

(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2008-228361
(P2008-228361A)

(43) 公開日 平成20年9月25日(2008.9.25)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード(参考)
B60L 3/00 (2006.01) B60L 3/00 Z 5H115
B60L 9/18 (2006.01) B60L 9/18 P

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2007-58295(P2007-58295)
 (22) 出願日 平成19年3月8日(2007.3.8)

特許法第30条第1項適用申請有り 発行所 Japan Automobile Research Institute 刊行物名 Proceedings EVS 22 該当ページ 第103~114ページ 発行日 平成18年10月23日

(71) 出願人 305027401
 公立大学法人首都大学東京
 東京都新宿区西新宿二丁目8番1号
 (74) 代理人 100116207
 弁理士 青木 俊明
 (74) 代理人 100096426
 弁理士 川合 誠
 (72) 発明者 武藤 信義
 東京都日野市旭が丘6-6 首都大学東京
 日野キャンパス内
 Fターム(参考) 5H115 PA08 PC06 PG04 PI16 PU08
 PV09 RB14 RB15 SE03 TR04
 TU01 TU04 TZ12

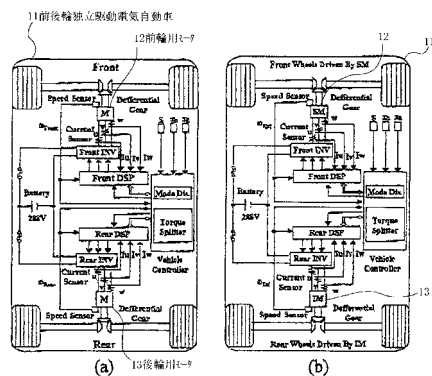
(54) 【発明の名称】 環境対策車

(57) 【要約】

【課題】前輪駆動系又は後輪駆動系に故障が発生しても、車両が停止してしまうことがなく、一般の交通環境下において安全性を高くすることができるようにする。

【解決手段】前輪の左右輪とディファレンシャルギアを介して連結された電気モータを含む前輪駆動系と、後輪の左右輪とディファレンシャルギアを介して連結された電気モータを含む後輪駆動系と、前記前輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクと後輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクとをそれぞれ独立に制御する前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構とを有する前後輪独立駆動型の環境対策車であって、前記前輪駆動系トルク制御機構の状況と後輪駆動系トルク制御機構の状況とを相互に監視しながら機能を補完する前後輪相互補完手段を有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

(a) 前輪の左右輪とディファレンシャルギアを介して連結された電気モータを含む前輪駆動系と、

(b) 後輪の左右輪とディファレンシャルギアを介して連結された電気モータを含む後輪駆動系と、

(c) 前記前輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクと後輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクとをそれぞれ独立に制御する前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構とを有する前後輪独立駆動型の環境対策車であって、

(d) 前記前輪駆動系トルク制御機構の状況と後輪駆動系トルク制御機構の状況とを相互に監視しながら機能を補完する前後輪相互補完手段を有することを特徴とする環境対策車。

10

【請求項 2】

前記前後輪相互補完手段は、前記前輪駆動系又は後輪駆動系のいずれか一方が故障した場合、当該一方の駆動系のトルク制御機構が故障直前に電気モータに指令した駆動トルク又は制動トルクの一部乃至全部を、他方の駆動系のトルク制御機構が電気モータに指令した駆動トルク又は制動トルクに加えて補完する請求項 1 に記載の環境対策車。

【請求項 3】

前記前後輪相互補完手段は、前記一方の駆動系のトルク制御機構が故障直前に電気モータに指令した駆動トルク又は制動トルクの一部乃至全部を、他方の駆動系のトルク制御機構が電気モータに指令した駆動トルク又は制動トルクに加えて補完する際に、その時点における他方の駆動系の滑り比に基づいて補完すべき駆動トルク又は制動トルクの指令を決定する請求項 2 に記載の環境対策車。

20

【請求項 4】

(a) 前輪の左右輪とディファレンシャルギアを介して連結された電気モータを含む前輪駆動系と、

(b) 後輪の左右輪とディファレンシャルギアを介して連結された電気モータを含む後輪駆動系と、

(c) 前記前輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクと後輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクとをそれぞれ独立に制御する前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構とを有する前後輪独立駆動型の環境対策車であって、

(d) 前記前輪駆動系及び後輪駆動系の電気モータに流れる電流、前記電気モータの回転速度、又は、前記電気モータに電力を供給する電力変換器の入力若しくは出力電流のいずれかの状態に基づいて前記前輪駆動系及び後輪駆動系の故障を判定する故障判定手段と、

(e) 該故障判定手段が故障と判定した場合、故障と判定された駆動系の駆動トルク及び制動トルクを制御するための指令をゼロとする操作、又は、故障と判定された駆動系の電力変換器の動作を停止させる信号を生成する操作を行う故障駆動系切替手段とを有することを特徴とする環境対策車。

30

【請求項 5】

前記故障判定手段は、前記前輪駆動系及び後輪駆動系の電気モータに流れる三相電流のうち二相以上の電流が検出されない場合、前記電気モータの回転速度を計測する速度センサからの信号が欠相した場合、又は、前記電力変換器の入力電流が所定の値を超えた場合に、故障と判定する請求項 4 に記載の環境対策車。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ハイブリッドカー、電気自動車、燃料電池車等の電気モータを含む駆動系を有する環境対策車に関するものである。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

従来、車両の動力源として、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン等の原動機に代わるものとして、燃料電池やバッテリーから供給される電力によって回転する電気モータを使用した電気自動車の開発が進められている。電気自動車は、ガソリン、軽油等の燃料を燃焼させないので、排気、騒音等の公害を発生しない等の利点を備えている。

【 0 0 0 3 】

また、駆動源として使用される電気モータが、原動機と比較して小型であり、かつ、発生トルク、回転数等の制御も容易であるため、複数の電気モータによって車両の前後輪を独立して駆動する前後輪独立駆動型の電気自動車の開発が進められている。前後輪を独立して駆動することによって車両の走行安定性が向上するだけでなく、電気モータを前後に配設することによりスペース効率、重量バランス等が向上する。

10

【特許文献1】なし

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

しかしながら、前記従来 of 電気自動車においては、電気モータを含む駆動系に何らかの故障が発生すると、安全性の観点から駆動系の動作を停止させるようなフェールセーフ制御が行われるようになってきている。このようなフェールセーフ制御が、周囲を他の車両が走行している一般の交通環境下において行われると、車両の流れの中で当該電気自動車だけが急停止してしまうこととなり、却（かえ）って危険な状態を引き起こす可能性がある。

