

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4686774号  
(P4686774)

(45) 発行日 平成23年5月25日 (2011.5.25)

(24) 登録日 平成23年2月25日 (2011.2.25)

(51) Int.Cl. F 1  
B 6 O L 15/20 (2006.01) B 6 O L 15/20 J

請求項の数 3 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2005-324003 (P2005-324003)	(73) 特許権者	503027931
(22) 出願日	平成17年11月8日 (2005.11.8)		学校法人同志社
(65) 公開番号	特開2007-135276 (P2007-135276A)		京都府京都市上京区今出川通烏丸東入玄武町601
(43) 公開日	平成19年5月31日 (2007.5.31)	(74) 代理人	100137486
審査請求日	平成20年11月7日 (2008.11.7)		弁理士 大西 雅直
		(72) 発明者	加藤 利次
			京都府京田辺市多々羅都谷1-3 同志社大学内
		(72) 発明者	井上 馨
			京都府京田辺市多々羅都谷1-3 同志社大学内
		審査官	竹下 晋司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電動車両の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

駆動輪と路面の間のスリップ率を表現するスリップ状態量を取得する取得手段と、スリップ率の上昇につれてトルク指令値を減じる項を少なくとも一部に含む関数からなる制御則を予め定め、この制御則に基づき前記取得手段で取得したスリップ状態量を用いてドライバーから入力されるトルク指令値に変換を加え、スリップ率と仮想摩擦係数との平衡点の関係を表す定スリップ率曲線の傾きを変換前に比べて急峻にすることで、任意のトルク指令値に対して当該定スリップ率曲線を路面摩擦関数と常に1つの交点で交叉する形に変形する指令値変換手段と、この指令値変換手段で変形された定スリップ率曲線上の前記1つの交点における前記スリップ率に対応するトルク入力値に基づき電動モータの駆動を行う駆動手段とを具備したことを特徴とする電動車両の制御装置。

10

【請求項2】

駆動輪と路面の間のスリップ率を表現するスリップ状態量を取得する取得手段と、あらゆるトルク指令値に対してスリップ率の上限を規定する項を少なくとも関数の一部に含む関数からなる制御則を予め定めこの制御則に基づき前記取得手段で取得したスリップ状態量を用いてドライバーから入力されるトルク指令値に変換を加え、スリップ率と仮想摩擦係数との平衡点の関係を表す定スリップ率曲線の傾きを変換前に比べて急峻にすることで、任意のトルク指令値に対して定スリップ率曲線を路面摩擦関数と常に1つの交点で交叉する形に変形する指令値変換手段と、この指令値変換手段で変形された定スリップ率曲線上の前記1つの交点における前記スリップ率に対応するトルク入力値に基づき電動モータの

20

駆動を行う駆動手段とを具備したことを特徴とする電動車両の制御装置。

【請求項3】

スリップ状態量としてスリップ率を直接取り扱うようにしている請求項1又は2記載の電動車両の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、トラクションコントロールやブレーキ制御等に好適に利用される電動車両の制御装置に関する。なお、本明細書において電動車両とは、電気自動車、電車、ハイブリッド車、電動バイク、アシスト式自転車、燃料電池車など、駆動のための電動モータを内蔵している車両全般を称する。

10

【背景技術】

【0002】

路面の状況に対してトルクの掛け方次第によっては、加速・減速時に大きなスリップ現象が生じ易くなり、車両の挙動が不安定になるばかりか、危険な状況に陥り易い。このような状況を改善するには、駆動力を確保しつつスリップ率を抑えることが重要である。

【0003】

特に電動車両の場合は、トルクの応答時定数が非常に小さいため、駆動輪のトルクを自由に制御することができる反面、駆動輪へのトルクのかけ方によっては、駆動輪のスリップ率が大幅に変動する可能性がある。その原因については従来より考察が加えられ、次のようなメカニズムが明らかになっている。

20

【0004】

例えば、図8(a)、(b)に示す2WDの電気自動車についてみると、タイヤ駆動力 $F_d$ は、路面摩擦関数 $\mu(\ )$ と垂直抗力 $N$ を用いて図10(1)式のように表される。ここで、路面摩擦関数 $\mu(\ )$ は、車両速度 $V$ 、車輪速度 $V_w$ を用いた(2)式で定義されるスリップ率のみで求まる非線形関数である。路面摩擦関数 $\mu(\ )$ の曲線形状はタイヤと路面状況により決まる。因みに、車両の解析においては、路面摩擦関数 $\mu(\ )$ を近似式(3)でモデル化したものが一般に用いられる。図8(c)はその曲線概要を示しており、路面状況によって概ね $\mu_1(\ ) \sim \mu_3(\ )$ の範囲の変動が予想される。

