の原因が、検出手段の故障にあると判定された場合、検出手段の検出信号から得られるはずの駆動用モータの動作に関連する物理量の推定値を求める推定手段（２６、２７）と、を備え、

制御手段は、検出手段が故障し、推定手段によって駆動用モータの動作に関連する物理量の推定値が求められたとき、その物理量の推定値に基づいて、駆動用モータを制御することを特徴とする。

## 【 0 0 0 9 】

検出手段が故障した場合、その検出手段の検出信号に基づく、制御手段による制御内容が異常となって、駆動用モータは異常な挙動を示すのであり、駆動用モータそのものは正常に動作可能である。そのため、本発明による車両制御装置では、駆動用モータの制御に異常が生じたとき、原因判定手段が、その異常の原因を判定する。そして、原因判定手段が、駆動用モータの制御の異常の原因が、検出手段の故障にあると判定すると、推定手段によって、駆動用モータの動作に関連する物理量の推定値を求め、制御手段は、検出手段による検出信号から得られる物理量ではなく、その物理量の推定値に基づいて、駆動用モータを制御する。これにより、検出手段に故障が生じたとき、駆動用モータの制御の異常の原因を取り除きつつ、駆動用モータの制御を継続することが可能になる。

## 【 0 0 1 0 】

上記括弧内の参照番号は、本発明の理解を容易にすべく、後述する実施形態における具体的な構成との対応関係の一例を示すものにすぎず、なんら本発明の範囲を制限することを意図したものではない。

## 【 0 0 1 1 】

また、上述した特徴以外の、特許請求の範囲の各請求項に記載した技術的特徴に関しては、後述する実施形態の説明及び添付図面から明らかになる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 1 2 】

【図 1】車両及び車両用制御装置の概略構成を示した構成図である。

【図 2】ECU が電動機へ通電する電流を制御するために実行する機能を示した機能ブロック図である。

【図 3】フェイルセーフ制御の基本的な流れを示したフローチャートである。

【図 4】レゾルバ角推定制御について説明するための、ECU の機能ブロック図である。

【図 5】レゾルバ角推定制御について説明するための、車両モデルを示した図である。

【図 6】d p 座標における電流指令と電流推定値との関係の一例を示す図である。

【図 7】（a）は、電気角の推定値の誤差が相対的に小さいとき、所定時間内の電流指令

10

20

30

40

50

に対する電流推定値  $I_{est}$  のブレの範囲の一例を示す図であり、(b) は、電気角の推定値の誤差が相対的に大きいときに、所定時間内の電流指令に対する電流推定値のブレの範囲の一例を示す図である。

【図 8】電流推定制御について説明するための、ECU の機能ブロック図である。

【図 9】dq 座標において、各電動機に流れる電流の関係を示した図である。

【図 10】バッテリーからインバータに供給される電流と、各電動機に供給される電流との関係を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明に係る車両用制御装置の実施形態について、図面を参照しつつ、詳細に説明する。本実施形態による車両用制御装置は、各車輪の駆動力を、それぞれ個別の駆動用モータによって発生する車両に適用される。そこで、まず、車両用制御装置が適用される車両及び車両用制御装置の概略構成について、図 1 に基づいて説明する。

10

【0014】

図 1 に示すように、車両 100 は、左右の前輪 1, 2 および左右の後輪 3, 4 を有している。前輪 1, 2 及び後輪 3, 4 は、図示しないサスペンション機構等を介して車両 100 のシャーシに支持されている。

【0015】

前輪 1, 2 のホイール内部には、駆動用モータとしての電動機 5, 6 が組み込まれており、後輪 3, 4 のホイール内部には電動機 7, 8 が組み込まれている。これらの電動機 5 ~ 8 は、対応する車輪 1 ~ 4 に対して、動力伝達可能に連結されている。すなわち、各電動機 5 ~ 8 は、いわゆるインホイールモータであり、後述する電子制御装置 (ECU) 10 による制御によって、対応する車輪 1 ~ 4 に駆動力を与えたり、制動力を与えたりすることが可能となっている。

20

【0016】

インホイールモータとしての電動機 5 ~ 8 は、例えば 3 相交流同期モータにより構成され、インバータ 11 を介して、充放電可能なバッテリー 12 に接続されている。そして、各車輪 1 ~ 4 に駆動力を与える場合には、バッテリー 12 の直流電力がインバータ 11 によって交流電力に変換された後に、各電動機 5 ~ 8 に供給される。これにより、各電動機 5 ~ 8 は力行運転され、対応する車輪 1 ~ 4 に駆動力を与えることができる。一方、各車輪 1 ~ 4 に制動力を与える場合には、各電動機 5 ~ 8 が回生運転される。この回生運転時には、各電動機 5 ~ 8 は、対応する車輪 1 ~ 4 が持つ運動エネルギーによって回転されて発電を行う。このように、各電動機 5 ~ 8 は、運動エネルギーを電気エネルギーに変換することで、対応する車輪 1 ~ 4 の運動エネルギーを消費し、各車輪 1 ~ 4 に制動力を与える。回生運転時の各電動機 5 ~ 8 による発電電力は、インバータ 11 によって直流に変換された後、バッテリー 12 に蓄電される。