20

【 0 0 0 5 】

本発明は、前記従来の問題点を解決して、前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構によって前輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクと後輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクとをそれぞれ独立に制御するとともに、前輪駆動系トルク制御機構の状況と後輪駆動系トルク制御機構の状況とを相互に監視しながら機能を補完するようにして、前輪駆動系又は後輪駆動系に故障が発生しても、車両が停止してしまうことがなく、一般の交通環境下において安全性が高い環境対策車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 6 】

そのために、本発明の環境対策車においては、前輪の左右輪とディファレンシャルギアを介して連結された電気モータを含む前輪駆動系と、後輪の左右輪とディファレンシャルギアを介して連結された電気モータを含む後輪駆動系と、前記前輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクと後輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクとをそれぞれ独立に制御する前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構とを有する前後輪独立駆動型の環境対策車であって、前記前輪駆動系トルク制御機構の状況と後輪駆動系トルク制御機構の状況とを相互に監視しながら機能を補完する前後輪相互補完手段を有する。

30

【 0 0 0 7 】

本発明の他の環境対策車においては、さらに、前記前後輪相互補完手段は、前記前輪駆動系又は後輪駆動系のいずれか一方が故障した場合、当該一方の駆動系のトルク制御機構が故障直前に電気モータに指令した駆動トルク又は制動トルクの一部乃至全部を、他方の駆動系のトルク制御機構が電気モータに指令した駆動トルク又は制動トルクに加えて補完する。

40

【 0 0 0 8 】

本発明の更に他の環境対策車においては、さらに、前記前後輪相互補完手段は、前記一方の駆動系のトルク制御機構が故障直前に電気モータに指令した駆動トルク又は制動トルクの一部乃至全部を、他方の駆動系のトルク制御機構が電気モータに指令した駆動トルク又は制動トルクに加えて補完する際に、その時点における他方の駆動系の滑り比に基づいて補完すべき駆動トルク又は制動トルクの指令を決定する。

【 0 0 0 9 】

本発明の更に他の環境対策車においては、前輪の左右輪とディファレンシャルギアを介

50

して連結された電気モータを含む前輪駆動系と、後輪の左右輪とディファレンシャルギアを介して連結された電気モータを含む後輪駆動系と、前記前輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクと後輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクとをそれぞれ独立に制御する前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構とを有する前後輪独立駆動型の環境対策車であって、前記前輪駆動系及び後輪駆動系の電気モータに流れる電流、前記電気モータの回転速度、又は、前記電気モータに電力を供給する電力変換器の入力若しくは出力電流のいずれかの状態に基づいて前記前輪駆動系及び後輪駆動系の故障を判定する故障判定手段と、該故障判定手段が故障と判定した場合、故障と判定された駆動系の駆動トルク及び制動トルクを制御するための指令をゼロとする操作、又は、故障と判定された駆動系の電力変換器の動作を停止させる信号を生成する操作を行う故障駆動系切替手段とを有する。

10

【0010】

本発明の更に他の環境対策車においては、さらに、前記故障判定手段は、前記前輪駆動系及び後輪駆動系の電気モータに流れる三相電流のうち二相以上の電流が検出されない場合、前記電気モータの回転速度を計測する速度センサからの信号が欠相した場合、又は、前記電力変換器の入力電流が所定の値を超えた場合に、故障と判定する。

【発明の効果】**【0011】**

本発明によれば、環境対策車においては、前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構によって前輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクと後輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクとをそれぞれ独立に制御するとともに、前輪駆動系トルク制御機構の状況と後輪駆動系トルク制御機構の状況とを相互に監視しながら機能を補完するようになっている。これにより、前輪駆動系又は後輪駆動系に故障が発生してフェールセーフ制御を行っても、車両が停止してしまうことがなく、安全性を向上させることができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】**【0012】**

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。

【0013】

図1は本発明の実施の形態における環境対策車の駆動系の構成を示す図、図2は本発明の実施の形態における環境対策車のフェールセーフ制御方法の概念を示す図、図3は本発明の実施の形態における環境対策車のシステム構成を示す図である。

30

【0014】

図において、11は本実施の形態における環境対策車としての前後輪独立駆動電気自動車11であり、制御システム10によってその動作の制御が行われる。なお、本実施の形態において、環境対策車とは、例えば、ハイブリッドカー、電気自動車、燃料電池車等のように、電気モータを含む駆動系を有する車両である。

【0015】

そして、前記前後輪独立駆動電気自動車11は、前輪を駆動するための電気モータとしての前輪用モータ12、及び、後輪を駆動するための電気モータとしての後輪用モータ13を有し、車両の前輪及び後輪をそれぞれ独立して駆動する。また、前輪の左右輪及び後輪の左右輪は、作動機構、すなわち、ディファレンシャルギアを介して、前輪用モータ12及び後輪用モータ13の回転軸に連結されている。これにより、前後輪独立駆動電気自動車11が左右に旋回する際に発生する内輪差をスムーズに吸収することができる。

40

【0016】

なお、図1(b)に示される前後輪独立駆動電気自動車11は、図1(a)に示される前後輪独立駆動電気自動車11の前輪用モータ12及び後輪用モータ13をシンクロナスマータ及びインダクターモータに変更したものであり、他の点の構成においては、図1(a)に示される前後輪独立駆動電気自動車11と同様である。

【0017】

本実施の形態において、前輪用モータ12及び後輪用モータ13に電力を供給する電力源は、例えば、乾電池等の一次電池、バッテリー、キャパシタ等の二次電池等であるが、こ

50

れらに限定されることなく、燃料電池であってもよいし、太陽電池、原子力電池、熱電池等の物理電池であってもよく、いかなる種類のものであってもよい。

【0018】

そして、前輪用モータ12によって前輪を駆動する前輪駆動系と、後輪用モータ13によって後輪を駆動する後輪駆動系とは、互いに独立した駆動系であり、互いに独立して動作する。なお、前輪用モータ12及び後輪用モータ13が発生する出力トルクは、互いに等しくてもよいし、等しくなくてもよい。

【0019】

また、前記制御システム10は、前輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクを制御する前輪駆動系トルク制御機構と、後輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクを制御する後輪駆動系トルク制御機構とを有する。そして、前記前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構は、前輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクと後輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクとをそれぞれ独立に制御する。