【0005】

30

ところで、車両の運動方程式は車両重量を $M$ として図10(4)式で表され、駆動輪の運動方程式は駆動軸の合成慣性モーメントを $J$ 、駆動輪の角速度を $\omega$ 、駆動輪軸の駆動トルクを $T_m$ 、タイヤ半径を $r$ として(5)式で表される。

【0006】

また、(5)式で表される駆動輪の運動方程式を、(4)式で表される車両の運動方程式の次元に合わせると、駆動輪軸の慣性モーメントの重量換算値を $M_w$ 、駆動輪軸の駆動トルク $T_m$ の力換算値を $F$ とし、 $F = V_w / r$ が成り立つとして、(6)式の関係式が得られる。以上の(1)~(5)式に示した関係を用いたモデルの概略が図9に示される。

【0007】

ここで、駆動輪に一定の駆動トルク $T_m$ を加えたとき、スリップ率 $s$ がある値で平衡状態となるようなタイヤ駆動力 $F_d$ 、指令トルク力換算値 $F$ との関係は以下のように考察される。

40

【0008】

モータの粘性摩擦係数や転がり抵抗が無視できるとすると、図10(2)式の両辺を時間 $t$ で微分して(7)式が、この(7)式に(4)式及び(6)式を代入して(8)式がそれぞれ導かれる。そして、スリップ率 $s$ の平衡状態を考えているので、(8)式でスリップ率の時間変化 $ds/dt$ を0とすると(9)式が得られ、この(9)式と(1)式及び $F = r \cdot T_m$ とから、(10)式が導出される。

【0009】

モータの発生する駆動トルク $T_m$ は、トルク入力値 $T$ と一致するように調整される。そこ

50

で、 $T$ を固定し  $\mu$  の関数としてみると、摩擦係数は図 1 1 のような曲線  $\mu^*(T, \mu)$  を描く。この曲線  $\mu^*(T, \mu)$  は、トルク入力値  $T$  が大きくなるほど全体として上に移動し、トルク入力値  $T$  を一定にすることで一意に決まる。これはあるスリップ率  $s$  において、そのスリップ率  $s$  が変化しなくなる（つまり平衡点となる）ような仮想的な摩擦係数（以下、「仮想摩擦係数」とする）を表しており、このようなスリップ率と仮想摩擦係数との平衡点の関係を表したものが定スリップ率曲線と称され、図 1 0 ( 1 1 ) 式の  $\mu^*(T, \mu)$  で示される。そして、この定スリップ率曲線  $\mu^*(T, \mu)$  と路面摩擦関数  $\mu(\mu)$  との交点が動作点となる。

#### 【 0 0 1 0 】

ここで、トルク入力値  $T$  を大きくしていくと、交点は 1 点 ( $T < T_1$ ) 2 点 ( $T = T_1$ ) 3 点 ( $T_1 < T < T_2$ ) 2 点 ( $T = T_2$ ) 1 点 ( $T_2 < T$ ) へと変化する。そして、交点が 2 点 1 点に変化するとき ( $\mu(\mu)$  の最大値を超えるとき) に、路面摩擦係数  $\mu(\mu)$  上におけるスリップ率  $s$  と摩擦係数  $\mu$  の値が大きくジャンプする現象が生じる。摩擦係数  $\mu$  の変動は駆動力の変動に直結しているため、この現象は駆動力の低下のみならず乗り心地の悪化や車輪の寿命を短くするなどの問題につながる。

10

#### 【 0 0 1 1 】

このような不具合を解消するためには、スリップ率  $s$  の大幅な変動を抑制し、なお駆動力を極力損なわないためのトルク制御方法が必要となる。スリップ時にモータに発生する逆起電力を捉えてスリップ率  $s$  を制御する手法も考えられているが、これだと制御が後手に回り、スリップ率の大幅な変動を抑止する上では不十分である。