30

【0017】

なお、図示していないが、各車輪 1 ~ 4 には、各電動機 5 ~ 8 による回生ブレーキと協調して、運転者の要求制動力に見合う制動力を発生させるための、制動トルクを調節可能なブレーキ装置も設けられている。

40

【0018】

前輪 1, 2 の間には、ステアリング装置が設けられている。このステアリング装置は、運転者によって操舵されるステアリングホイールに連結されたステアリングシャフトを有する。そのステアリングシャフトの先端にはピニオン軸が設けられている。このピニオン軸は、ラックアンドピニオン式のギア機構を介してラック軸 13 に連結される。ラック軸 13 の両端は、タイロッド 14 等を介して左右の前輪 1, 2 にそれぞれ連結されている。従って、ステアリングシャフト (ピニオン軸) の回転運動が、ラック軸 13 の直線運動に変換され、そのラック軸 13 の直線運動変位に応じた角度だけ、左右の前輪 1, 2 が転舵される。

【0019】

50

このステアリング装置には、ステアリングシャフトの操舵角を検出する操舵角センサ 15 が設けられている。この操舵角センサ 15 による検出信号は、ECU 10 に入力される。その他にも、ECU 10 には、運転者の要求駆動力を表すアクセルペダルの踏み込み量を検出するアクセルセンサ、運転者の要求制動力を表すブレーキペダルの踏み込み量を検出するブレーキセンサ、車両の走行速度を検出する車速センサ、バッテリー 12 からインバータ 11 に供給される電流を検出する電流センサなどの各種のセンサからの検出信号が入力されるように構成されている。

#### 【0020】

さらに、各電動機 5 ~ 8 には、ロータの回転に応じた検出信号を出力するレゾルバ、3 相のステータコイルの内、2 相のステータコイルに流れる電流をそれぞれ検出する電流センサ、及び各電動機 5 ~ 8 の温度を検出する温度センサなどが設けられている。これらのセンサからの検出信号も、ECU 10 に入力される

10

ECU 10 は、運転者によってアクセルペダルが踏込操作されているとき、アクセルセンサによって検出されるアクセルペダルの踏み込み量と、車速センサによって検出される車両の走行速度とに基づいて、各電動機 5 ~ 8 が発生すべき目標駆動トルクを算出する。また、ECU 10 は、運転者によってステアリングホイールが操舵されている場合には、車両の旋回状態を安定化させることなどを狙いとして、操舵角センサ 15 によって検出される操舵角に基づいて、上記目標駆動トルクを補正する。ECU 10 は、各電動機 5 ~ 8 が発生する駆動トルクが、算出、補正した目標駆動トルクとなるように、各電動機 5 ~ 9 へ通電する電流を制御する。

20

#### 【0021】

図 2 は、各電動機 5 ~ 8 が発生する駆動トルクが目標駆動トルクとなるように、ECU 10 が各電動機 5 ~ 8 へ通電する電流を制御するために実行する機能を機能ブロック図として記載したものである。なお、図 2 には、1 つの電動機 5 に対して電流制御するための機能ブロックが示されているが、ECU 10 は、他の電動機 6 ~ 8 に対しても、同様の制御を行う。

#### 【0022】

以下、この図 2 に基づき、ECU 10 が実行する機能について説明する。なお、ECU 10 は、図 2 に示す各ブロックによる機能を実行する専用の演算器によって構成することも可能であるし、マイコンにおいて実行される各種のプログラムにより、図 2 の各ブロックの機能を実現することも可能である。

30

#### 【0023】

図 2 に示すように、電流センサとして、3 相のステータコイル (U 相、V 相、W 相) の内、2 相のステータコイル (例えば、V 相、W 相) に流れる電流をそれぞれ検出する電流センサ (V 相電流センサ、W 相電流センサ) 16 a、16 b が設けられている。本実施形態では、後述する電流座標変換部 23 において、3 相のステータコイルの電流値は、座標における軸電流値  $i$  と軸電流値  $i$  に変換される。この変換は、2 相のステータコイルの電流を検出すれば可能なため、2 相のステータコイルに対して V 相電流センサ及び W 相電流センサ 16 a、16 b が設けられている。V 相電流センサ及び W 相電流センサ 16 a、16 b によって検出された電流値は、それぞれ、対応する A/D 変換部 20 a、20 b によってデジタル値に変換された上で、電流座標変換部 23 に入力される。