10

【0020】

なお、前記制御システム10は、前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構の他に、中央制御システムを有する。そして、例えば、運転者がアクセルペダル、ブレーキペダル等の操作手段を操作することによって発生する操作入力は、前記中央制御システムにより処理され、前記操作入力に応じた加速、減速等の動作を行うための動作指令が、前記中央制御システムから前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構に対して出力され、前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構は、前記動作指令に応じて前輪駆動系及び後輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクを制御する。これにより、前後輪独立駆動電気自動車11は、運転者の操作に従って走行することができる。

20

【0021】

さらに、前記制御システム10は、図2に示されるような方法によって、フェールセーフ制御を行うことができる。ここで、前記制御システム10は、前記前輪駆動系トルク制御機構の状況と後輪駆動系トルク制御機構の状況とを相互に監視しながら機能を補完する前後輪相互補完手段を有する。

【0022】

そして、該前後輪相互補完手段は、前記前輪駆動系又は後輪駆動系のいずれか一方が故障した場合、故障した一方の駆動系のトルク制御機構が故障直前に前輪用モータ12又は後輪用モータ13に指令した駆動トルク又は制動トルクの一部乃至全部を、故障していない健全な他方の駆動系のトルク制御機構が前輪用モータ12又は後輪用モータ13に指令した駆動トルク又は制動トルクに加えて補完するようになっている。この場合、前後輪相互補完手段は、補完する際に、その時点における他方の駆動系の滑り比に基づいて、補完すべき駆動トルク又は制動トルクの指令を決定する。

30

【0023】

また、前記制御システム10は、前輪用モータ12及び後輪用モータ13に流れる電流、前輪用モータ12及び後輪用モータ13の回転速度、又は、前輪用モータ12及び後輪用モータ13に電力を供給する電力変換器としてのインバータの入力若しくは出力電流のいずれかの状態に基づいて前輪駆動系及び後輪駆動系の故障を判定する故障判定手段を有するとともに、該故障判定手段が故障と判定した場合、故障と判定された駆動系の駆動トルク及び制動トルクを制御するための指令をゼロとする操作、又は、故障と判定された駆動系のインバータの動作を停止させる信号を生成する操作を行う故障駆動系切替手段を有する。

40

【0024】

なお、前記故障判定手段は、前輪用モータ12及び後輪用モータ13に流れる三相電流のうち二相以上の電流が検出されない場合、前輪用モータ12及び後輪用モータ13の回転速度を計測する速度センサからの信号が欠相した場合、又は、インバータの入力電流が所定の値を超えた場合に、故障と判定するようになっている。

50

【 0 0 2 5 】

そして、前輪駆動系又は後輪駆動系に故障が発生すると、前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構の機能を相互補完しながら、前後輪独立駆動電気自動車 11 を停止させることなく、その走行を継続させる。発生した故障が重大なものでない場合、例えば、いずれかのセンサの故障である場合、故障の発生していない方の制御システムが、他方の制御システムにおける故障したセンサの機能を補完して耐故障制御 (Fault Tolerant Control) を行うことによって、他方の駆動系の動作を維持して前後輪独立駆動電気自動車 11 の走行を継続させる。また、発生した故障が重大なものである場合、例えば、インバータやモータの故障である場合、故障の発生した駆動系を分離して、故障の発生していない方のトルク制御機構が故障の発生していない方の駆動系を制御して、前後輪独立駆動電気自動車 11 の走行を継続させる。これにより、前輪駆動系又は後輪駆動系に故障が発生しても、前後輪独立駆動電気自動車 11 が停止してしまわないので、周囲を他の車両が走行している一般の交通環境下において、安全性を維持することができる。

10

【 0 0 2 6 】

図に示される例において、制御システム 10 の故障判定手段は、前輪用モータ 12 及び後輪用モータ 13 に供給される三相電流、前輪用モータ 12 及び後輪用モータ 13 の回転速度を計測する速度センサからの信号、並びに、前輪駆動系及び後輪駆動系のインバータの入力電流を検出することによって故障を判断する。そして、前輪駆動系又は後輪駆動系のインバータ又はモータが故障すると、故障した方の駆動系を分離して、正常な方の駆動系のみによって前後輪独立駆動電気自動車 11 の走行を継続させる。一方、速度センサが故障すると、故障の状態が補完可能なものか否かを判断する。そして、補完可能でない場合には、インバータ又はモータが故障した場合と同様に、故障した方の駆動系を分離して、正常な方の駆動系のみによって前後輪独立駆動電気自動車 11 の走行を継続させる。また、補完可能である場合には、故障したセンサの機能を補完して耐故障制御を行うことによって前後輪独立駆動電気自動車 11 の走行を継続させる。

20

【 0 0 2 7 】

次に、前記構成の制御システム 10 の動作について説明する。まず、前輪用モータ 12 及び後輪用モータ 13 に供給される電流量を検出する動作について説明する。

【 0 0 2 8 】

図 4 は本発明の実施の形態における電流センサが故障した場合のフェールセーフ制御の動作を示す図、図 5 は本発明の実施の形態における一相の故障を検出する回路を示す図、図 6 は本発明の実施の形態における二相の故障を検出する回路を示す図、図 7 は本発明の実施の形態における三相の故障を検出する回路を示す図、図 8 は本発明の実施の形態における一相又は二相の故障を検出する回路のシミュレーション結果を示す図である。

30

【 0 0 2 9 】

前輪用モータ 12 及び後輪用モータ 13 に供給される三相電流を検出するために、3つの電流センサが使用される。そして、電流センサの故障には、一相の故障、二相の故障及び三相の故障の3つの状態があり、次のように検出される。

【 0 0 3 0 】

40

【 数 1 】

電流センサによって検出された三相電流 I_u 、 I_v 、 I_w は、コンパレータによってパルス信号 U 、 V 、 W と、それらの論理否定 \bar{U} 、 \bar{V} 、 \bar{W} とに変換される。図 5 に示されるように、D タイプのフリップフロップを使用すると、 (U, \bar{U}) 、 (V, \bar{V}) 及び (W, \bar{W}) の各二信号の組み合わせの1つの立ち上がりタイミングにおける各 U 、 V 又は W の信号変化を把握することによって、一相の故障を検出することができる。二信号を使用する理由は、できる限り速やかに検出可能な信号を使用して故障した電流センサの相を検出することができるようにするためである。