20

#### 【 0 0 1 2 】

そこで、例えば非特許文献 1、2 等に示されるように、摩擦係数  $\mu$  が路面摩擦関数  $\mu(\mu)$  上のどの位置にあるかを逐次推定し、それが最大値となる付近のスリップ率  $s$  を超えないようにスリップ率制御器からトルク指令を出して、実際のトルク指令に反映させモータを駆動制御する手法が提案されている。

【非特許文献 1】東京大学工学部堀研究室，「電気自動車の制御に関する研究」（東大三月号の研究），1999 年 5 月

【非特許文献 2】電気学会論文誌 D 分冊 1 2 0 巻 4 号，「ファジィ推論を用いた電気自動車用トラクションコントロールシステムのための最適スリップ率推定器」，平成 1 2 年 4 月

30

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【 0 0 1 3 】

しかしながら、刻々変化する摩擦係数  $\mu$  を推定するのは難しく、このように本質的に非線形な特性の物理量を制御する場合、路面変化やノイズなどにより摩擦係数が推定値をはずれたときに上述した問題が発生する可能性が拭えないものであった。また、これを回避するために路面摩擦関数  $\mu(\mu)$  の最大値よりもかなり手前の摩擦係数  $\mu$  以内に動作点が収まるようにスリップ率制御器からトルク指令を出すように構成することもできるが、これだと駆動力が不十分になるというジレンマがあった。

#### 【 0 0 1 4 】

本発明は、このような制御上の問題がこれまでの定スリップ率曲線に準拠する限りについて回ることに着目し、定スリップ率曲線そのものを見直すことによって、上述した課題の抜本的解決を図り、スリップ率の大幅な変動を抑制でき尚かつ最大の駆動力（すなわち、 $\mu(\mu)$  の最大値付近）を発生するトルク制御を可能にする電動車両の制御装置を新たに提供しようとするものである。

40

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【 0 0 1 5 】

本発明は、かかる目的を達成するために、次のような手段を講じたものである。

#### 【 0 0 1 6 】

すなわち、本発明に係る電動車両の制御装置は、図 1 ( a ) に示すように、駆動輪と路

50

面の間のスリップ率を表現するスリップ状態量  $\mu^*$  を取得する取得手段 1 と、スリップ率の上昇につれてトルク指令値  $T^*$  を減じる項を少なくとも一部に含む関数からなる制御則  $f$  ( ) を予め定め、この制御則  $f$  ( ) に基づき前記取得手段 1 で取得したスリップ状態量  $\mu^*$  を用いてドライバーから入力されるトルク指令値  $T^*$  に変換を加え、スリップ率と仮想摩擦係数  $\mu$  との平衡点の関係を表す同図 (b) の変換前の定スリップ率曲線  $\mu^*(T, \mu)$  の傾きを急峻にすることで、任意のトルク指令値  $T^*$  に対して当該定スリップ率曲線  $\mu^*(T, \mu)$  を路面摩擦関数  $\mu$  ( ) と常に 1 つの交点で交叉するような形の定スリップ率曲線  $\mu^*(T^*, \mu)$  に変形する指令値変換手段 2 と、この指令値変換手段 2 で変形された定スリップ率曲線  $\mu^*(T^*, \mu)$  上の前記 1 つの交点における前記スリップ率  $\mu^*$  に対応するトルク入力値  $T$  に基づき電動モータ EM の発生する駆動トルク  $T_m$  を調整する駆動手段 3 とを具備するものである。

10

## 【0017】

すなわち、本発明は路面摩擦関数  $\mu$  ( ) 上の摩擦係数  $\mu$  を逐次監視するのではなく、定スリップ率曲線  $\mu^*(T, \mu)$  を変形した定スリップ率曲線  $\mu^*(T^*, \mu)$  と路面摩擦関数  $\mu$  ( ) との交点(すなわち動作点)が常に 1 点となるようにフィードバック補償を行なうだけである。

## 【0018】

このようにすれば、交点が 2 以上となる場合のように路面摩擦関数  $\mu$  ( ) が最大値を超えた際にスリップ率が大幅に変動するという現象が起こらないため、安定走行を実現することができ、安全性の向上も図ることができる。しかも、定スリップ率曲線  $\mu^*(T^*, \mu)$  は、後述のように車両に関する 4 つの定数と、スリップ率  $\mu^*$  を用いることで構成でき、実際の路面摩擦関数  $\mu$  ( ) を推定する必要がないため推定誤差の影響を受けることもなく、制御系も簡素なものとなる。その上、最大の  $\mu$  ( ) 付近を有効に利用できるため、望ましい加・減速性能に必要なトルクの確保とスリップ防止とを有効に両立させることができる。