40

#### 【0024】

また、レゾルバ 17 による検出信号は、電気角演算部 21 及び回転数演算部 22 に入力される。電気角演算部 21 は、レゾルバ 17 からの位相のずれた 2 相の正弦波状及び余弦波状の検出信号に基づき、電動機 5 の電気角  $e$  を演算する。回転数演算部 22 は、レゾルバ 17 からの検出信号に基づき、電動機 5 のロータの回転数  $n$  を演算する。なお、回転数演算部 22 において演算されるロータの回転数  $n$  には、回転方向を示す情報が付加される。

#### 【0025】

電流座標変換部 23 は、V 相電流センサ及び W 相電流センサ 16 a、16 b によって検

50

出された電流値を、座標における軸電流値  $i$  と軸電流値  $i$  に変換する（クラーク変換）。さらに、電流座標変換部 23 は、電気角演算部 21 によって演算された電気角  $e$  に基づき、軸電流値  $i$  及び軸電流値  $i$  を、 $dq$  座標における  $d$  軸電流値  $i_d$  及び  $q$  軸電流値  $i_q$  に変換する（パーク変換）。

#### 【0026】

ここで、公知のように、 $dq$  座標は、例えば、ロータの  $S$  極から  $N$  極に向かう方向を  $d$  軸とし、その  $d$  軸に垂直な  $q$  軸によって定義される回転座標であり、座標は、ロータの回転軸を原点として、相互に直交する軸及び軸によって定義される静止座標である。これら  $dq$  回転座標と静止座標との間では、電動機 5～8 の電気角  $e$  により、 $dq$  回転座標と静止座標との相対的な位相関係が特定できるので、相互に座標変換を行うことができる。

10

#### 【0027】

このようにして、 $d$  軸電流値  $i_d$  及び  $q$  軸電流値  $i_q$  が求められると、電流座標変換部 23 は、さらに、 $d$  軸電流値  $i_d$  と  $q$  軸電流値  $i_q$  とを合成した電流ベクトルの電流位相と電流振幅とを求める。電流位相は、例えば  $d$  軸を基準とした場合、 $d$  軸と電流ベクトルとがなす角度として求められる。また、電流振幅は、電流ベクトルの長さとして求められる。求めた電流位相及び電流振幅は、トルク推定部 24 に出力される。

#### 【0028】

トルク推定部 24 は、 $dq$  座標における電流ベクトルの電流位相と電流振幅とに基づき、回転数演算部 22 により与えられる回転方向を示す情報を考慮して、電動機 5 が実際に発生している駆動トルクの推定値を算出する。なお、電流位相及び電流振幅の算出は、トルク推定部 24 において行うようにしても良い。トルク推定部 24 において算出された駆動トルクの推定値は、電流制御部 25 に出力される。

20

#### 【0029】

電流制御部 25 は、目標駆動トルクと、実際に電動機 5 が発生している駆動トルクの推定値との差異に基づき、その差異を小さくするように、インバータ 11 を駆動するための PWM 信号のデューティ比を算出する。この算出したデューティ比を持つ PWM 信号がインバータ 11 に出力されることにより、電動機 5 が発生する駆動トルクが目標駆動トルクに一致するように、電動機 5 の通電電流が制御される。

#### 【0030】

ここで、本実施形態においては、上述したように、前後左右の 4 つの車輪 1～4 毎に、それぞれ電動機 5～8 が設けられており、各車輪 1～4 に付与する駆動トルクをそれぞれ独立に制御可能となっている。そのため、電動機 5～8 のいずれか 1 つに異常が生じても、残りの 3 の電動機 5～8 により車両 100 を継続して走行させることが可能である。

30

#### 【0031】

ただし、異常が生じた 1 つの電動機 5～8 を駆動せず、他の電動機 5～8 によってその分の駆動トルク（駆動力）を補おうとすると、他の電動機 5～8 の負荷が過剰になりやすくなるとともに、車両 100 の走行安定性を低下させる可能性があることは否定できない。従って、電動機 5～8 に異常が生じた場合であっても、極力、その電動機 5～8 の駆動を継続できるようにすることが望ましい。

40

#### 【0032】

電動機 5～8 を正常に制御できなくなる状況は、種々の要因で起こりえる。例えば、1 つの電動機 5～8 において、ステータコイルの短絡や、異常温度上昇などの致命的な異常が発生した場合には、安全を期すため、全ての電動機 5～8 の制御を中止し、車両を停止させることが好ましい。また、1 つの電動機 5～8 において、ステータコイルの断線や、インバータ 11 内のスイッチング素子が故障した場合には、その異常が生じた電動機 5～8 は、正常に駆動することができない。そのため、この場合には、従来と同様に、異常が生じた電動機 5～8 を制御対象から外し、残りの正常な電動機 5～8 により、異常が生じた電動機 5～8 の駆動トルクを補いつつ、制御を継続する。