【 0 0 3 1 】

50

【数 2】

このことは、図 8 に示されるようなシミュレーションによって検証された。例えば、U 相の電流センサが故障したとき、二信号の組み合わせ (V 、 \bar{V}) の 1 つである V が上昇する時点 t_1 において U 相の故障が検出される。1 つの相、すなわち、U 相だけが故障しているので、故障した電流センサの機能は、他の 2 つ、すなわち、V 相及び W 相の正常なセンサで検出された 2 つの電流を使用して補完される。このような故障においては、図 4 に示されるような動作によって、前後輪独立駆動電気自動車 11 は、突発的に停止することなく、走行を継続することができる。

【0032】

10

【数 3】

また、二相の故障は、U 及び V 相、V 及び W 相、W 及び U 相において発生すると考えられ、図 6 に示されるような回路によって検出される。このような故障は、(U 、 \bar{U})、(V 、 \bar{V}) 及び (W 、 \bar{W}) の各二信号の組み合わせの 1 つが変化する立ち上がりタイミングにおける (U 、 V)、(V 、 W) 及び (W 、 U) の二相信号の論理レベルを把握することによって検出される。例えば、図 8 に示される例においては、W 及び U 相間に二相の故障が発生しているが、まず、U 相に一相の故障が発生し、その後、W 相に故障が発生している。二相の故障を検出する技術の有効性は、信号 V の論理否定 \bar{V} が上昇する時の W 相の信号を把握することによって時点 t_2 で二相の故障を検出したことを示している図 8 のシミュレーション結果により、確認することができる。

20

【0033】

【数 4】

さらに、三相の故障、すなわち、すべての電流センサが故障したときの故障は、R-F フリップフロップから成る回路によって容易に検出される。三相の故障は、図 7 に示されるような R-S フリップフロップのすべての端子 \bar{Q} からの出力信号の状態を判断することによって検出される。この場合、すべての出力信号が「H」レベルであるときに、三相の故障であると判断される。

30

電流センサは、通常、ホール素子から成るので、2 種類の故障状態、すなわち、機能が低下した状態及び完全に故障した状態を有する。電流センサの機能が低下すると、前後輪独立駆動電気自動車 11 の駆動トルクを正確に制御することが困難となる。また、電流センサが完全に故障すると、前記駆動トルクを制御することは完全に不可能となる。

【0034】

そのため、電流センサの 2 種類の故障状態を検出する必要がある。さらに、前後輪独立駆動電気自動車 11 が故障によって突然に停止すると、交通事故を起こしかねない。そこで、2 つ以上のセンサが同時に故障しない限り、他の正常なセンサが故障したセンサの機能を補完して、前後輪独立駆動電気自動車 11 の走行を継続させるようになっている。これが、電流センサが故障した場合におけるフェールセーフ制御の基本的な概念である。

40

【0035】

なお、電流センサの故障はハードウェアによって検出することもできるし、ソフトウェアによって検出することもできる。そこで、次に、ソフトウェアによって検出する方法について説明する。

【0036】

まず、図 4 に示されるように、電流センサによって検出された三相電流 I_u 、 I_v 、 I_w の和が次の式 (1) を満足するか否かが判断される。

$$I_u + I_v + I_w = \dots \text{式 (1)}$$

なお、 $I_u + I_v + I_w$ は、前後輪独立駆動電気自動車 11 が通常に走行している際における許容誤差

50

であり、その値はほぼゼロである。

【0037】

そして、前記式(1)が満足されない場合、すなわち、計測された三相電流の間における三相のバランスが維持されない場合、電流センサが劣化しているか又は故障していると考えられる。しかし、いずれの電流センサが故障しているかを判断することができない。そこで、自己電流 $I_{u'}$ 、 $I_{v'}$ 、 $I_{w'}$ を使用して自己チェックが行われる。なお、自己電流 $I_{u'}$ 、 $I_{v'}$ 、 $I_{w'}$ は、実際に測定せずに、二相電流 (I_v 、 I_w)、(I_w 、 I_u)、(I_u 、 I_v) に基づき、次の式(2)~(4)を使用して算出される。

$$I_{u'} = -(I_v + I_w) \cdots \text{式(2)}$$

$$I_{v'} = -(I_w + I_u) \cdots \text{式(3)}$$

$$I_{w'} = -(I_u + I_v) \cdots \text{式(4)}$$

電流が交流であるので、計算された電流 ($I_{u'}$ 、 $I_{v'}$ 、 $I_{w'}$) と計測された電流 (I_u 、 I_v 、 I_w) とを直接比較することは困難である。そこで、次の式(5)を使用して、交流の電流量を直流の電流量に変換する。

【0038】

【数5】

$$\begin{bmatrix} I_d(n) \\ I_q(n) \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta(n) & \sin\theta(n) \\ -\sin\theta(n) & \cos\theta(n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_u(n) \\ I_v(n) \\ I_w(n) \end{bmatrix} \cdots \text{式(5)}$$

この変換は、三相電流のバランスが維持された状態にないので、常に三相電流を必要とする。一般的に、電流センサが故障していない場合、計測された電流 (I_u 、 I_v 、 I_w) を使用して変換された磁化成分 $I_d(n)$ 及び $I_q(n)$ は、 $I_q^*(n)$ が変化しない限り、電流調整器の作用によるそれらの基準 $I_d^*(n)$ 及び $I_q^*(n)$ に一致する。このように、3つの組み合わせ ($I_{d1}(n)$ 、 $I_{q1}(n)$)、($I_{d2}(n)$ 、 $I_{q2}(n)$) 及び ($I_{d3}(n)$ 、 $I_{q3}(n)$) が前記式(5)を使用して計算される。これは、3つの電流の組み合わせ ($I_{u'}(n)$ 、 $I_v(n)$ 、 $I_w(n)$)、($I_u(n)$ 、 $I_{v'}(n)$ 、 $I_w(n)$) 及び ($I_u(n)$ 、 $I_v(n)$ 、 $I_{w'}(n)$) に各々対応する。

【0039】

次に、駆動系が安定した状態にある場合、時刻 n におけるトルク電流基準 $I_q^*(n)$ は、次の式(6)に基づく計算によって得られる $I_{q1}(n)$ 、 $I_{q2}(n)$ 及び $I_{q3}(n)$ と比較される。

【0040】

【数6】

$$\frac{|I_q^*(n) - I_{qj}^*(n)|}{I_q^*(n)} < \varepsilon' \quad (j=1,2,3) \cdots \text{式(6)}$$