20

## 【0019】

簡易かつ明確な手法としては、制御則  $f$  ( ) を、スリップ率が上昇するにつれてトルク指令値を減じる項を少なくとも一部に含む関数として規定しておくのが有効であり、スリップ率の絶対的抑制を目的とする場合には、制御則  $f$  ( ) を、あらゆるトルク指令値に対してスリップ率の上限を規定する項を少なくとも一部に含む関数として規定しておくことが有効となる。

30

## 【発明の効果】

## 【0020】

本発明は、以上説明した構成であるから、駆動輪のトルク指令値を大きくしてもスリップ率の大幅な変動を抑制でき、しかもスリップ率を最大の駆動力を発生する摩擦係数付近に制御できるため、乗り心地と加減速性能がよい上に、車輪の寿命の長い電動車両を実現することができる。

## 【0021】

特に、ハイブリッド自動車や電気鉄道等の発展に必要な不可欠な高トルクモータを搭載した電動車両に適用した場合には、そのスリップを抑制し最大の駆動力を発生する制御装置として極めて有用なものとなり得る。

40

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0022】

以下、本発明の実施形態を、図面を参照して説明する。

## (第 1 実施形態)

## 【0023】

本実施形態は、例えば制御対象を 2WD の電気自動車とし、駆動輪のスリップを適切に制御するためのもので、図 2 に示すように、スリップ状態量として駆動輪と路面の間のスリップ率  $\mu^*$  そのものを取得する取得手段 1 と、予め定めた制御則  $f_1$  ( ) に基づき前記

50

取得手段 1 で取得したスリップ率  $\mu$  を用いてドライバーから入力されるトルク指令値  $T_1^*$  に変換を加える指令値変換手段 2 と、この指令値変換手段 2 で変換された値をトルク入力値  $T$  として電動モータ  $EM$  の駆動を行う駆動手段 3 とを具備する。

【 0 0 2 4 】

取得手段 1 は、駆動輪から検出される車輪速度  $V$  と、従動輪から検出される車両速度  $V$  とに基づいてスリップ状態量であるスリップ率  $\mu$  を算出する。これらの速度検出は各車軸に設けたロータリエンコーダ等の検出手段によって行なう。

【 0 0 2 5 】

指令値変換手段 2 は、制御則  $f_1(\mu)$  として式 ( a ) に示すように、スリップ率  $\mu$  にゲイン  $K$  を乗じた値をトルク指令値  $T_1^*$  から減じる関数を規定する。そして、ドライバーのトルク指令値  $T_1^*$  と、前記取得手段 1 で取得したスリップ率  $\mu$  とを入力し、駆動手段 3 に入力するトルク入力値  $T$  を算出する。すなわち、スリップ率  $\mu$  が大きくなるにつれてトルク入力値  $T$  を減少方向にシフトする変換をなす。

【 0 0 2 6 】

駆動手段 3 は、トルク入力値  $T$  と一致する駆動トルク  $T_m$  を発生するように電動モータ  $EM$  を駆動する。

【 0 0 2 7 】

このような制御入力を加えることで、既述した ( 1 1 ) 式に表される定スリップ率曲線  $\mu^*(T, \mu)$  は、図 2 式 ( b ) 並びに図 4 及び図 5 に示す定スリップ率曲線  $\mu_1^*(T_1^*, \mu)$  に変形される。したがって、この新たな定スリップ率曲線  $\mu_1^*(T_1^*, \mu)$  と路面摩擦関数  $\mu(\mu)$  との交点が動作点となる。定スリップ率曲線  $\mu_1^*(T_1^*, \mu)$  は、図 2 式 ( b ) に明らかなように車両に関する 4 つの定数  $r$ 、 $N$ 、 $M$ 、 $M$  と、スリップ率  $\mu$  とから構成されている。

【 0 0 2 8 】

図 4 は、制御入力のゲイン  $K$  を  $K_1$  に固定し、トルク指令値  $T_1^*$  を増減させた場合の、定スリップ率曲線  $\mu_1^*(T_1^*, \mu)$  の変化の様子を示している。この定スリップ率曲線  $\mu_1^*(T_1^*, \mu)$  は、トルク指令値  $T_1^*$  が大きくなるほど全体として上に移動する。図 5 はそれよりも小さいゲイン  $K_2$  としたときの定スリップ率曲線  $\mu_1^*(T_1^*, \mu)$  の変化の様子を示している。