#### 【0033】

50

しかし、電動機 5 ~ 8 の通電電流を検出する電流センサ 16 a、16 b や、電動機 5 ~ 8 の回転を検出するレゾルバ 17 に異常が生じた場合、それらの検出信号に基づいて、ECU 10 から与えられる制御信号 (PWM 信号) が異常となって、電動機 5 ~ 8 は異常な挙動を示すが、電動機 5 ~ 8 そのものは正常に作動可能である。

#### 【0034】

そこで、本実施形態においては、電動機 5 ~ 8 の制御に異常が生じたときに、ECU 10 が、以下に示すフェイルセーフ制御を実行する。このフェイルセーフ制御の概要について述べると、電動機 5 ~ 8 の制御に異常が生じたとき、ECU 10 は、最初に、その異常の原因を判定する。そして、電動機 5 ~ 8 の制御の異常の原因が、電流センサ 16 a、16 b やレゾルバ 17 の故障にあると判定すると、ECU 10 は、レゾルバ角推定制御や電流推定制御において、それらのセンサ 16 a、16 b、17 によって検出されるはずであった検出値の推定値を求める。そして、ECU 10 は、異常となったセンサ 16 a、16 b、17 の検出結果ではなく、求めた推定値に基づいて、電動機 5 ~ 8 を制御する。これにより、センサ 16 a、16 b、17 に故障が生じたとき、電動機 5 ~ 8 の制御の異常の原因を取り除きつつ、電動機 5 ~ 8 の制御を継続することが可能になる。

#### 【0035】

以下、フェイルセーフ制御の詳細について、図 3 のフローチャートなどを参照しつつ、説明する。図 3 のフローチャートは、フェイルセーフ制御の基本的な流れを説明するためのものであり、このフローチャートで示されるルーチンは、所定の時間毎に繰り返し実行される。

#### 【0036】

まず、ステップ S 100 では、電動機 5 ~ 8 の制御に何らかの異常を生じさせるフェイルが発生したか否かを判定する。例えば、ECU 10 の故障、インバータ 11 の故障、電動機 5 ~ 8 の通電経路における断線や過電流、バッテリー電圧の低下、電流センサ 16 a、16 b やレゾルバ 17 の故障などが、電動機 5 ~ 8 の制御に異常を生じさせるフェイルとして検出される。ステップ S 100 において、フェイルが発生したと判定されるとステップ S 110 の処理に進む。

#### 【0037】

ステップ S 110 では、フェイルが発生したと判定した原因が、致命的なものか否かを判定する。例えば、フェイル発生と判定した原因が、1 つ以上の電動機 5 ~ 8 において、ステータコイルの短絡や、異常温度上昇などである場合、致命的であると判定する。この場合、運転者が意図しない車両の挙動の防止や、電動機 5 ~ 8 の保護などのため、ステップ S 180 に進んで、全ての電動機 5 ~ 8 の制御を中止し、車両を停止させる。

#### 【0038】

ステップ S 110 において、フェイル発生の原因が致命的なものではないと判定した場合には、ステップ S 120 の処理に進む。ステップ S 120 では、1 つの車輪 1 ~ 4 に対応する、1 つの電動機 5 ~ 8 だけが異常となっているか否かを判定する。この場合、2 つ以上の電動機 5 ~ 8 が異常となっていると判定されると、フェイル発生の原因が致命的な場合と同様に、ステップ S 180 に進んで、車両を停止させる。一方、ステップ S 120 において、1 つの電動機 5 ~ 8 だけが異常になっていると判定すると、ステップ S 130 の処理に進む。なお、以降の説明では、電動機 5 が異常になったものと仮定して、説明を進める

ステップ S 130 では、電動機 5 のレゾルバ 17 に異常が発生しているか否か、すなわち、フェイル発生の原因が 1 つの電動機 5 におけるレゾルバ 17 の異常であるか否かを判定する。なお、レゾルバ 17 の異常としては、例えば、レゾルバ 17 が出力すべき検出信号が消失してしまった場合や、正弦波状及び余弦波状の検出信号の振幅異常が生じた場合などが挙げられる。ステップ S 130 において、レゾルバ 17 に異常が発生していると判定した場合、ステップ S 150 に進んで、レゾルバ角推定制御を実行する。このレゾルバ角推定制御に関しては、後に詳細に説明する。一方、ステップ S 130 において、レゾルバ 17 に異常は発生していないと判定すると、ステップ S 140 の処理に進む。