なお、誤差 ε' の値はほぼゼロである。

【0041】

また、駆動系が安定した状態にない場合、故障状態が前述のハードウェアによって判断される。例えば、U相のセンサのみが故障している場合、U相のセンサの故障は計算されたトルク電流 $I_{q2}(n)$ 及び $I_{q3}(n)$ から判断される。故障したU相のセンサによって電流が計測されるので、前記式(6)の誤差は許容値 ε' より大きくなる。そこで、正しく検出された電流 $I_{q1}(n)$ を使用してフェールセーフ制御が行われる。計算されたすべての電流 $I_{q1}(n)$ 、 $I_{q2}(n)$ 及び $I_{q3}(n)$ が前記式(6)を満足しない場合、2つ以上の電流センサが故障であると判断され、駆動系は正常な駆動系のみ切り替えられる。

。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 2 】

次に、速度センサが故障した場合のフェールセーフ制御の動作について説明する。

【 0 0 4 3 】

図 9 は本発明の実施の形態における速度センサが故障した場合のフェールセーフ制御の動作を示す図、図 1 0 は本発明の実施の形態における A 相又は B 相の信号の欠相を検出する回路を示す図、図 1 1 は本発明の実施の形態における A 相又は B 相の信号の欠相を検出するタイミングチャートを示す図である。

【 0 0 4 4 】

速度センサの故障は、前後輪独立駆動電気自動車 1 1 の駆動系に大きな影響を及ぼす。通常、光学的ロータリーエンコーダが速度センサとして使用される。該速度センサは、センサの構成部材の性能低下及びセンサに繰り返し加えられる振動によって、使用中に故障することがある。突然の停止による交通事故を防止するために、速度センサの故障状態に基づいたフェールセーフ制御、すなわち、耐故障制御が必要である。互いに 9 0 度の位相差がある A 相信号及び B 相信号、並びに、シンクロナスマータにおける磁極の基準位置を示す Z 相信号が速度センサによって生成される。

10

【 0 0 4 5 】

そして、図 9 に示されるように、フェールセーフ制御は、速度センサの故障状態を判断して行われる。A 相信号及び B 相信号が欠相しているときは、正常な信号によって異常な信号を補完して、前後輪独立駆動電気自動車 1 1 の走行を継続させるようになっている。また、A 相信号及び B 相信号、並びに、Z 相信号に異常があるときは、故障した方の駆動系を分離して、正常な方の駆動系のみによって前後輪独立駆動電気自動車 1 1 の走行を継続させる。

20

【 0 0 4 6 】

速度センサ、すなわち、光学的ロータリーエンコーダは、互いに 9 0 度の位相差がある二相信号としての A 相信号及び B 相信号を生成する。そして、各信号の欠相は、レベル状態、すなわち、各信号のレベルが変化するときの上昇及び下降のタイミングでの H (1) レベル及び L (0) レベルを観察することによって検出される。これは、車両の前進及び後退に対応する時計回り方向及び反時計回り方向の二相のために欠相を検出する必要があるためである。

【 0 0 4 7 】

図 1 0 には、このような考え方を實現する回路が示されている。該回路は、4 つの D タイプフリップフロップ (D - F F 1 - 4) を備え、D - F F s の信号出力に基づいて A 相信号又は B 相信号のいずれが欠相しているのかを判断する。前記回路において、D - F F 1 及び D - F F 2 は B 相信号の上昇及び下降のタイミングで A 相信号の欠相を観察し、D - F F 3 及び D - F F 4 は A 相信号の上昇及び下降のタイミングで B 相信号の欠相を観察する。

30

【 0 0 4 8 】

前記回路が欠相を検出する動作の例は、図 1 1 に示されるようなタイミングチャートを使用して説明することができる。時点 $t = t_1$ で A 相信号が欠相した場合、D - F F 1 は、B 相信号が下降した時点 $t = t_2$ で欠相を検出する。一方、時点 $t = t_3$ で B 相信号が欠相した場合、D - F F 4 は、A 相信号が上昇した時点 $t = t_4$ で欠相を検出する。最終的な欠相の判断は、他の D - F F の出力によって欠相を検出した D - F F の出力がなされたときに行われる。

40

【 0 0 4 9 】

図 1 0 において、D - F F 1 及び D - F F 4 の出力は、D - F F 2 及び D - F F 3 の出力に各々一致する。ここで、A 相信号及び B 相信号が欠相した場合、前記出力は、図 1 1 に示されるように、H 又は L レベルになる。欠相の判断は、車両の運転に重大な影響を及ぼすので、他の技術を使用して二重チェックされるべきである。

【 0 0 5 0 】

A 相信号又は B 相信号のいずれかが時刻 ($t + 1$) で欠相したとすると、計測期間中の

50

速度差が前の時刻 (t) で正確に得られた速度 (n) の半分未満となることに基づき、次の式 (7) が他の判断条件として使用される。

【 0 0 5 1 】

【 数 7 】

$$|\omega(n+1) - \omega(n)| \leq \frac{\omega(n)}{2} \quad \dots \text{式 (7)}$$

次に、A 相信号及び B 相信号の欠相を検出する他の方法について説明する。

【 0 0 5 2 】

前述の欠相を検出する方法では、観察されている信号の欠損が確実に検出されるために、観察される信号が正常であることを前提とする。したがって、A 相信号及び B 相信号が同時に欠相すると検出されないことになる。このような状態では、前輪又は後輪の速度 f 又は r は検出されないで、ゼロとされる。これにより、二相信号が同時に欠相した状態が検出される。しかし、車輪がロックされた場合も含まれてしまうので、車輪がロックされた場合を除外する必要がある。

10

【 0 0 5 3 】

車輪のロックは、ブレーキ操作が行われた場合なので、次の式 (8) 及び (9) を使用して、前輪及び後輪の滑り比 S b f、S b r を算出することによって検出される。

【 0 0 5 4 】

【 数 8 】

20

$$Sf = \left| \frac{(V - R\omega_f)}{V} \right| \quad \dots \text{式 (8)}$$

$$Sr = \left| \frac{(V - R\omega_r)}{V} \right| \quad \dots \text{式 (9)}$$

なお、V は加速センサから見積もられた車両の速度であり、R はタイヤの半径である。

【 0 0 5 5 】

ブレーキ時に滑り比が 1 に近くなるまで増加するときは少なくとも一方の車輪の速度、すなわち、R f 又は R r がゼロになるので、車輪のロックが発生したことによって速度がゼロであると判断される。滑り比が通常範囲である 0 . 1 と 0 . 3 との間にあるときに車輪の速度がゼロになったことが検出されると、欠相であると判断される。相信号の欠相と車輪のロックとが同時に発生すると、滑り比の制御性から欠相が判断される。