【 0 0 2 9 】

これらの図を参照すると、 $K = 0$  では定スリップ率曲線  $\mu^*(T, \mu)$  は変形されないが、制御入力のゲイン  $K$  の値を  $0 < K_1 < K_2$  と大きくすることで、曲線を原点に向かって凹となるように湾曲させ、路面摩擦関数  $\mu(\mu)$  のより左側の領域に定スリップ率曲線  $\mu_1^*(T_1^*, \mu)$  との交点を持つ範囲を制限できることがわかる。また、ゲイン  $K$  の値を大きくすると、定スリップ率曲線  $\mu_1^*(T_1^*, \mu)$  の傾きが急峻となる。そのため、例えばある一定のトルク指令値  $T_1^*$  の下で、 $K = K_1$  とときに路面摩擦関数  $\mu(\mu)$  の編曲点と 1 点でのみ交わり ( 図 4 における P 点参照 )、 $K_1 < K$  ( 例えば図 5 の  $K_2$  ) では最早交点が複数個となることはなくなり、一つの安定な平衡点に落ち着くことになる。つまり、任意のトルク指令値  $T_1^*$  に対して定スリップ率曲線  $\mu_1^*(T_1^*, \mu)$  が、路面摩擦関数  $\mu(\mu)$  と常に 1 点で交叉するように変形される。図 5 の状態から更に  $K_2 < K$  となると、定スリップ率曲線  $\mu_1^*(T_1^*, \mu)$  との交点を持つ範囲を最大値よりも更に左側の安定な領域に制限できることがわかる。

【 0 0 3 0 】

したがって、トルク指令値  $T_1^*$  が大きくなり、図 4 に示すように路面摩擦関数  $\mu(\mu)$  の最大値よりも右側の、従来であれば不安定な領域で交点を持つことになっても、そのスリップ率  $\mu$  の平衡点が一つならば、その最大値を多少越えた領域においても動作点を安定化させることができることを意味する。さらに、ゲイン  $K$  を大きくすることで、トルク指令値  $T_1^*$  が大きい場合でも、スリップ率  $\mu$  が過大になることはなく、かつ、スリップ率  $\mu$  をある一定の平衡点で安定化させることができる。

【 0 0 3 1 】

10

20

30

40

50

路面摩擦関数  $\mu(\cdot)$  は近似式ではあるものの実際の路面状況と大きくかけ離れた値をとることは考え難く、路面摩擦関数  $\mu(\cdot)$  にはピークが1つであるという性質も変わらないため、設計段階において想定される路面摩擦関数  $\mu(\cdot)$  に対してある程度余裕のあるゲイン設定をしておけば、後は摩擦係数  $\mu$  を監視することなく成り行きで運転してもあらゆる路面に対応し得るものとなる。

【0032】

よって、路面摩擦関数  $\mu(\cdot)$  上の摩擦係数  $\mu$  を推定して制御する場合に比べて、常に定スリップ率曲線  $\mu_1^*(T_1^*, \cdot)$  との交点(すなわち動作点)を1点に保って車両に安定走行を行なわせることが可能となる。

(第2実施形態)

10

【0033】

図3に示す本実施形態の指令値変換手段20は、制御則  $f_2(\cdot)$  として式(c)に示すように、あらゆるトルク指令値  $T_2^*$  に対してスリップ率の上限を規定する項( $limit$ )を一部に含む関数を規定する。そして、ドライバーのトルク指令値  $T_2^*$  と、前記取得手段1で取得したスリップ率  $s$  とを入力し、実際のトルク入力値  $T$  を算出する。

【0034】

このような制御入力を加えることで、既述した(10)式に表される定スリップ率曲線  $\mu^*(T, \cdot)$  は、図3式(d)並びに図4及び図5に示す定スリップ率曲線  $\mu_2^*(T_2^*, \cdot)$  に変形される。したがって、この新たな定スリップ率曲線  $\mu_2^*(T_2^*, \cdot)$  と路面摩擦関数  $\mu(\cdot)$  との交点が動作点となる。