## 【 0 0 3 9 】

ステップ S 1 4 0 では、電動機 5 の 2 つの電流センサ 1 6 a、1 6 b のいずれか一方に異常が発生しているか否か、すなわち、フェイル発生の原因が、1 つの電動機 5 におけるいずれか一方の電流センサ 1 6 a、1 6 b の異常にあるか否かを判定する。なお、電流センサ 1 6 a、1 6 b の場合も、レゾルバ 1 7 の場合と同様に、検出信号の消失時や、検出信号の大きさの異常時などに、電流センサ 1 6 a、1 6 b の異常とみなすことができる。ステップ S 1 4 0 において、いずれか一方の電流センサ 1 6 a、1 6 b に異常が発生していると判定した場合、ステップ S 1 6 0 に進んで、電流推定制御を実行する。この電流推定制御に関しては、後に詳細に説明する。一方、ステップ S 1 4 0 において、いれか一方の電流センサ 1 6 a、1 6 b に異常は発生していないと判定すると、ステップ S 1 7 0 の処理に進む。

10

## 【 0 0 4 0 】

ステップ S 1 7 0 では、1 輪切り離し制御を実行する。ステップ S 1 7 0 の処理が実行されるのは、1 つの電動機 5 のみ異常となるフェイルが発生し、そのフェイル発生の原因が致命的なものではないが、かといって、レゾルバ 1 7 や電流センサ 1 6 a、1 6 b などのセンサ系の異常に起因するものでもない状況である。このような状況は、例えば、1 つの電動機 5 において、ステータコイルの断線が発生した場合や、インバータ 1 1 内のスイッチング素子が故障したような場合に発生する。このような状況では、電動機 5 を正常に制御することはできない。そのため、上述した 1 輪切り離し制御により、異常が発生した電動機 5 を制御対象から外す。これにより、異常が発生した電動機 5 に対応する車輪 1 は駆動力を発生することができなくなる。そのため、この場合は、従来と同様に、残りの正常な電動機 6 ~ 8 により、異常が発生した電動機 5 が発生すべき駆動トルクを補いつつ、制御を継続する。

20

## 【 0 0 4 1 】

次に、図 4 のブロック図などを参照しつつ、レゾルバ角推定制御について説明する。電動機 5 のレゾルバ 1 7 に異常が発生した場合、図 4 に示すように、レゾルバ 1 7 は、正常な検出信号を出力することができなくなる。このため、電気角演算部 2 1 及び回転数演算部 2 2 は、レゾルバ 1 7 から出力される検出信号に基づき、正しい電気角  $e$  及び回転数 1 を演算することができない。

## 【 0 0 4 2 】

そこで、本実施形態では、電気角及び回転数推定部 2 6 において、異常が発生した 1 つの電動機 5 以外の正常な電動機 6 ~ 8 に付随するレゾルバ 1 7 及び操舵角センサ 1 5 の検出信号から、異常が発生した 1 つの電動機 5 の電気角  $e$  及び回転数 1 を推定演算することとした。以下、推定演算の具体例について説明する。

30

## 【 0 0 4 3 】

図 5 に示すような車両モデルを考えた場合、各車輪 1 ~ 4 の位置における回転半径  $R_1$  ~  $R_4$  は、以下の数式 1 によって表すことができる。

## 【 数 1 】

$$R_1 = \frac{\frac{L}{\sin \alpha} + \sqrt{L^2 + \left(\frac{L}{\tan \beta} + Tf\right)^2}}{2}$$

$$R_2 = \frac{R_1 \cos \alpha - Tf}{\cos \beta}$$

$$R_3 = R_1 \cos \alpha - Tf$$

$$R_4 = R_1 \cos \alpha$$

40

## 【 0 0 4 4 】

なお、L は前後の車輪軸の軸間距離、T f は舵取り車輪（前輪）間の距離であり、これ

50

らは車両の諸元から既知の数値である。また、 $\beta$  は回転外側車輪の舵取り角度、 $\alpha$  は回転内側車輪の舵取り角度であり、操舵角センサ 15 が検出する操舵角から求めることが可能である。

【0045】

そして、車輪 1 ~ 4 の車輪半径を  $r_1 \sim r_4$  とし、各電動機 5 ~ 8、つまり各車輪の回転数（回転速度）を  $\omega_1 \sim \omega_4$  とし、車輪 1 ~ 4 の速度を  $V_1 \sim V_4$  とし、車両の旋回速度を  $V$  とすると、以下の数式 2 に示す関係が成り立つ。

【数 2】

$$r_1 \omega_1 = V_1 = R_1 \omega V$$

$$r_2 \omega_2 = V_2 = R_2 \omega V$$

$$r_3 \omega_3 = V_3 = R_3 \omega V$$

$$r_4 \omega_4 = V_4 = R_4 \omega V$$

10

【0046】

車輪 1 に対応する電動機 5 のレゾルバ 17 が故障した場合、回転数  $\omega_1$ 、ひいては車輪速度  $V_1$  を算出することはできないが、その他の車輪 2 ~ 4 に関しては、回転数  $\omega_2 \sim \omega_4$ 、及び車輪速度  $V_2 \sim V_4$  を算出することが可能である。

