

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7149713号
(P7149713)

(45)発行日 令和4年10月7日(2022.10.7)

(24)登録日 令和4年9月29日(2022.9.29)

(51)国際特許分類
B 6 0 L 15/20 (2006.01)F I
B 6 0 L 15/20 Y

請求項の数 8 (全21頁)

(21)出願番号	特願2018-16389(P2018-16389)	(73)特許権者	000102692
(22)出願日	平成30年2月1日(2018.2.1)		N T N 株式会社
(65)公開番号	特開2019-54707(P2019-54707A)		大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号
(43)公開日	平成31年4月4日(2019.4.4)	(74)代理人	100087941 弁理士 杉本 修司
審査請求日	令和3年1月26日(2021.1.26)	(74)代理人	100112829 弁理士 堤 健郎
(31)優先権主張番号	特願2017-175418(P2017-175418)	(74)代理人	100155963 弁理士 金子 大輔
(32)優先日	平成29年9月13日(2017.9.13)	(74)代理人	100150566 弁理士 谷口 洋樹
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74)代理人	100154771 弁理士 中田 健一
		(74)代理人	100142608

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 スリップ制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

電動機の力行・回生によって加速と減速が可能な車両に搭載され、車輪回転速度と許容車輪回転速度との偏差を算出すると共に、比例補償を行う可変の比例ゲインおよび微分補償を行う可変の微分ゲインのうちの少なくとも一方のゲインと積分補償を行う可変の積分ゲインとを用いて前記偏差からフィードバック演算値を計算し、入力された制御指令値を前記フィードバック演算値に応じて制御して前記電動機を駆動するスリップ制御装置であって、

フィードバックゲイン変更部を有し、

このフィードバックゲイン変更部は、

車速がしきい値以下のときに、

前記積分ゲインはそのまま維持させまたは低下させ、

前記比例ゲインおよび微分ゲインのうち、前記フィードバック演算値の計算に用いるゲインが比例ゲインおよび微分ゲインの両方である場合は両方のゲインまたはいずれか一方のゲインを低下させ、

前記フィードバック演算値の計算に用いるゲインが比例ゲインおよび微分ゲインのいずれか一方のみである場合はその用いるゲインを低下させ、

前記各ゲインの低下前の大きさに対する低下後の大きさの割合である低下後割合、ただし低下させないゲインについては維持させた場合の割合も低下後割合と称す、について、

前記積分ゲインの前記低下後割合を最も大きくする、

10

20

ことを特徴とするスリップ制御装置。

【請求項 2】

電動機の力行・回生によって加速と減速が可能な車両に搭載され、車輪回転速度と車速を用いて算出されるスリップ率とスリップ率許容値との偏差を算出すると共に、比例補償を行う可変の比例ゲインおよび微分補償を行う可変の微分ゲインのうちの少なくとも一方のゲインと積分補償を行う可変の積分ゲインとを用いて前記偏差からフィードバック演算値を計算し、入力された制駆動指令値を前記フィードバック演算値に応じて制御して前記電動機を駆動するスリップ制御装置であって、

フィードバックゲイン変更部を有し、

このフィードバックゲイン変更部は、

車速がしきい値以下のときに、

前記積分ゲインはそのまま維持させまたは低下させ、

前記比例ゲインおよび微分ゲインのうち、前記フィードバック演算値の計算に用いるゲインが比例ゲインおよび微分ゲインの両方である場合は両方のゲインまたはいずれか一方のゲインを低下させ、

前記フィードバック演算値の計算に用いるゲインが比例ゲインおよび微分ゲインのいずれか一方のみである場合はその用いるゲインを低下させ、

前記各ゲインの低下前の大きさに対する低下後の大きさの割合である低下後割合、ただし低下させないゲインについては維持させた場合の割合も低下後割合と称す、について、前記積分ゲインの前記低下後割合を最も大きくする、

ことを特徴とするスリップ制御装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のスリップ制御装置において、前記フィードバックゲイン変更部は、車両が加速しているか減速しているかを判断し、加速時と減速時とで、前記比例ゲイン、積分ゲイン、および微分ゲインのいずれか一つまたは複数について、前記車速が前記しきい値以下のときに低下させる前記ゲインの低下の方法を変えるスリップ制御装置。

【請求項 4】

請求項 2 に記載のスリップ制御装置において、前記フィードバックゲイン変更部は、車両が加速しているか減速しているかを判断し、加速時と減速時とで、前記比例ゲイン、積分ゲイン、および微分ゲインのいずれかについて、前記車速が前記しきい値以下のときに低下させる前記ゲインの前記低下の方法を変えるスリップ制御装置。

【請求項 5】

請求項 1 または請求項 3 に記載のスリップ制御装置において、定められた規則によりスリップに影響する車両の因子の状態量の検出値から前記許容車輪回転速度を計算する許容回転速度計算部と、車輪回転速度と前記許容車輪回転速度との偏差を計算する車輪回転速度偏差計算部と、前記積分補償と、比例補償もしくは微分補償またはその両方を行う可変の各ゲインを用いて前記偏差から前記フィードバック演算値を計算する制御器と、入力された制駆動指令値を前記フィードバック演算値に応じて変更し前記電動機のコントローラへ出力する制駆動指令値計算部とを備え、

前記フィードバックゲイン変更部は、車両が減速しているときには、同じ車速における加速時よりも、

比例ゲインもしくは微分ゲインの前記低下後割合を積分ゲインの前記低下後割合で除した値を小さくするスリップ制御装置。

【請求項 6】

請求項 2 または請求項 4 に記載のスリップ制御装置において、車輪回転速度と車速を用いてスリップ率を計算するスリップ率計算部と、スリップ率とスリップ率許容値との偏差を計算するスリップ率偏差計算部と、前記積分補償と、比例補償もしくは微分補償またはその両方を行う可変の各ゲインを用いて前記偏差から前記フィードバック演算値を計算する制御器と、入力された制駆動指令値を前記フィードバック演算値に応じて変更し前記電動機のコントローラへ出力する制駆動指令値計算部とを備え、

10

20

30

40

50

前記フィードバックゲイン変更部は、車両が減速しているときには、同じ車速における加速時よりも、

比例ゲインもしくは微分ゲインの前記低下後割合を積分ゲインの前記低下後割合で除した値を小さくするスリップ制御装置。

【請求項 7】

請求項 1ないし請求項 6のいずれか 1 項に記載のスリップ制御装置において、前記フィードバックゲイン変更部は、車速が前記しきい値以下とのときに、比例ゲインおよび微分ゲインのいずれか一方または両方を、零または零に近い値に変更するスリップ制御装置。

【請求項 8】

請求項 1ないし請求項 7のいずれか 1 項に記載のスリップ制御装置において、前記電動機は、駆動輪を独立に制御できる車両における前記駆動輪を駆動する電動機であるスリップ制御装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、車両のタイヤスリップを抑制するスリップ制御装置に関し、特に各車輪を電動機で駆動する電気自動車のスリップ制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、車両の加速時もしくは減速時に車輪がスピンもしくはロックするのを防止するスリップ制御装置が知られている。

20

例えば、特許文献 1 では、加速時に駆動輪の角加速度の値が角加速度しきい値を超えた場合に、角加速度にフィードバックゲインを乗じた項を含むトルク指令補正值を用いて、トルク指令にフィードバック制御を行っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開平 8 - 182119 号公報