30

【 0 0 5 6 】

次に、Z 相信号の欠相を検出する方法について説明する。

【 0 0 5 7 】

Z 相信号は、ロータリーエンコーダが 1 回転する毎に発生する。通常、ロータリーエンコーダはシンクロナスモータのモータ軸 (ロータ) にセットされるので、Z 相信号の生成タイミングはシンクロナスモータのロータの磁極の位置に一致する。そのため、磁極の位置は Z 相信号を検出することによって認識される。シンクロナスモータが 1 回転するときのロータの回転角は、Z 相信号が生成されている間にロータリーエンコーダによって生成される A 相信号及び B 相信号の数を数えるカウンタを使用することにより把握することができる。すなわち、Z 相信号が生成される期間は、カウンタが 2 に達する値に対応する。そのため、Z 相信号の欠相は、カウンタによってカウントされた値 (n) が次の式 (1 0) を満足するか否かによって判断される。

40

【 0 0 5 8 】

【 数 9 】

$$\theta(n) - 2\pi \leq 0 \quad \dots \text{式 (10)}$$

50

次に、欠相した相信号を補完する方法について説明する。

【0059】

図12は本発明の実施の形態におけるA相信号又はB相信号が欠相した場合の保管方法を示す図である。

【0060】

A相信号及びB相信号に欠相があるときは、正常な相信号に基づいて補完相信号が再現される。図6には、正常な相信号に対して半周期の位相差がある相信号を再現する方法が示されている。この場合、最高速度に到達したときにも、正常な相信号と再現された相信号との間に位相差が存在するように周期Tが決定され、正常な相信号と再現された相信号との間の位相が遅れているか否かは、シフトレバーの位置が前進か後退かによって判断される。

10

【0061】

一方、A相信号、B相信号及びZ相信号のすべてに欠相があるとき、前後輪独立駆動電気自動車11は、故障のある駆動系を切り離し、正常な駆動系のみを使用する。

【0062】

次に、制御システム10の検証結果について説明する。

【0063】

図13は本発明の実施の形態における制御システムの電流センサが故障した場合の検証結果を示す図、図14は本発明の実施の形態における制御システムのA相信号が欠相した場合の検証結果を示す図、図15は本発明の実施の形態における制御システムのA相信号及びB相信号が欠相した場合の検証結果を示す図、図16は本発明の実施の形態における制御システムのZ相信号が欠相した場合の検証結果を示す図、図17は本発明の実施の形態における制御システムの前輪駆動系が故障した場合の検証結果を示す図、図18は本発明の実施の形態における制御システムの前輪駆動系がコーナリング中に故障した場合の検証結果を示す図、図19は本発明の実施の形態における制御システムの後輪駆動系が故障した場合の検証結果を示す図、図20は本発明の実施の形態における制御システムの後輪駆動系がコーナリング中に故障した場合の検証結果を示す図である。

20

【0064】

図13に示される例においては、まず、時刻 $t = t_1$ でU相の電流センサが故障し、次に、時刻 $t = t_2$ でW相の電流センサが故障している。最初の故障では、故障したU相の電流センサは、他の2つの電流センサを使用して完全に補完され、故障した駆動系も動作しているので、前後輪独立駆動電気自動車11は前輪駆動系及び後輪駆動系によって走行を継続する。しかし、他の相のセンサが故障(図に示される例においては、W相の電流センサが故障)すると、故障した前輪駆動系は前後輪独立駆動電気自動車11の駆動系から切り離され(図に示される例においては、V相の電流もゼロになる)、その後、後輪駆動系のみによってフェールセーフな走行が行われる。

30

【0065】

図14においては、A相信号を生成する速度センサが時刻 $t = t_1$ で故障した例が示されている。しかし、時刻 $t = t_2$ で欠相したA相信号は正常なB相信号によって速やかに補完され、再生されたA相信号が時刻 $t = t_2$ で生成される。その結果、前輪駆動系及び後輪駆動系は通常通りに動作し、前後輪独立駆動電気自動車11は停止することなく走行を継続する。A相信号、B相信号及びZ相信号が欠相すると、図15及び16に示されるように、故障した駆動系は前後輪独立駆動電気自動車11の駆動系から即座に切り離される。

40

【0066】

2つ以上の電流センサが故障したとき、又は、A相信号、B相信号及びZ相信号が欠相したとき、故障した駆動系は前後輪独立駆動電気自動車11の駆動系から即座に切り離される。このようなフェールセーフ制御の効果は、図17~20に示されるように、プロトタイプの前後輪独立駆動電気自動車11を使用して、直線及びコーナを走行したときの実験結果によって確認された。

50

【 0 0 6 7 】

このように、本実施の形態においては、前輪駆動系トルク制御機構及び後輪駆動系トルク制御機構によって前輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクと後輪駆動系の駆動トルク及び制動トルクとをそれぞれ独立に制御するとともに、前輪駆動系トルク制御機構の状況と後輪駆動系トルク制御機構の状況とを相互に監視しながら機能を補完するようになっている。これにより、前輪駆動系又は後輪駆動系に故障が発生しても、前後輪独立駆動電気自動車 1 1 は停止することなく、走行を継続する。そのため、周囲を他の車両が走行している一般の交通環境下において、突然の停止による交通事故を防止することができ、安全性が向上する。

【 0 0 6 8 】

また、前後輪相互補完手段が前輪駆動系トルク制御機構の状況と後輪駆動系トルク制御機構の状況とを相互に監視しながら機能を補完し、前輪駆動系又は後輪駆動系のいずれか一方が故障した場合、故障した一方の駆動系のトルク制御機構が故障直前に前輪用モータ 1 2 又は後輪用モータ 1 3 に指令した駆動トルク又は制動トルクの一部乃至全部を、故障していない健全な他方の駆動系のトルク制御機構が前輪用モータ 1 2 又は後輪用モータ 1 3 に指令した駆動トルク又は制動トルクに加えて補完する。そのため、応答性及び信頼性が高く、故障の発生に対して速やかに、かつ、確実に、前輪駆動系及び後輪駆動系のフェールセーフ制御を行うことができる。

【 0 0 6 9 】

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。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 7 0 】