【0047】

従って、数式 2 における各車輪 2 ~ 4 に関する式から、車両旋回速度  $V$  は、以下の数式 3 のように表すことができる。

20

【数 3】

$$\omega V = \frac{\frac{r_2 \omega_2}{R_2} + \frac{r_3 \omega_3}{R_3} + \frac{r_4 \omega_4}{R_4}}{3}$$

【0048】

数式 3 を、数式 2 の車輪 1 に関する式に代入することにより、車輪 1 の回転数  $\omega_1$  は、以下の数式 4 によって表すことができる。

【数 4】

$$\omega_1 = \frac{R_1 \omega V}{r_1} = \frac{R_1}{r_1} \cdot \frac{\frac{r_2 \omega_2}{R_2} + \frac{r_3 \omega_3}{R_3} + \frac{r_4 \omega_4}{R_4}}{3} = \frac{L}{\sin \alpha} + \sqrt{L^2 + \left( \frac{L}{\tan \beta} + Tf \right)^2} \cdot \frac{\frac{r_2 \omega_2}{R_2} + \frac{r_3 \omega_3}{R_3} + \frac{r_4 \omega_4}{R_4}}{3} \cdot \frac{1}{2r_1}$$

30

【0049】

このようにして、電動機 5 の回転数に相当する車輪 1 の回転数  $\omega_1$  を、他の車輪の回転数  $\omega_2 \sim \omega_4$  及び操舵角から演算により求めることができる。そして、車輪 1 の回転数  $\omega_1$  から、以下に説明する演算式を用いて電気角の推定値  $e_{est}$  を求めることができる。

40

【0050】

ただし、演算により求めた電気角の推定値  $e_{est}$  は、後述するように、車輪の回転数  $\omega_1$  を積分していくことで、推定レゾルバ角  $r_{est}$  を求め、その推定レゾルバ角  $r_{est}$  にレゾルバの極対数と軸倍角により定まる変換係数  $N$  を乗じることによって求められる。このため、推定レゾルバ角  $r_{est}$  に誤差が含まれていると、電気角の推定値  $e_{est}$  を求める際に、その誤差が累積され、大きな誤差を含むことになる。

【0051】

そこで、本実施形態では、推定レゾルバ角  $r_{est}$  の誤差を補正する。具体的には、まず、求めた電気角の推定値  $e_{est}$  から、以下の数式 5 に従って、d 軸電流  $I_d$

50

と q 軸電流  $I_q$  とを求め、その求めた d 軸電流  $I_d$  と q 軸電流  $I_q$  とによって決定される電流推定値  $I_{est}$  の電流位相  $\theta$  を、数式 6 に従って算出する。

【数 5】

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

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

【数 6】

$$\theta = a \tan(I_q / I_d)$$

10

【0052】

上述したように、本実施形態では、電流制御部 25 は、電動機 5 の発生する駆動トルクが目標駆動トルクに一致するように、PWM 信号を生成する。従って、目標駆動トルクに対応する電流指令  $I_{com}$  と、上述した電流推定値  $I_{est}$  とを dp 座標において示した場合、電気角の推定値  $e\_est$  の誤差が小さければ、図 6 に示すように、電流推定値  $I_{est}$  は、電流指令  $I_{com}$  に比較的近い位置となる。

【0053】

換言すると、電気角の推定値  $e\_est$  の誤差が相対的に小さいときには、図 7 (a) に示すように、所定時間内の電流指令  $I_{com}$  に対する電流推定値  $I_{est}$  のブレは、比較的小さい範囲に収まる。一方、電気角の推定値  $e\_est$  の誤差が相対的に大きいときには、図 7 (b) に示すように、所定時間内の電流指令  $I_{com}$  に対する電流推定値  $I_{est}$  のブレは、比較的大きな範囲に及ぶ。

20

【0054】

この電流指令  $I_{com}$  に対する電流推定値  $I_{est}$  のブレの大きさは、電気角の推定値  $e\_est$  の誤差の大きさに対応している。そのため、本実施形態では、電流指令  $I_{com}$  に対する電流推定値  $I_{est}$  のブレの大きさから、以下に示す数式 7 を用いて、推定レゾルバ角  $r\_est$  に対する誤差補正值  $r\_offset$  を算出する。より具体的には、電流指令  $I_{com}$  に対する電流推定値  $I_{est}$  のブレの大きさは、電流位相を用いて表すことができ、所定時間内における電流推定値  $I_{est}$  の電流位相  $\theta$  の平均値と、電流指令  $I_{com}$  の電流位相  $\theta_{com}$  との差から、誤差補正值  $r\_offset$  を算出する。