特開 2017 - 022870 号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 では、加速時に駆動輪の角加速度の値が角加速度しきい値を超えた場合に、角加速度にフィードバックゲインを乗じた値を含むトルク指令補正值を用いて、トルク指令にフィードバック制御を行うことで、スリップ制御を行っている。このとき、車輪回転速度に応じて角加速度しきい値またはフィードバックゲインを設定変更している。

【0005】

ここで、特許文献 1 ではモータの出力特性を考慮し、高回転域では大トルクが出せないためにフィードバックゲインを変更している。しかし低速走行時の車輪回転速度の測定値の変動を考慮していない。車輪回転速度は、単位時間あたりの入力パルス数の変化から測定している。低速走行時には単位時間あたりの入力パルス数自体が減少するため、測定精度が悪化する。車輪回転速度の測定精度が悪化するとフィードバック制御によって振動が発生するため、安定したフィードバック制御を行うことができない。

40

【0006】

車輪回転速度ではなく、スリップ率を用いてフィードバック制御を行う場合も上記と同様で、車輪回転速度の測定値が変動すると安定したフィードバック制御を行うことができない。それは、スリップ率 δ は、車輪回転速度 ω と車速 V とから次の計算式(式(1))により計算され、この式(1)に車輪回転速度が含まれるためである。 R_0 はタイヤの半径である。

【数 1】

50

$$\lambda = \frac{V - R_0 \omega}{\max(V, R_0 \omega)} \quad (1)$$

【0007】

振動を抑制するために、一律にゲインを小さくする方法も考えられるが、ゲインを小さくするとスリップ制御の応答性が低下するため車輪のスピンもしくはロックを防止できない可能性がある。

また、車速Vが高いときに車輪がスピンまたはロックすると車両挙動が乱れて危険な場合がある。

【0008】

この発明の目的は、低速時に車輪回転速度の測定精度が悪化しても安定したスリップ制御を行うことができ、車両挙動が乱れることを防止できるスリップ制御装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

この発明の第1のスリップ制御装置11は、電動機4の力行・回生によって加速と減速が可能な車両1に搭載され、車輪回転速度と許容回転速度との偏差を算出すると共に、比例補償を行う可変の比例ゲインK_Pおよび微分補償を行う可変の微分ゲインK_Dのうちの少なくとも一方のゲインと積分補償を行う可変の積分ゲインK_Iとを用いて前記偏差からフィードバック演算値K_{PID}を計算し、入力された制動指令値を前記フィードバック演算値K_{PID}に応じて制御して前記電動機4を駆動するスリップ制御装置11であって、

フィードバックゲイン変更部14を有し、

このフィードバックゲイン変更部14は、

車速Vがしきい値V_{th}(V_{th_P}、V_{th_I}、V_{th_D})以下のときに、前記比例ゲインK_Pおよび微分ゲインK_Dのうち、前記フィードバック演算値K_{PID}の計算に用いるゲインが比例ゲインK_Pおよび微分ゲインK_Dの両方である場合は両方のゲインK_P、K_Dまたはいずれか一方のゲインを低下させ、前記フィードバック演算値K_{PID}の計算に用いるゲインが比例ゲインK_Pおよび微分ゲインK_Dのいずれか一方である場合はその用いるゲインを低下させ、前記積分ゲインK_Iはそのまま維持させまたは低下させ、

前記各ゲインK_P、K_I、K_Dの低下前の大きさに対する低下後の大きさの割合である低下後割合_P、_I、_D、ただし低下させないゲインについては維持させた場合の割合も低下後割合_P、_I、_Dと称す、について、

前記積分ゲインK_Iの前記低下後割合_Iを最も大きくすることを特徴とする。

なお、前記「積分ゲインK_Iの前記低下後割合_Iを最も大きくする」とは、他のいずれかのゲインK_P、K_Dの低下後割合_P、_Dと積分ゲインK_Iの低下後割合_Iとが同じである場合を含み、後述の「〔満たすべき関係〕」で述べる事項を満足していれば良い。

前記しきい値V_{th}および許容回転速度は、設計により適宜定められる。

【0010】

この構成につき説明すると、フィードバックゲイン変更部14は、車速Vがしきい値V_{th}以下のときに、フィードバックゲインを低下させるが、前記スリップ制御装置11が前記フィードバック演算値K_{PID}を計算して行うフィードバック制御は、PID制御、P制御、およびID制御のいずれであってもよい。

ある車速閾値V_{th}以下の場合に、上記のようにゲインを低下させるが、低下前にに対する低下後のゲインの大きさの割合の大小関係は、積分のゲインK_Iの前記低下後割合_Iが最も大きくなれば、どんな条件でも良い。

PID制御の場合、比例ゲインK_Pと微分ゲインK_Dのどちらか一方のみを低下させてよい。ただし、常に積分ゲインK_Iの前記低下後割合_Iが最も大きくならなければならぬため、この場合は必然的に積分ゲインK_Iの値は低下させない。

つまり、各ゲイン K_P 、 K_I 、 K_D の低下後割合 ρ 、 ι 、 δ は、以下の条件を満たす場合をすべて含む。

〔満たすべき関係〕

PID 制御: $I \leq P \leq D$ (P と D の大小関係は問わない)

P 制御: $I \leq P$

ID 制御: $I \leq D$

ただし、

$$\rho = K_P / K_{B_P}, \quad \iota = K_I / K_{B_I}, \quad \delta = K_D / K_{B_D}$$

【0011】

K_P 、 K_I 、 K_D : 低下後 (低下途中) の各ゲインの大きさ

K_{B_P} 、 K_{B_I} 、 K_{B_D} : 低下前の各ゲインの大きさ (基準値)

なお、この明細書において、各ゲインにつき、特に低下の前後を区別せずに示す場合は、低下後 (低下途中) と同じ「 K_P 、 K_I 、 K_D 」の標記をしている。

【0012】

ここで、各ゲインを基準値から低下させる車速 V のしきい値を V_{th_P} 、 V_{th_I} 、 V_{th_D} とすると、必然的に、次式を満たす必要がある。

$$V_{th_I} \leq V_{th_P} \leq V_{th_D}$$

このとき、 V_{th_P} と V_{th_D} の大小関係は問わず、上記 3 つのしきい値は全て同じ ($V_{th_P} = V_{th_I} = V_{th_D} = V_{th}$) でも良い。

0 km/h での各ゲインの低下後割合を 0_P 、 0_I 、 0_D としたとき、上記 $\rho = K_P / K_{B_P}$ 、 $\iota = K_I / K_{B_I}$ 、 $\delta = K_D / K_{B_D}$ の関係式を満たすならば、 0_P 、 0_I 、 0_D をどのように設定しても良い。

0 V_0 V_{th} ($= V_{th_P}$ 、 V_{th_D} のどちらか大きい方) となるように V_0 を設定し、 V_0 まで 0_P 、 0_I 、 0_D のいずれかもしくは複数を維持してもよい。

【0013】

この発明の第 2 のスリップ制御装置 11 は、スリップ率 δ を用いる構成であり、電動機 4 の力行・回生によって加速と減速が可能な車両 1 に搭載され、車輪回転速度 ω と車速 V とを用いて算出されるスリップ率 δ とスリップ率許容値 δ_{max} との偏差 $\delta - \delta_{max}$ を算出すると共に、比例補償を行う可変の比例ゲイン K_P および微分補償を行う可変の微分ゲイン K_D のうちの少なくとも一方のゲインと積分補償を行う可変の積分ゲイン K_I とを用いて前記偏差 $\delta - \delta_{max}$ からフィードバック演算値 K_{PID} を計算し、入力された制駆動指令値を前記フィードバック演算値 K_{PID} に応じて制御して前記電動機 4 を駆動するスリップ制御装置 11 であって、