【 図 1 】 本発明の実施の形態における環境対策車の駆動系の構成を示す図である。

【 図 2 】 本発明の実施の形態における環境対策車のフェールセーフ制御方法の概念を示す図である。

【 図 3 】 本発明の実施の形態における環境対策車のシステム構成を示す図である。

【 図 4 】 本発明の実施の形態における電流センサが故障した場合のフェールセーフ制御の動作を示す図である。

【 図 5 】 本発明の実施の形態における一相の故障を検出する回路を示す図である。

【 図 6 】 本発明の実施の形態における二相の故障を検出する回路を示す図である。

【 図 7 】 本発明の実施の形態における三相の故障を検出する回路を示す図である。

【 図 8 】 本発明の実施の形態における一相又は二相の故障を検出する回路のシミュレーション結果を示す図である。

【 図 9 】 本発明の実施の形態における速度センサが故障した場合のフェールセーフ制御の動作を示す図である。

【 図 1 0 】 本発明の実施の形態における A 相又は B 相の信号の欠相を検出する回路を示す図である。

【 図 1 1 】 本発明の実施の形態における A 相又は B 相の信号の欠相を検出するタイミングチャートを示す図である。

【 図 1 2 】 は本発明の実施の形態における A 相又は B 相の信号が欠相した場合の補完方法を示す図である。

【 図 1 3 】 本発明の実施の形態における制御システムの電流センサが故障した場合の検証結果を示す図である。

【 図 1 4 】 本発明の実施の形態における制御システムの A 相信号が欠相した場合の検証結果を示す図である。

【 図 1 5 】 本発明の実施の形態における制御システムの A 相信号及び B 相信号が欠相した場合の検証結果を示す図である。

【 図 1 6 】 本発明の実施の形態における制御システムの Z 相信号が欠相した場合の検証結果を示す図である。

10

20

30

40

50

【図17】本発明の実施の形態における制御システムの前輪駆動系が故障した場合の検証結果を示す図である。

【図18】本発明の実施の形態における制御システムの前輪駆動系がコーナリング中に故障した場合の検証結果を示す図である。

【図19】本発明の実施の形態における制御システムの後輪駆動系が故障した場合の検証結果を示す図である。

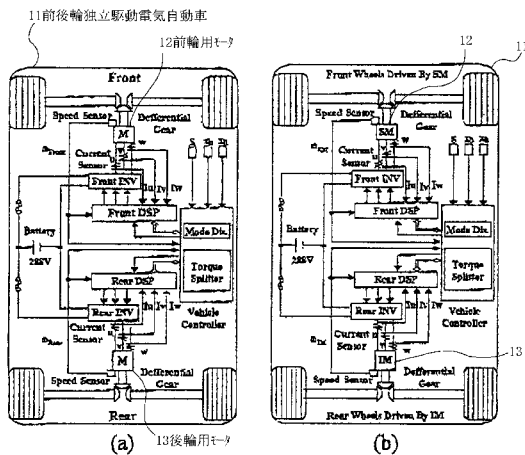
【図20】本発明の実施の形態における制御システムの後輪駆動系がコーナリング中に故障した場合の検証結果を示す図である。