30

【数 7】

$$\theta_{r\_offset} = \frac{1}{T_2 - T_1} \left( \sum_{T_1}^{T_2} \theta_i(t) \right) - \theta_{com}$$

【0055】

なお、 $T_1$ 、 $T_2$  は電流位相  $\theta$  の平均値を求める所定時間を規定するものである。

【0056】

この誤差補正值  $r\_offset$  を用い、以下の数式 8 に従い、推定レゾルバ角  $r\_est$  を求める。

40

【数 8】

$$\theta_{r\_est} = \theta_{r0} + \left( \sum_{T_1}^{T_2} \omega_1(t) \Delta t \right) + \theta_{r\_offset}$$

【0057】

なお、 $r_0$  は、レゾルバ 17 の故障が発生した時点におけるレゾルバ角初期値である。

【0058】

50

このように、レゾルバ角初期値  $r_0$  に対して、微小時間ごとに車輪の回転数  $1$  を積分してレゾルバ角の変化分を求めて加算しつつ、さらに誤差補正值  $r\_offset$  を加えることにより、推定レゾルバ角  $r\_est$  を求める。

【0059】

そして、レゾルバ17の取り付け時のオフセット  $offset$  の影響を排除しつつ、レゾルバ角を電気角に変換するため、以下の数式9により、電気角の推定値  $e\_est$  を算出する。

【数9】

$$\theta_{e\_est} = (\theta_{r\_est} - offset) \cdot N$$

10

【0060】

なお、 $N$  はレゾルバの極対数と軸倍角により定まる変換係数である。

【0061】

以上のようにして、ECU10は、レゾルバ17が故障した電動機5の電気角の推定値  $e\_est$  を算出すると、この推定値に基づいて、電流座標変換部23が座標変換を行い、トルク推定部24が駆動トルクの推定値を算出する。従って、レゾルバ17が故障した場合であっても、電動機5の制御を継続することができる。

【0062】

次に、図8のブロック図などを参照しつつ、電流推定制御について説明する。電動機5の2つの電流センサ16a、16bのいずれか一方に異常が発生した場合、例えば、図8に示すようにV相電流センサ16aが異常となった場合、V相電流センサ16aは、正常な検出信号を出力することができなくなる。このため、電流座標変換部23は、2つの電流センサ16a、16bが検出する電流値から、正しいd軸電流  $I_d$ 、q軸電流  $I_q$  を求めることができない。

20

【0063】

そこで、本実施形態では、電流推定制御を実行し、電流推定部27において、異常となったV相電流センサ16aが検出すべき、V相電流を推定演算することとした。以下、推定演算の具体例について説明する。

【0064】

図9、図10に示すように、各電動機5～8に流れる電流振幅（電流ベクトルの大きさ）を  $AI1 \sim AI4$  とし、バッテリー12からインバータ11に供給される電流を  $I5$  とし、配線やインバータ11での損失を  $loss$  とすると、以下の数式10に示す式が成り立つ。

30

【数10】

$$I5/\sqrt{3} = AI1 + AI2 + AI3 + AI4 + loss$$

【0065】

一方、電動機5においては、以下の数式11に示すように、U相電流  $I_u$ 、V相電流  $I_v$ 、W相電流  $I_w$  の合計はゼロになる。

【数11】

$$I_u + I_v + I_w = 0$$

40

【0066】

また、電動機5のU相電流  $I_u$  は、電流振幅  $AI1$  と電気角  $e$  とを用いて、数式12のように表すことができる。

【数12】

$$I_u = AI1 \sin(\theta_e)$$

【0067】

従って、数式10～数式12から、V相電流推定値  $I_v\_est$  は、以下の数式13か

50

ら求めることができる。

【数 1 3】

$$I_{v\_est} = A_{I1} \sin(\theta_e) - I_w = \left( \frac{I_s}{\sqrt{3}} - (A_{I2} + A_{I3} + A_{I4} + loss) \right) \sin(\theta_e) - I_w$$

【 0 0 6 8】

このように、電流推定部 27 は、2つの電流センサ 16 a、16 b のいずれか一方に異常が生じた場合に、その異常となった電流センサが検出すべき電流の推定値を演算する。このため、一方の電流センサが故障しても、電流座標変換部 23 において、座標変換により、正しい d 軸電流 I d、q 軸電流 I q を算出することが可能となる。