フィードバックゲイン変更部 14A を有し、

このフィードバックゲイン変更部 14A は、

車速 V がしきい値 V_{th} (V_{th_P} 、 V_{th_I} 、 V_{th_D}) 以下のときに、前記比例ゲイン K_P および微分ゲイン K_D のうち、前記フィードバック演算値 K_{PID} の計算に用いるゲインが比例ゲイン K_P および微分ゲイン K_D の両方である場合は両方のゲイン K_P 、 K_D またはいずれか一方のゲインを低下させ、前記フィードバック演算値 K_{PID} の計算に用いるゲインが比例ゲイン K_P および微分ゲイン K_D のいずれか一方である場合はその用いるゲインを低下させ、前記積分ゲイン K_I はそのまま維持させまたは低下させ、

前記各ゲイン K_P 、 K_I 、 K_D の低下前の大きさに対する低下後の大きさの割合である低下後割合 ρ 、 ι 、 δ 、ただし低下させないゲインについては維持させた場合の割合も低下後割合 ρ 、 ι 、 δ と称す、について、

前記積分ゲイン K_I の前記低下後割合 ι を最も大きくすることを特徴とする。

なお、ゲインを低下させる条件および方法は、第 1 のスリップ制御装置 11 と同じである。例えば、第 1 のスリップ制御装置 11 と同じく、フィードバック制御は、 PID 制御、 P 制御、および ID 制御のいずれであってもよい。前記ゲインを低下させるときに、 PID 制御の場合、比例ゲイン K_P と微分ゲイン K_D の両方を低下させてもよく、またどちらか一方のみを低下させてもよい。

10

20

30

40

50

前記しきい値 V_{th} およびスリップ率許容値 は、設計により任意に定められる値である。

【0014】

これら第1と第2のスリップ制御装置11の作用につき説明する。

低速走行時は、車輪回転速度 の検出出力がパルスである場合に、単位時間当たりの入力パルス数が減少することなどから、車輪回転速度 の測定精度が悪化する。そのため、車輪回転速度偏差 (例えは、車輪回転速度 に所定の定数を乗じた許容回転速度 と車輪回転速度 との偏差 や、スリップ率偏差 (スリップ率許容値 (上限値 (> 0) または下限値 (0) とスリップ率 の偏差) の変動が大きくなる。

ここで、フィードバック制御には比例補償、積分補償、微分補償がある。

微分補償、比例補償は、車輪回転速度偏差 やスリップ率偏差 の変動によって振動的になりやすい。微分補償は車輪回転速度偏差 またはスリップ率偏差 を微分するため振動を増幅させてしまう。比例補償も車輪回転速度偏差 やスリップ率偏差 の変動をそのまま補償値に反映させてしまう。一方積分補償は、車輪回転速度偏差 やスリップ率偏差 が変動しても振動的になり難い。積分補償は、車輪回転速度偏差 またはスリップ率偏差 を積分するため、車輪回転速度偏差 やスリップ率偏差 の変動の影響が小さくなる。

そこで、低速走行時は振動を発生させやすい比例補償、微分補償のゲイン (それぞれ比例ゲイン K_p 、微分ゲイン K_d) を低下させ、または零にして比例補償、微分補償を弱めるかもしくは無効化する。これにより、低速時に車輪回転速度 の測定精度が悪化しても安定したスリップ制御を行うことができ、車両挙動が乱れることを防止できる。

【0015】

この発明において、前記フィードバックゲイン変更部14は、車両が加速しているか減速しているかを判断し、加速時と減速時とで、前記比例ゲイン K_p 、積分ゲイン K_I 、および微分ゲイン K_D のいずれか一つまたは複数について、前記車速 V がしきい値 V_{th} 以下のときに低下させるゲインの低下の方法を変えてよい。すなわち、加速時と減速時とで、ゲインを低下させる補償の種類を変えてよく、また低下の程度を変えてよく、低下の程度の変化を変えてよい。

減速時と加速時とでは、安定したスリップ制御に対する各ゲイン K_p , K_I , K_D の影響が異なるため、減速時と加速時とで前記ゲインの低下の方法を変えることが好ましい。

【0016】

前記第1のスリップ制御装置11は、具体的には、例えは定められた規則によりスリップに影響する車両の因子の状態量の検出値から前記許容車輪回転速度 を計算する許容回転速度計算部12と、前記車輪回転速度 と前記許容車輪回転速度 との偏差 を算出する車輪回転速度偏差計算部13と、前記比例補償、積分補償、および微分補償を行う可変の各ゲイン K_p , K_I , K_D を用いて前記偏差 からフィードバック演算値 K_{pID} を計算する制御器15と、入力された制駆動指令値を前記フィードバック演算値 K_{pID} に応じて変更し前記電動機4のコントローラ10へ出力する制駆動指令値計算部16とを備え、前記フィードバックゲイン変更部14は、車両が減速しているときには、同じ車速における加速時よりも、比例ゲイン K_p もしくは微分ゲイン K_D の前記変化後割合 p' 、 I' 、 D' を積分ゲイン K_I の前記低下後割合 I' で除した値を小さくする構成としてもよい。

【0017】

すなわち、減速時の各ゲイン K_p , K_I , K_D の前記変化後割合 (変化前の大きさに対する変化後の割合) をそれぞれ p' 、 I' 、 D' 、 加速時の各ゲイン K_p , K_I , K_D の前記変化後割合 (変化前の大きさに対する変化後の割合) をそれぞれ p 、 I 、 D としたとき、以下の関係を満たすようにゲイン K_p , K_I , K_D を変更する。

PID制御: p / I p' / I' かつ D / I D' / I'

PI制御: p / I p' / I'

ID制御: D / I D' / I'

10

20

30

40

50

減速時は積分補償が支配的となるようにゲイン K_P , K_I , K_D を変化させることで、より安定したフィードバック制御が可能となる。

この場合に、加速時と減速時で積分ゲイン K_I の前記割合 $|$ を比較した場合は、加速時の方を小さくする方がより効果的である。

また、加速時と減速時で比例補償、微分補償のゲイン K_P , K_D の前記割合 P' , D' を比較した場合には、減速時の方を小さくする方が効果的である。

【0018】

前記許容回転速度計算部 12 は、前記定められた規則による計算として、例えばマップ等で車速 V およびハンドル角 h の検出値と許容回転速度 ω との関係を定めておき、この定められた関係を用いて許容回転速度 ω を計算するようにしてもよく、さらにヨーレート r を加味して車許容回転速度 ω を計算するようにしてもよい。この他に、前記許容回転速度計算部 12 は、車輪回転速度 ω の検出値に所定の定数を乗じた値を許容回転速度 ω とする構成であってもよい。