20

【0035】

この実施形態の場合も、前記第1実施形態の場合と同様にスリップ率  $s$  をある一定の平衡点で安定化させることができる。この制御入力の場合、トルク指令値  $T_2^*$  が過大なときでも、設定した際上限のスリップ率  $limit$  以上になることはないため、スリップ率  $s$  の絶対的抑制に有効となる。また、ゲイン  $K$  の値を調整することで、定スリップ率曲線  $\mu_2^*(T_2^*, \cdot)$  の傾きを変化させることができるので、この実施形態も平衡点の数を1つに限定する調整が可能になることがわかる。

【0036】

以上、本発明の2つの実施形態について説明したが、各部の具体的な構成は、上述した実施形態のみに限定されるものではない。

30

【0037】

例えば、本発明のような制御則  $f(\cdot)$  を定めるにあたり、指数関数や折れ線関数、多項式など、種々の関数を用いることができ、そのゲインや係数も多種多様に設定することができる。要は制御則  $f(\cdot)$  は、路面摩擦関数と1点でのみ交叉するように定スリップ率曲線を変形し得る全ての関数を含むものとして定義することができる。

【0038】

また、スリップ状態量  $s$  として上記実施形態ではスリップ率  $s$  そのものを取扱うように構成したが、スリップ率  $s$  を表現するような変数であれば他のものでもよく、例えば電動モータ内の逆起電力、電流値等を取り扱うようにすれば、一部の演算を省略できる効果等が期待できる。

40

【0039】

さらに、上記実施形態は加速時のトラクション制御に本発明を適用したが、制動用にも同様に適用することができる。その場合の制御のブロック線図は図7のようになり、取得手段10のスリップ率  $s$  の計算式が異なるのみで他は上記と同様となる。

【0040】

その他の構成も、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1】本発明の構成説明図。

50

- 【図 2】本発明の第 1 実施形態を示すブロック線図。  
 【図 3】本発明の第 2 実施形態を示すブロック線図。  
 【図 4】第 1 実施形態において  $K = K_1$  としたときの作用説明図。  
 【図 5】第 1 実施形態において  $K = K_2$  としたときの作用説明図。  
 【図 6】第 2 実施形態の作用説明図。  
 【図 7】本発明の変形例を示すブロック線図。  
 【図 8】電動車両の数式モデルを導出するための図。  
 【図 9】電動車両の数式モデルを示すブロック線図。  
 【図 10】数式モデルに関する関係式を示す図。  
 【図 11】従来制御の不具合を説明する図。