10

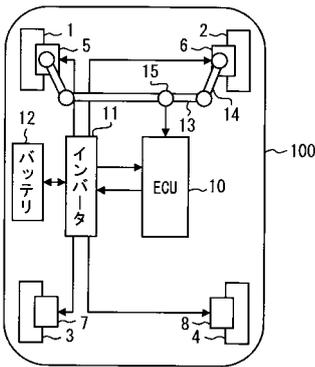
【符号の説明】

【 0 0 6 9】

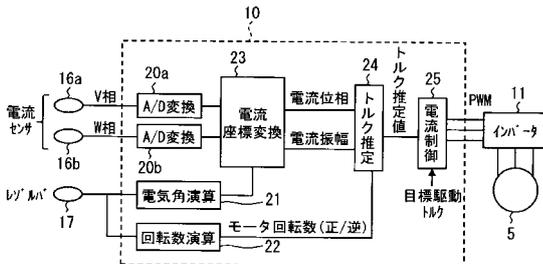
- 1 ~ 4 車輪
- 5 ~ 8 電動機
- 10 ECU
- 11 インバータ
- 12 バッテリ
- 20 a、20 b A / D 変換部
- 21 電気角演算部
- 22 回転数演算部
- 23 電流座標変換部
- 23 トルク推定部
- 25 電流制御部
- 26 電気角及び回転数推定部
- 27 電流推定部

20

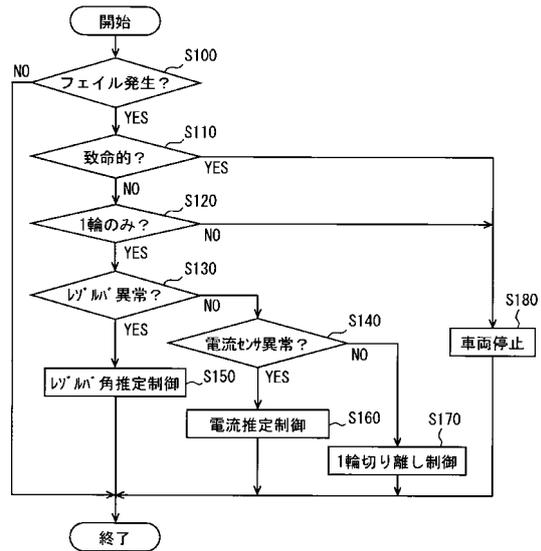
【 図 1】



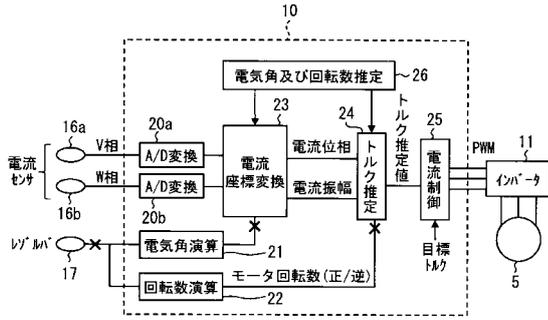
【 図 2】



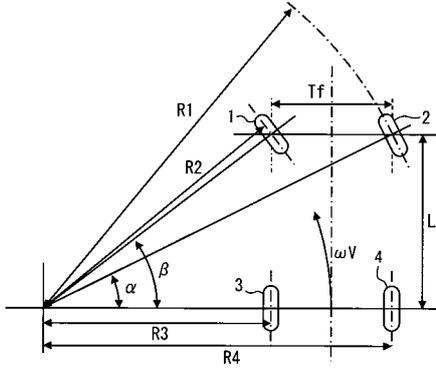
【 図 3】



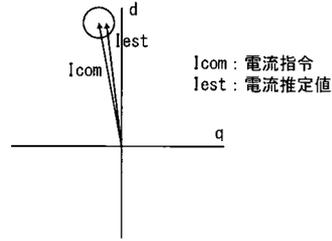
【 図 4 】



【 図 5 】

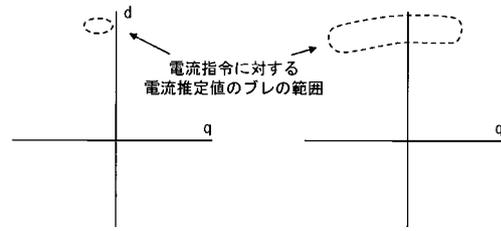


【 図 6 】

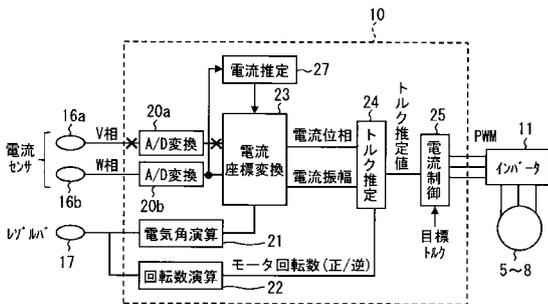


【 図 7 】

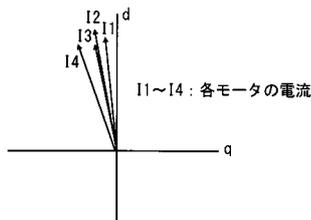
(a) 誤差が小さい場合 (b) 電気角の誤差が大きい場合



【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】