10

【0019】

前記第 2 のスリップ制御装置 11 は、例えば、車輪回転速度 ω と車速 V を用いてスリップ率 δ を計算するスリップ率計算部 21 と、スリップ率 δ とスリップ率許容値 δ_{max} との偏差 $\delta - \delta_{max}$ を計算するスリップ率偏差計算部 22 と、前記比例補償、積分補償、および微分補償を行う可変の各ゲイン K_P , K_I , K_D を用いて前記偏差 $\delta - \delta_{max}$ からフィードバック演算値 K_{PID} を計算する制御器 15A と、入力された制駆動指令値を前記フィードバック演算値 K_{PID} に応じて変更し前記電動機 4 のコントローラへ出力する制駆動指令値計算部 16A とを備え、前記フィードバックゲイン変更部 14A は、車両が減速しているときには、同じ車速における加速時よりも、比例ゲイン K_P もしくは微分ゲイン K_D の前記変化後割合 P' , $|$, D' を積分ゲイン K_I の前記低下後割合 $|'$ で除した値を小さくする構成としてもよい。

20

第 1 の発明と同様に、以下の関係を満たすようにゲイン K_P , K_I , K_D を変更する。

PID 制御: $P / | P' / |' \quad \text{かつ} \quad D / | D' / |'$

PI 制御: $P / | P' / |'$

ID 制御: $D / | D' / |'$

このように、減速時は積分補償が支配的となるようにゲイン K_P , K_I , K_D を変化させることで、より安定したフィードバック制御が可能となる。

30

【0020】

この発明のスリップ制御装置 11 において、前記フィードバックゲイン変更部 14 は、車速 V が前記しきい値 V_{th} 以下のときに、比例ゲイン K_P および微分ゲイン K_D のいずれか一方または両方を、零または零に近い値に変更する構成としてもよい。

このように比例ゲイン K_P および微分ゲイン K_D のいずれか一方または両方を、零または零に近い値に変更することで、前記低下後割合 $P (0_P)$ もしくは $D (0_D)$ あるいはその両方を零もしくは零に近い値としてもよい。

前記「零に近い値」は、制御上で零と見做せる値であり、設計により任意に定める。

【0021】

この発明のスリップ制御装置 11 において、前記電動機 4 は、駆動輪 2 を独立に制御できる車両 1 における前記駆動輪 2 を駆動する電動機 4 であってもよい。

40

駆動輪 2 を独立に制御できる車両 1 における前記電動機 4 は、インホイールモータ型であっても、オンボード型であってもよい。

駆動輪 2 を独立に制御できる車両 1 の場合、個々の駆動輪 2 のスリップ制御を独立に行えるため、スリップ制御の効果がより効果的となる。

【発明の効果】

【0022】

この発明の第 1 のスリップ制御装置は、電動機の力行・回生によって加速と減速が可能な車両に搭載され、車輪回転速度と許容車輪回転速度との偏差を算出すると共に、比例補償を行う可変の比例ゲインおよび微分補償を行う可変の微分ゲインのうちの少なくとも一

50

方のゲインと積分補償を行う可変の積分ゲインとを用いて前記偏差からフィードバック演算値を計算し、入力された制駆動指令値を前記フィードバック演算値に応じて制御して前記電動機を駆動するスリップ制御装置であって、フィードバックゲイン変更部を有し、このフィードバックゲイン変更部は、車速がしきい値以下のときに、前記比例ゲインおよび微分ゲインのうち、前記フィードバック演算値の計算に用いるゲインが比例ゲインおよび微分ゲインの両方である場合は両方のゲインまたはいずれか一方のゲインを低下させ、前記フィードバック演算値の計算に用いるゲインが比例ゲインおよび微分ゲインのいずれか一方である場合はその用いるゲインを低下させ、前記積分ゲインはそのまま維持させまたは低下させ、前記各ゲインの低下前の大きさに対する低下後の大きさの割合である低下後割合、ただし低下させないゲインについては維持させた場合の割合も低下後割合と称す、について、前記積分ゲインの前記低下後割合を最も大きくするため、低速時に車輪回転速度の測定精度が悪化しても安定したスリップ制御を行うことができ、車両挙動が乱れることを防止できる。

【0023】

この発明の第2のスリップ制御装置は、電動機の力行・回生によって加速と減速が可能な車両に搭載され、車輪回転速度と車速を用いて算出されるスリップ率とスリップ率許容値との偏差を算出すると共に、比例補償を行う可変の比例ゲインおよび微分補償を行う可変の微分ゲインのうちの少なくとも一方のゲインと積分補償を行う可変の積分ゲインとを用いて前記偏差からフィードバック演算値を計算し、入力された制駆動指令値を前記フィードバック演算値に応じて制御して前記電動機を駆動するスリップ制御装置であって、フィードバックゲイン変更部を有し、このフィードバックゲイン変更部は、車速がしきい値以下のときに、前記比例ゲインおよび微分ゲインのうち、前記フィードバック演算値の計算に用いるゲインが比例ゲインおよび微分ゲインの両方である場合は両方のゲインまたはいずれか一方のゲインを低下させ、前記フィードバック演算値の計算に用いるゲインが比例ゲインおよび微分ゲインのいずれか一方である場合はその用いるゲインを低下させ、前記積分ゲインはそのまま維持させまたは低下させ、前記各ゲインの低下前の大きさに対する低下後の大きさの割合である低下後割合、ただし低下させないゲインについては維持させた場合の割合も低下後割合と称す、について、前記積分ゲインの前記低下後割合を最も大きくするため、低速時に車輪回転速度の測定精度が悪化しても安定したスリップ制御を行うことができ、車両挙動が乱れることを防止できる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】この発明の第1の実施形態に係るスリップ制御装置を搭載した車両の一例の概念構成を示す説明図である。

【図2】同スリップ制御装置の概念構成を示す機能ブロック図である。

【図3】第2の実施形態に係るスリップ制御装置の概念構成を示す機能ブロック図である。

【図4】同スリップ制御装置によるフィードバックゲインの変更例を示すグラフである。

【図5】同スリップ制御装置によるフィードバックゲインの他の変更例を示すグラフである。

【図6】同スリップ制御装置によるフィードバックゲインのさらに他の変更例を示すグラフである。

【図7】同スリップ制御装置によるフィードバックゲインのさらに他の変更例を示すグラフである。

【図8】各補償値、車速、および車輪速の時間変化例を示すグラフである。

【図9】同スリップ制御装置によるフィードバックゲインのさらに他の変更例を示すグラフである。

【図10】同スリップ制御装置によるフィードバックゲインのさらに他の変更例を示すグラフである。

【図11】同スリップ制御装置によるフィードバックゲインのさらに他の変更例を示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図12】各補償値、車速、および車輪速の他の時間変化例を示すグラフである。

【図13】インホイールモータ駆動装置の一例を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

<<車両全体構成>>

この発明の第1の実施形態を図1、図2、および図13と共に説明する。図1に示すように、この実施形態は、4輪の駆動輪2に、インホイールモータ駆動装置3を構成する回転型の電動機4を備えた車両1に適用した例である。車両1は、電動機4の力行・回生によって加速と減速が可能であり、また4輪を独立して制御可能である。