【符号の説明】

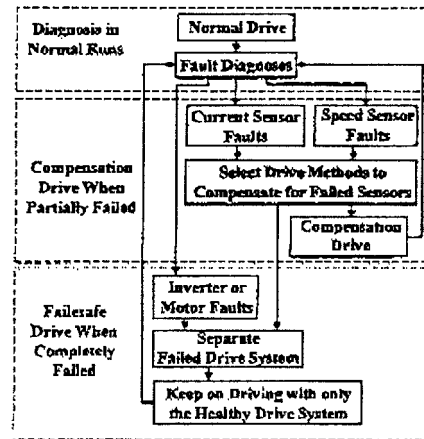
【0071】

- 11 前後輪独立駆動電気自動車
- 12 前輪用モータ
- 13 後輪用モータ

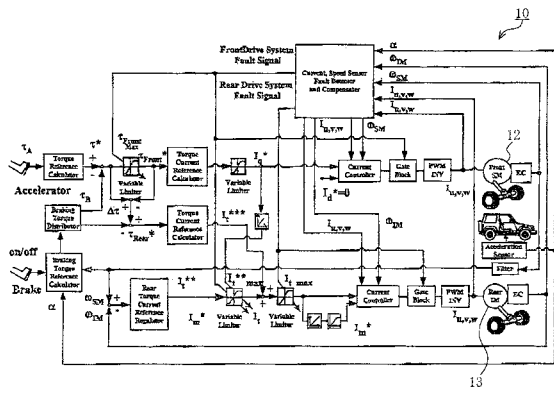
【図1】



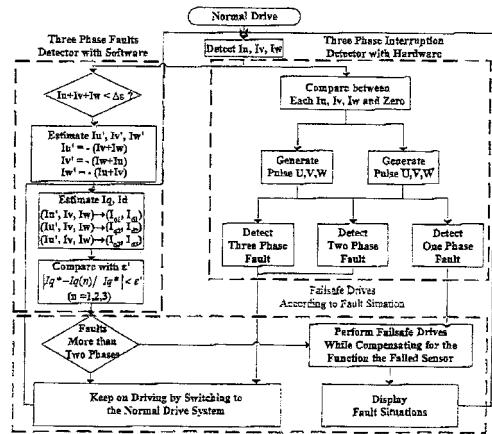
【図2】



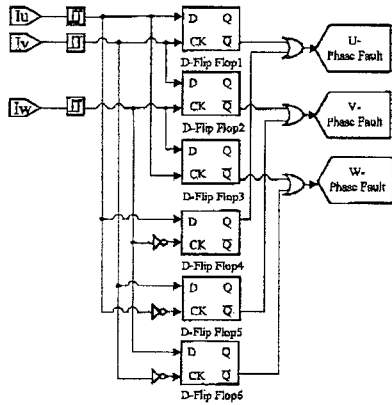
【 図 3 】



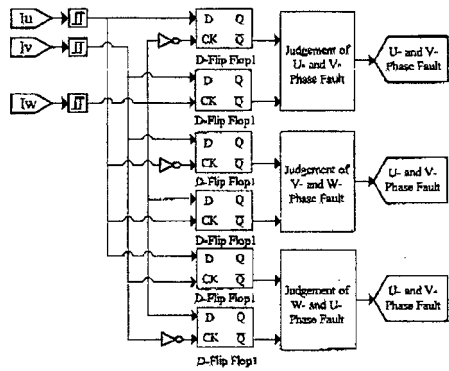
【 図 4 】



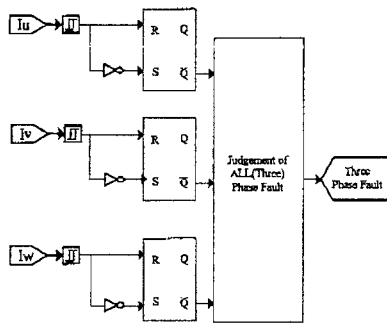
【 図 5 】



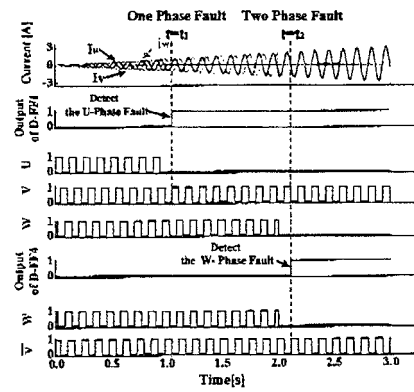
【 図 6 】



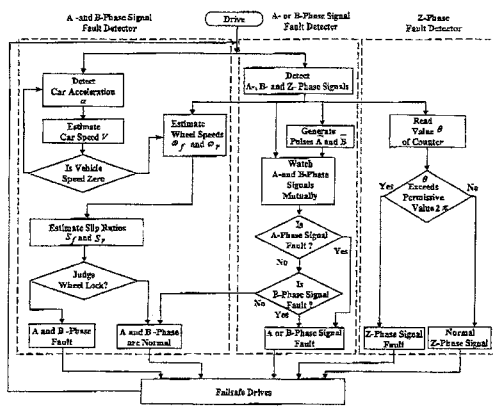
【 図 7 】



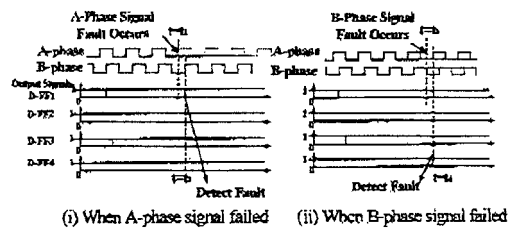
【 図 8 】



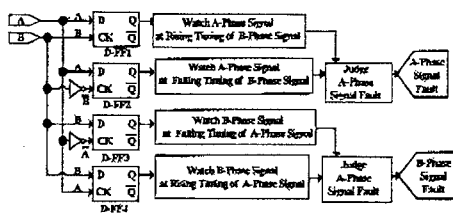
【 図 9 】



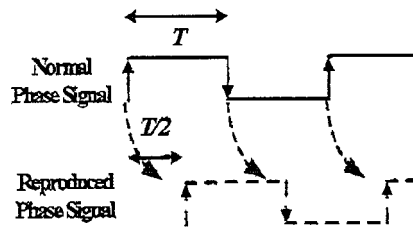
【 図 1 1 】



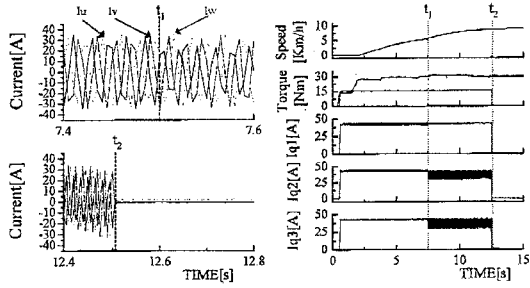
【 図 1 0 】



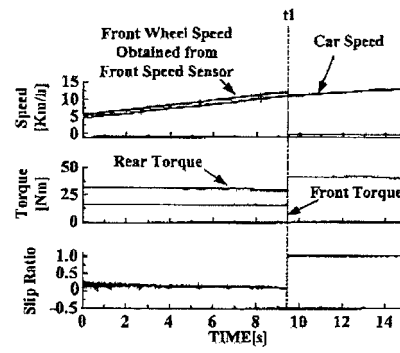
【 図 1 2 】



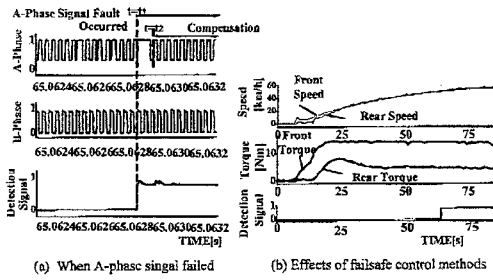
【 図 1 3 】



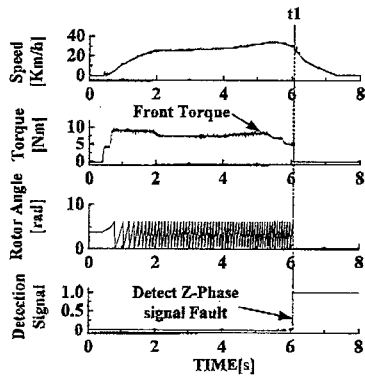
【 図 1 5 】



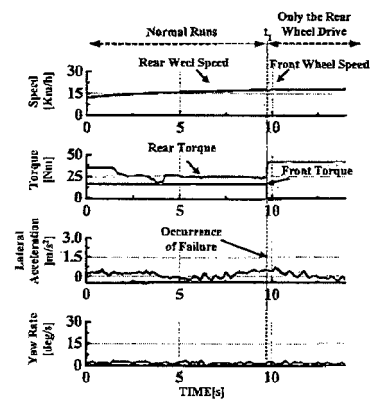
【 図 1 4 】



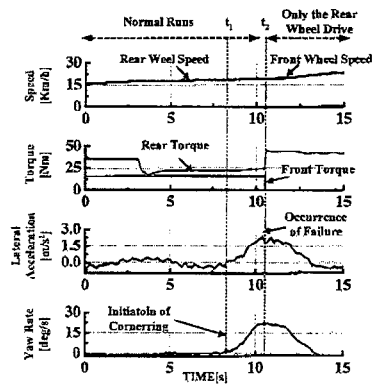
【 図 1 6 】



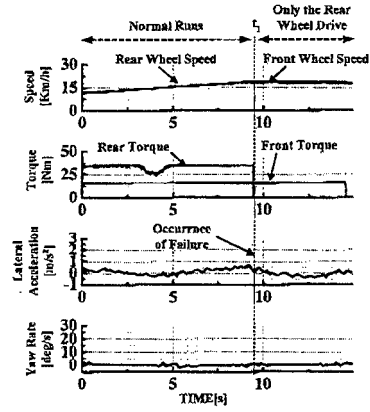
【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



【 図 1 9 】



【 図 2 0 】