10

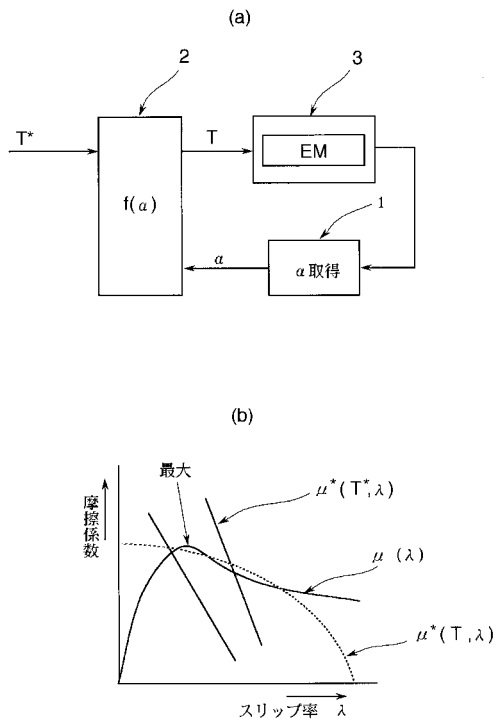
## 【符号の説明】

## 【0042】

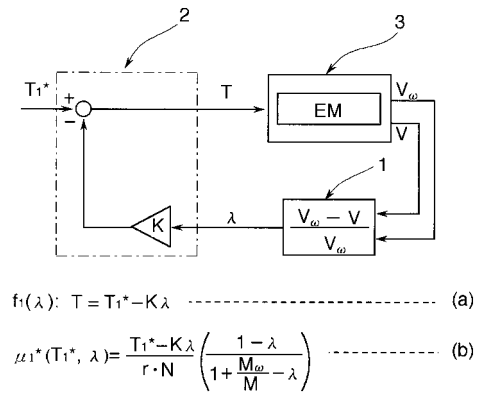
- 1 ... 取得手段  
 2 ... 指令値変換手段  
 3 ... 駆動手段  
 EM ... 電動モータ  
 $f(\quad)$  ... 制御則  
 $F_d$  ... タイヤ駆動力  
 $T$  ... トルク入力値  
 $T_m$  ... モータの発生する駆動トルク  
 $T^*$ 、 $T_1^*$ 、 $T_2^*$  ... トルク指令値  
 ... スリップ状態量  
 ... スリップ率  
 $\mu(\quad)$ 、 $\mu(\quad)$  ... 路面摩擦関数  
 $\mu^*(T, \quad)$  ... 定スリップ率曲線 (非制御)  
 $\mu^*(T^*, \quad)$  ... 定スリップ率曲線 (制御時)