インホイールモータ駆動装置3は、例えば図13に示すように、車輪用軸受5と、前記電動機4と、この電動機4の回転出力を車輪用軸受5の回転輪となるハブ輪5aに減速して伝達する減速機6とを備え、前記ハブ輪5aに駆動輪1(図1)のホイールが取付けられる。電動機4は、例えば同期モータ等の交流モータであり、ステータ4aとロータ4bとを有する。インホイールモータ駆動装置3は、車輪回転速度センサ7(図1)を備えている。車輪回転速度センサ7は、例えば磁気エンコーダと磁気センサとで構成され、車輪回転速度Vに比例したパルス間隔のパルス列を出力する。また車輪回転速度センサ7の代わりに図13のレゾルバ23の値を用いてもよい。レゾルバ23は、電動機4のロータの回転速度を検出するセンサであり、車輪回転速度に比例した値を出力する。

【0026】

図1において、車両1の統括制御を行うVCU等の上位ECU8に、各種センサ9からアクセルペダルおよびブレーキペダルの踏み込み量等が入力され、上位ECU8は各駆動輪1の電動機4を制御するモータコントローラ10に制駆動指令を分配する。前記各種センサ9は、アクセルペダルセンサ、ブレーキペダルセンサ、および他の種々のセンサを一つで代表して示している。前記上位ECU8とモータコントローラ10との間に、スリップ制御装置11が介在する。

【0027】

モータコントローラ10は、バッテリ(図示せず)の直流電力を電動機3に応じて交流電力に変換するインバータと、入力された制駆動指令に従って前記インバータの出力を制御すると共に電動機3の回転位相等に応じた効率化等の制御を行う制御手段とで構成される。モータコントローラ10は、個々の電動機4毎に設けられているが、前輪側および後輪側の二つずつがそれぞれ一つの筐体に纏められており、図1ではその纏められたものを、一つのモータコントローラ10のブロックとして示している。

【0028】

スリップ制御装置11は、個々の電動機4に対して設けられているが、図1では一つのブロックで代表して示している。スリップ制御装置11には、車速検出手段17から車速Vが入力され、かつ各電動機4の車輪回転速度センサ7で検出された車輪回転速度Vが、モータコントローラ10を介して入力される。

【0029】

<<第1の実施形態、スリップ制御装置>>

図2は、スリップ制御装置11の概念構成例を示す。スリップ制御装置11は、許容回転速度計算部12と、車輪回転速度偏差計算部13と、フィードバックゲイン変更部14と、制御器15と、制駆動指令値計算部16とを備える。

許容回転速度計算部12は、定められた規則により、スリップに影響する車両の因子の状態量の検出値から前記許容車輪回転速度V₀を計算する手段である。

前記許容回転速度計算部12は、前記定められた規則による計算として、例えばマップ(図示せず)等で車速V、ハンドル角θ_h、およびヨーレートrの検出値と許容回転速度V₀との関係を定めておき、この関係を用いて許容回転速度V₀を計算する。なお、ヨーレートrは必ずしも上記計算に用いなくてもよい。

前記許容回転速度計算部12は、この他に、車輪回転速度Vに所定の定数を乗じて許容車輪回転数N₀とする構成であってもよい。

10

20

30

40

50

【0030】

車速Vは、車速検出手段17により検出される。ハンドル角 h は、ステアリングハンドル(図示せず)の中立位置からの操舵角度であり、ハンドル角測定手段18で測定される。ヨーレート r は、車両1に設置されたヨーレート測定手段19で測定される。車輪回転速度 $\dot{\theta}$ は、前記車輪回転速度センサ7(図1参照)により検出されて前記モータコントローラ10から転送される。

【0031】

車輪回転速度偏差計算部13は、車輪回転速度 $\dot{\theta}$ と前記許容回転速度 $\dot{\theta}_{max}$ との偏差である車輪回転速度偏差 $\dot{\theta}_{err}$ を算出する手段である。

制御器15は、比例補償、積分補償、および微分補償を行う可変の各ゲイン K_P 、 K_I 、 K_D を用いて前記車輪回転速度偏差 $\dot{\theta}_{err}$ からフィードバック演算値 K_{PID} を計算する手段である。このフィードバック演算値 K_{PID} は、上位ECU8からスリップ制御装置11に与えられる制駆動指令と同じ単位の値であり、この例ではトルク値である。

制駆動指令値計算部16は、上位ECU8から入力された制駆動指令値を、前記フィードバック演算値 K_{PID} に応じて変更しモータコントローラ10へ出力する手段である。この例では、上位ECU8が指令する制駆動指令値はトルク指令値であり、フィードバック演算値 K_{PID} もトルク値である。したがってこの例では、制駆動指令値計算部16は、トルク指令値計算部である。

【0032】

フィードバックゲイン変更部14は、前記制御器15が用いる前記比例補償、積分補償、および微分補償の前記各ゲイン K_P 、 K_I 、 K_D を変更する手段であり、車速Vがしきい値 V_{th} 以下のときに、前記比例ゲイン K_P および微分ゲイン K_D のうち、前記フィードバック演算値 K_{PID} の計算に用いるゲインが比例ゲイン K_P および微分ゲイン K_D の両方である場合は両方のゲイン K_P 、 K_D またはいずれか一方のゲインを低下させ、前記フィードバック演算値 K_{PID} の計算に用いるゲインが比例ゲイン K_P および微分ゲイン K_D のいずれか一方である場合はその用いるゲインを低下させ、前記積分ゲイン K_I はそのまま維持させまたは低下させ、

前記各ゲイン K_P 、 K_I 、 K_D の低下前の大きさに対する低下後の大きさの割合である低下後割合 P_{post} 、 I_{post} 、 D_{post} 、ただし低下させないゲインについては維持させた場合の割合も低下後割合 P_{post} 、 I_{post} 、 D_{post} と称す、について、

前記積分ゲイン K_I の前記低下後割合 I_{post} を最も大きくする。

【0033】

ここで、「前記積分ゲイン K_I の前記低下後割合 I_{post} を最も大きくする。」とは、次の関係を満たすことである。

[満たすべき関係]

$P_{post} \leq P$ かつ $I_{post} \leq I$ かつ $D_{post} \leq D$ (P と D の大小関係は問わない)。

$P_{post} \leq P$

$I_{post} \leq I$

ただし、

$$P = K_P / K_{B_P}, \quad I = K_I / K_{B_I}, \quad D = K_D / K_{B_D}$$

K_P 、 K_I 、 K_D ：低下後(低下途中)の各ゲインの大きさ

K_{B_P} 、 K_{B_I} 、 K_{B_D} ：低下前の各ゲインの大きさ(基準値)

なお、次のように、 I_{post} が P_{post} および D_{post} よりも大きく、同じ値となる場合を除いても良い。

$P_{post} \leq P$ かつ $I_{post} > P$ かつ $I_{post} > D$ (P と D の大小関係は問わない)。

$P_{post} \leq P$

$I_{post} > P$

$I_{post} > D$

【0034】

フィードバックゲイン変更部14は、より具体的には、車速Vが前記しきい値 V_{th} としてゲイン毎に定められたしきい値 V_{th_P} 、 V_{th_I} 、 V_{th_D} 以下のときに、前記比