20

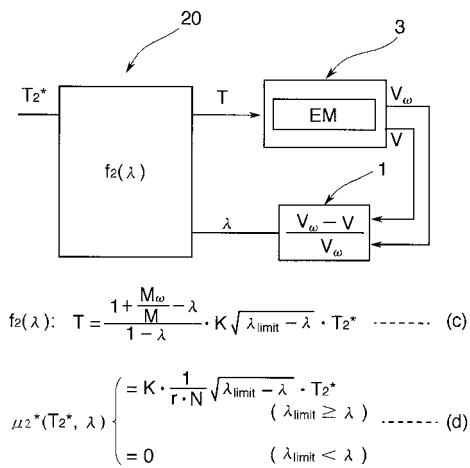
【図1】



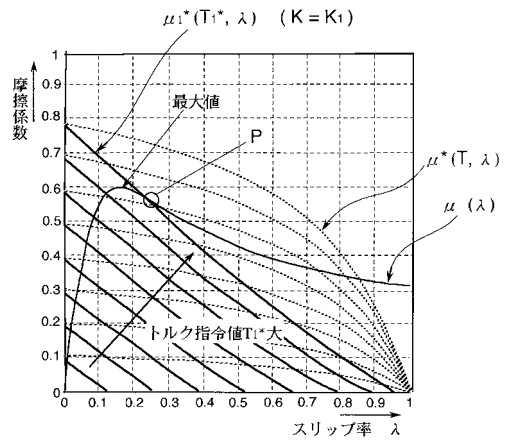
【図2】



【図3】

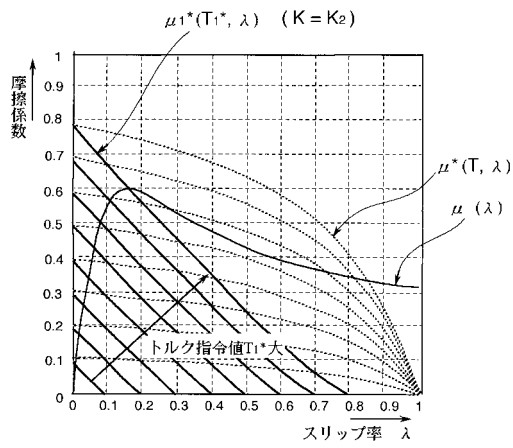


【図4】

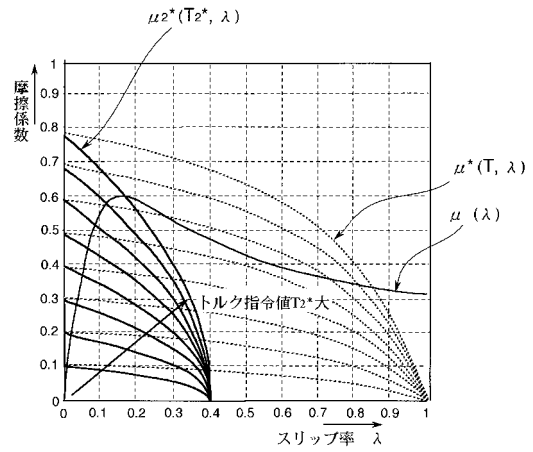




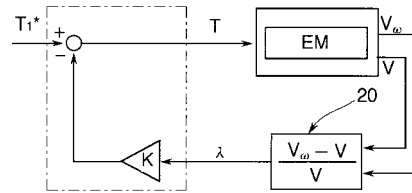
【図5】



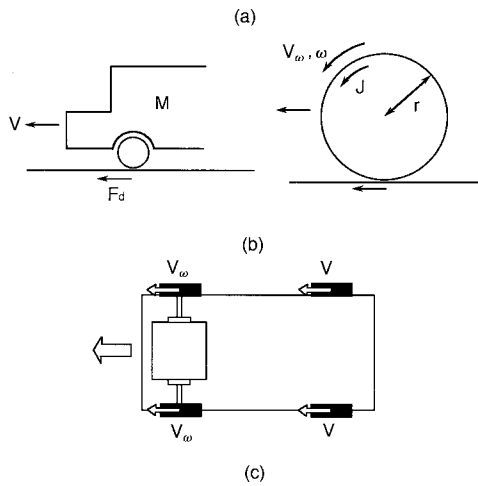
【図6】



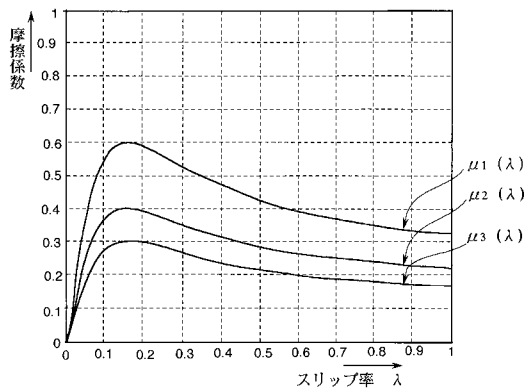
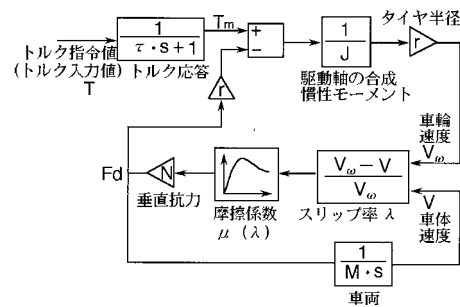
【図7】



【図8】



【図9】



【 図 1 0 】

$$F_d = \mu(\lambda) \cdot N \quad \text{----- (1)}$$

$$\lambda = \frac{V_\omega - V}{V_\omega} \quad \text{----- (2)}$$

$$\mu(\lambda) = A \sin(B \arctan(C\lambda)) \quad \text{----- (3)}$$

$$M \frac{dV}{dt} = F_d \quad \text{----- (4)}$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_m - F_d \cdot r \quad \text{----- (5)}$$

$$M_\omega \frac{dV_\omega}{dt} = F - F_d \quad \text{----- (6)}$$

$$- \frac{d\lambda}{dt} V_\omega + (1-\lambda) \frac{dV_\omega}{dt} = \frac{dV}{dt} \quad \text{----- (7)}$$

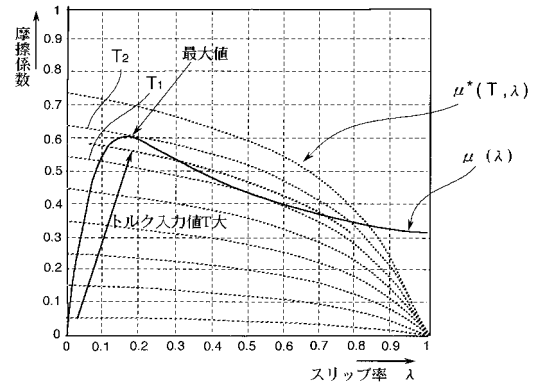
$$- \frac{d\lambda}{dt} V_\omega + (1-\lambda) \frac{1}{M_\omega} (F - F_d) = \frac{F_c}{M} \quad \text{----- (8)}$$

$$F_d = \frac{1}{1 + \frac{M_\omega}{M} \cdot \frac{1}{1-\lambda}} F \quad \text{----- (9)}$$

$$\mu(\lambda) = \frac{T_m}{r \cdot N} \left( \frac{1-\lambda}{1 + \frac{M_\omega}{M} - \lambda} \right) \quad \text{----- (10)}$$

$$\mu^*(T, \lambda) = \frac{T}{r \cdot N} \left( \frac{1-\lambda}{1 + \frac{M_\omega}{M} - \lambda} \right) \quad \text{----- (11)}$$

【 図 1 1 】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-254375(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B60L 1/00 - 15/42