10

20

30

40

50

例補償、積分補償、および微分補償の前記各ゲイン K_P , K_I , K_D を低下させ、積分補償のゲイン K_I の低下前の大さに対する低下後の大きさの割合を、比例補償および微分補償のゲイン K_P , K_D の低下前の大さに対する低下後の大きさの割合よりも大きくする。低下前の各ゲインの大きさをそれぞれ K_{B_P} , K_{B_I} , K_{B_D} とし、低下後の大きさの割合である低下後割合を とすると、各ゲインのは式(2)~(4)となる。

$$P = K_P / K_{B_P} \quad (2)$$

$$I = K_I / K_{B_I} \quad (3)$$

$$D = K_D / K_{B_D} \quad (4)$$

フィードバックゲイン変更部 14 は、比例ゲイン K_P および微分ゲイン K_D の低下後割合 P 、 D の値を積分ゲイン K_I の低下後割合 I よりも小さくする。例えば、フィードバックゲイン変更部 14 は、比例補償および微分補償のゲイン K_P 、 K_D を零に変更する。比例補償および微分補償のゲイン K_P 、 K_D は、必ずしも零まで低下させなくてもよく、零に近い値としてもよい。比例ゲイン K_P および微分ゲイン K_D の低下後割合 P 、 D は、別々の値であっても、互いに同じ値であってもよい。

一例を挙げると、前記フィードバックゲイン変更部 14 は、

・比例ゲイン K_P : 1000 0 、変化後の大さの割合 P : 0%

・積分ゲイン K_I : 10 2 、変化後の大さの割合 I : 20%

・微分ゲイン K_D : 100 0 、変化後の大さの割合 D : 0%、

とする。この例では P と D の両方を零にしたが、 P と D の値が I よりも小さければよく、 P と D が異なる値となるように K_P 、 K_D を変更しても良い。

【0035】

なお、前記ゲイン毎に定められた速度のしきい値 V_{th_P} 、 V_{th_I} 、 V_{th_D} は、別々の値であってもよく、また互いに同じ値であってもよい。ただし、大小関係は、必然的に次のようになる(図4、図5参照)。

P I D 制御 : V_{th_I} V_{th_P} かつ V_{th_I} V_{th_D}
(V_{th_P} と V_{th_D} の大小関係は問わない)

P I 制御 : V_{th_I} V_{th_P}

I D 制御 : V_{th_I} V_{th_D}

【0036】

フィードバックゲイン変更部 14 は、積分補償のゲイン(積分ゲイン K_I)については、車両が加速しているか減速しているかを判断して変更する。具体的には、加速しているときは積分補償のゲイン K_I を基準値よりも小さくする。減速するときは、同じ車速 V における加速時よりも積分ゲインを大きくする。前記「基準値」は、設計により任意に、かつ独立に定められる値である。

フィードバックゲイン変更部 14 は、車両 1 が加速しているか減速しているかを判断する加速/減速判断部 14 a を有する。加速/減速判断部 14 a は、例えば加速度センサ(図示せず)の前後加速度信号の正負によって判断する。

【0037】

<作用、効果>

低速走行時は、スリップ制御装置 11 に車輪回転速度として入力される車輪回転速度センサ 7 の単位時間当たりのパルス数が減少することなどから、車輪回転速度の測定精度が悪化する。そのため、車輪回転速度偏差の変動が大きくなる。

ここで、フィードバック制御における微分補償、および比例補償は、車輪回転速度偏差の変動によって振動的になりやすい。微分補償は、車輪回転速度偏差を微分するため振動を增幅させてしまう。比例補償も車輪回転速度偏差の変動をそのまま補償値に反映させてしまう。一方積分補償は、車輪回転速度偏差が変動しても振動的になり難い。積分補償は、車輪回転速度偏差を積分するため、車輪回転速度偏差の変動の影響が小さくなる。

そこで、低速走行時は、振動を発生させやすい比例補償ゲイン K_P 、微分補償ゲイン K_D を低下させ、または零にして比例補償、微分補償を無効化する。これにより、低速時に車

10

20

30

40

50

輪回転速度 の測定精度が悪化しても安定したスリップ制御を行うことができ、車両挙動が乱れることを防止できる。

【0038】

積分補償のゲイン K_I の影響については、車両 1 が加速しているか減速しているかによって異なる。そこで、フィードバックゲイン変更部 14 は、車両 1 が加速しているか減速しているかを判断し、加速しているときは積分補償ゲイン K_I を基準値よりも小さくする。 加速している時は、積分補償ゲイン K_I を基準値よりも小さくすることで、振動を抑制しつつスリップ制御を行うことができる。これにより、スリップ制御の応答性が低下するが、低速走行時には応答性が下がっても車両挙動が乱れにくいため問題とならない。

【0039】

減速している時は、フィードバックゲイン変更部 14 は、同じ車速 V における加速時よりも積分ゲイン K_I を大きくする。

減速時は、低速まで車両が減速するまでの間に車輪回転速度偏差 の積分値が大きくなっている。そのため、低速走行時に車輪回転速度 の測定値が変動しても、積分補償の値に与える影響は微小となる。したがって、加速時よりも積分ゲイン K_I を大きくしても、振動が発生しにくい。加速時よりも積分ゲイン K_I を大きくすることで、より応答性良くフィードバック制御を行うことができる。応答性良くフィードバック制御ができると、車輪のロックを防ぎ車両挙動が乱れることを防止できる。

なお、加速時と減速時のゲインの変更方法の変更は、いずれかひとつのゲインについてでもよく、変更しないゲインが合っても良い(図 11 参照)。

【0040】

上記のように、車速 V に応じてフィードバック制御における各ゲイン K_P , K_I , K_D を変化させ、更に車両 1 が加速しているか減速しているかを判断し、加速時と減速時でゲイン K_I の低下方法を変更することで、低速時に車輪回転速度 の測定精度が悪化しても安定したスリップ制御を行うことができ、車両挙動が乱れることを防止できる。

また、この実施形態は、4 輪の各駆動輪 2 を独立に制御できる車両 1 に適用しており、個々の駆動輪 2 のスリップ制御を独立に行えるため、スリップ制御の効果がより効果的となる。

なお、作用の詳細については低下後と同様であり、第 2 の実施形態において説明する。

【0041】

<< 第 2 の実施形態、スリップ制御装置 >>

この発明の第 2 の実施形態につき、図 3 ないし図 7 と共に説明する。この実施形態において、特に説明する事項の他は、第 1 の実施形態と同様である。

この実施形態は、図 1 と共に前述した車両 1 において、スリップ制御装置 11 を図 3 に示す構成としている。

図 3 において、スリップ制御装置 11 は、スリップ率計算部 21 、スリップ率偏差計算部 22 と、フィードバックゲイン変更部 14A と、制御器 15A と、制駆動指令値計算部 16A とを備える。

【0042】

スリップ率計算部 21 は、スリップ率 δ を、車輪回転速度 ω 、車速 V 、ヨーレート r とハンドル角 δ_h から式(5)~(10) により算出する。

【0043】

【数 2】

10

20

30

40

50

$$\lambda_{FL,FR,RL,RR} = \frac{V_{FL,FR,RL,RR} - R_0 \omega_{FL,FR,RL,RR}}{\max(V_{FL,FR,RL,RR}, R_0 \omega_{FL,FR,RL,RR})} \quad (2)$$

$$V_{FL} = \left(V \cos \beta - \frac{d_f}{2} r \right) \cos \delta_{FL} + \left(V \sin \beta + l_f r \right) \sin \delta_{FL} \quad (3)$$

$$V_{FR} = \left(V \cos \beta + \frac{d_f}{2} r \right) \cos \delta_{FR} + \left(V \sin \beta + l_f r \right) \sin \delta_{FR} \quad (4)$$

$$V_{RL} = \left(V \cos \beta - \frac{d_r}{2} r \right) \quad (5)$$

$$V_{RR} = \left(V \cos \beta + \frac{d_r}{2} r \right) \quad (6)$$

$$\delta_{FL} = \delta_{FR} = \frac{\delta_h}{n} \quad (7)$$

【0044】

ここで、 R_0 はタイヤ半径、 β は車両重心点での横滑り角、 d_f は前輪トレッド、 d_r は後輪トレッド、 l_f は重心位置から前輪車輪位置までの距離である。また、 V 、 δ 、 ω の添字は車輪を示しており、FL：左前輪、FR：右前輪、RL：左後輪、RR：右後輪である。スリップ率 λ は駆動輪 2 の滑り度合いを表しており、グリップ状態では $\lambda = 0$ 、ロック時は $\lambda > 0$ 、ホイルスピン時は $\lambda < 0$ とする。

【0045】

車速 V は、車速検出手段 17 により検出される。ハンドル角 δ_h は、ステアリングハンドル（図示せず）の中立位置からの操舵角度であり、ハンドル角測定手段 18 で測定される。ヨーレート r は、ヨーレート測定手段 19 で測定される。車輪回転速度 ω は、前記車輪回転速度センサ 7（図 1 参照）により検出されて前記モータコントローラ 10 から転送される。

【0046】

スリップ率偏差計算部 22 は、スリップ率許容値 λ_{allow} （上限値 ($\lambda > 0$) または下限値 ($\lambda < 0$)）とスリップ率 λ の偏差 λ_{error} を計算する。スリップ率許容値 λ_{allow} は、シミュレーション等に基づく設計により任意に定められる。

制御器 15 A は、各駆動輪 2 のスリップ率 λ を監視し、スリップ率 λ がスリップ率許容値 λ_{allow} （上限値 ($\lambda > 0$) または下限値 ($\lambda < 0$)）を超えた場合に、スリップ率偏差 λ_{error} に基づく PID 演算を行い、フィードバック演算値 K_{PID} を得る。

【0047】

【数 3】

$$K_{PID} = K_P \Delta \lambda + K_I \sum \Delta \lambda + K_D (\Delta \lambda(n-1) - \Delta \lambda(n)) \quad (11)$$

ここで、 K_P 、 K_I 、 K_D は、それぞれ比例ゲイン、積分ゲイン、微分ゲインである。本実施例では、比例補償、積分補償、微分補償のすべてを行うフィードバック制御を例に示すが、比例補償と積分補償を行うフィードバック制御、あるいは積分補償と微分補償を行うフィードバック制御に適用してもよい。

【0048】

加速 / 減速判断部 14 a は、車両 1 が加速しているか減速しているかを判断する。例え

10

20

30

40

50

ば、加速度センサ（図示せず）の前後加速度信号の正負によって判断する。加速／減速判断部 14 a は、フィードバックゲイン変更部 14 A の一部として設けられている。

【0049】

フィードバックゲイン変更部 14 A は、前述した比例ゲイン K_P 、積分ゲイン K_I 、微分ゲイン K_D を、車速 V の変数として計算する。

【0050】

フィードバックゲイン変更部 14 A は、前記制御器 15 A が用いる前記比例補償、積分補償、および微分補償の前記各ゲイン K_P 、 K_I 、 K_D を変更する手段であり、車速 V がゲイン毎に定められたしきい値 V_{th_P} 、 V_{th_I} 、 V_{th_D} 以下のときに、前記比例補償、積分補償、および微分補償の前記各ゲイン K_P 、 K_I 、 K_D を低下させ、積分補償のゲイン K_I の低下前の大きさに対する低下後の大きさの割合を、比例補償および微分補償のゲイン K_P 、 K_D の低下前の大きさに対する低下後の大きさの割合よりも大きくする。低下前の各ゲインの大きさをそれぞれ K_{B_P} 、 K_{B_I} 、 K_{B_D} とし、低下後の大きさの割合を とすると、各ゲインの は式(12)～(14)となる。

$$P = K_P / K_{B_P} \quad (12)$$

$$I = K_I / K_{B_I} \quad (13)$$

$$D = K_D / K_{B_D} \quad (14)$$

フィードバックゲイン変更部 14 A は、 P と D の値を I よりも小さくする。例えば、フィードバックゲイン変更部 14 A は、比例補償および微分補償のゲイン K_P 、 K_D を零に変更する。比例補償および微分補償のゲイン K_P 、 K_D は、必ずしも零まで低下させなくてもよく、零に近い値としてもよい。

一例を挙げると、前記フィードバックゲイン変更部 14 A は、
 ・比例ゲイン K_P ： 1000 0 、変化後の大きさの割合 P : 0%
 ・積分ゲイン K_I ： 10 2 、変化後の大きさの割合 I : 20%
 ・微分ゲイン K_D ： 100 0 、変化後の大きさの割合 D : 0%、
 とする。この例では P と D の両方を零にしたが、 P と D の値が I よりも小さければよく、 P と D が異なる値となるように K_P 、 K_D を変更しても良い。

【0051】

フィードバックゲイン変更部 14 は、積分補償のゲイン（積分ゲイン K_I ）については、車両 1 が加速しているか減速しているかを判断して変更する。具体的には、加速しているときは積分補償のゲイン K_I を基準値よりも小さくする。減速するときは、同じ車速 V における加速時よりも積分ゲインを大きくする。また減速時は積分ゲインの値を必ずしも低下させる必要はなく、基準値のままとしても良い。前記「基準値」は、設計により任意に定められる値である。

【0052】

制駆動指令値計算部 16 A は、上位 ECU 8 が指令した制駆動指令値に制御器 15 A が算出したフィードバック演算値 K_{PID} を足すことで、出力する制駆動指令値を計算する。この例では、上位 ECU 8 が指令する制駆動指令値はトルク指令値であり、フィードバック演算値 K_{PID} もトルク値である。したがってこの例では、制駆動指令値計算部 16 A は、トルク指令値計算部である。

トルク指令値が負の場合、すなわち回生ブレーキをかけている場合は回生ブレーキを緩め、トルク指令値が正の場合は駆動トルクを緩める。これにより、スリップ率 がスリップ率許容値 以下になるように前記駆動輪 2 のトルク指令値が制御され、駆動輪 2 のロックまたはスピンを抑制できる。

【0053】

<作用、効果>

前述したように、制御器 15 A は、積分補償と、比例補償もしくは微分補償、あるいはその両方を備える。

ここで、低速走行時は車輪回転速度 の測定精度が悪化するため、スリップ率 の変動が大きくなる。スリップ率 の変動によってスリップ率偏差 にも変動が生じる。変動

が生じたスリップ率偏差 が制御器 15 A に入力されると、微分補償が最も振動の原因となりやすく、次に比例補償が振動の原因となる。一方積分補償は振動の原因となりにくい。微分補償はスリップ率偏差を微分するため振動を増幅させてしまう。比例補償はスリップ率偏差の変動をそのまま補償値に反映させてしまう。一方、積分補償はスリップ率偏差を積分するため、測定値の変動の影響が小さくなる。

【0054】

上記の理由から、振動の原因となりやすい比例補償もしくは微分補償、あるいはその両方を低速走行時に弱めるかもしくは無効化する。例えば、車速 0 km/h で比例ゲイン K_p と微分ゲイン K_d を 0_p 、 0_d となるようにそれぞれ設定する。このとき、 0_p もしくは 0_d を零とすれば、比例補償もしくは微分補償を無効化できる。これら 2 つのゲイン K_p 、 K_d は、図 4 のように車速 $0 \sim V_{th_p}$ 、 V_{th_d} km/h にて値を連続的に変化させる。 V_{th_p} 、 V_{th_d} はそれぞれ車速に対するゲインのしきい値であり、10 ~ 15 km/h、例えば $V_{th_p} = 12$ km/h、 $V_{th_d} = 15$ km/h に設定される。この例では $V_{th_p} = V_{th_d}$ としたが、 V_{th_p} と V_{th_d} を同じ値としてもよい。図 4 では積分補償も同様に車速 $0 \sim V_{th_i}$ km/h にて値を連続的に変化させる。このとき、必ず I_p 、かつ I_d となるように値を変化させる。 V_{th_i} は、 $V_{th_i} = V_{th_p}$ 、かつ $V_{th_i} = V_{th_d}$ となるように設定する必要があるため、例えば 10 km/h とする。この例では、 V_{th_i} を V_{th_p} 、 V_{th_d} と異なる値としたが、 $V_{th_i} = V_{th_p}$ 、または $V_{th_i} = V_{th_d}$ となるように設定しても良い。例えば、 $V_{th_i} = V_{th_p} = V_{th_d}$ のように微分補償のみ車速のしきい値を大きくしても良い。

このとき、図 5 のように、 0_p 、 0_d の大小関係は車速によって入れ替わっても良い。積分ゲイン K_i は、図 4 と同様に常に I_p 、かつ I_d となるように値を変化させる。図 4 と図 5 の実施例では各ゲインを線形に変化させているが、この限りではなく、 I_p 、かつ I_d の関係が満たされるならば非線形に変化させても良い。また、図 6 のように、 $0 < V_0 < V_{th}$ を設定し、 $V_0 \sim V_{th}$ km/h にて値を連続的に変化させ、 $0 \sim V_0$ km/h までは V_0 km/h で設定される V_0 の値を維持しても良い。 0_p 、 0_d は、図 7 のように $V_0 = 0$ を維持してもよい。 V_0 は、零に限らず、零に近い値であってもよい。

また、加速 / 減速判断部の判断から、加速時と減速時でゲインの変化方法を切り替える。

【0055】

加速時には、積分補償のゲイン（積分ゲイン K_i ）は、例えば、図 9 のように車速 V_0 km/h で基準値（例えば 15 km/h 以上のゲイン）の 1/4 とし、車速 V が上昇するにつれて連続的にゲイン K_i を変化させる。

このとき、比例ゲイン K_p や微分ゲイン K_d と同じように、車速 V_0 km/h で積分ゲイン K_i を 0 としてはならない。積分ゲインも 0 にしてしまうと、スリップ制御が作動しなくなる。

【0056】

図 8 に加速時の車速 V 、車輪速、スリップ制御とスリップ率偏差（= 比例補償値）、積分補償値、微分補償値を示す。上記のように低速走行中、加速時のゲインを設定することで、振動を抑制しつつスリップ制御を行うことができる。またスリップ制御の応答性が低下するが、例えば 15 km/h 以下の低速走行時にはスリップ制御の応答性が低下しても車両挙動が乱れにくいため問題とならない。

【0057】

減速時には、以下の式(14)を満たすようにいすれかもしくは複数のゲインを変更する。

$$P' / I' = P / I \quad \text{かつ} \quad D' / I' = D / I \quad (14)$$

ここで、減速時の、各ゲインの低下後割合（低下前の大きさに対する低下後の割合）をそれぞれ P' 、 I' 、 D' とする。

すなわち、加速時と減速時で積分補償のゲインの前記割合を比較した場合には、減速時の方が加速時よりもゲインの前記割合を大きくする。例えば、図 9 のように、加速時の車速閾値 V_{th_i} よりも小さい値となる車速閾値 V_{th_i}' を設定し、 $0 \sim V_{th_i}$ km/h にて値を変

10

20

30

40

50

化させる。加速時と減速時で積分補償のゲインの前記低下後割合 $|I|$ を比較した場合は、同図のように加速時の方を小さくする方がより効果的である。

一方、比例補償もしくは微分補償のゲインの前記割合を比較した場合には、減速時の方が加速時よりもゲインの前記割合を小さくする。例えば図10のように、加速時の車速のしきい値 V_0 、 V_{th} と異なる減速時の車速のしきい値 V_0' 、 V_{th}' を、 $V_0 < V_0' \leq V_{th} < V_{th}'$ となるように設定し、 V_0' ～ V_{th}' km/h にて値を連続的に変化させても良い。

加速時と減速時で比例補償、微分補償のゲインの前記低下後割合 $|P|$ 、 $|P'|$ 、 $|D|$ 、 $|D'|$ を比較した場合には、同図のように減速時の方が小さくする方が効果的である。

ここで、図10の例では比例ゲインと微分ゲインを同時に変化させたが、別々に変化させても良い。また、図11に示すように加速時と減速時で、例えば微分ゲインのみゲインの変更方法を変えなくても良い。

上記のように加速時と減速時でゲインの変化方法を変更することで、より安定したフィードバック制御が可能となる。

【0058】

図11に減速時の車速 V 、車輪速、スリップ制御とスリップ率偏差 (= 比例補償値) 、積分補償値、微分補償値を示す。上記のように低速走行時、減速時のゲインを設定することで、振動を抑制しつつスリップ制御を行うことができる。更に、加速時よりも積分ゲインを大きく設定できるためスリップ制御の応答性も確保することができ、車両挙動が乱れにくい。

【0059】

このように、この実施形態のスリップ制御装置11によれば、車速 V に応じてフィードバック制御における各ゲイン K_P 、 K_I 、 K_D を変化させ、更に車両が加速しているか減速しているかを判断し、加速時と減速時でゲイン K_I の変化方法を変更することで、低速時に車輪回転速度の測定精度が悪化しても安定したスリップ制御を行うことができ、車両挙動が乱れることを防止することができる。

【0060】

なお、第2の実施形態につき説明した各事項は、偏差につき、第2の実施形態では車輪回転速度と車速 V とを用いて算出されるスリップ率とスリップ率許容値との偏差

を用いているのに対して、第1の実施形態では車輪回転速度と許容回転速度との偏差を用いていることを除き、第1の実施形態にそのまま適用することができる。また、前記偏差につき異なる他は、第1の実施形態につき説明した事項は、第2の実施形態にそのまま適用することができる。

【0061】

なお、前記各実施形態は、4輪にインホイールモータ駆動装置3を用いた車両1に適用した場合につき説明したが、この発明は、オンボード型の4輪独立駆動車や、左右輪独立駆動型の2輪駆動車、1モータ型等の車両に適用することができる。

【0062】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

【0063】

2 … 駆動輪

3 … インホイールモータ駆動装置

4 … 電動機

7 … 車輪回転速度センサ

8 … 上位 ECU

9 … 各種センサ

10

20

30

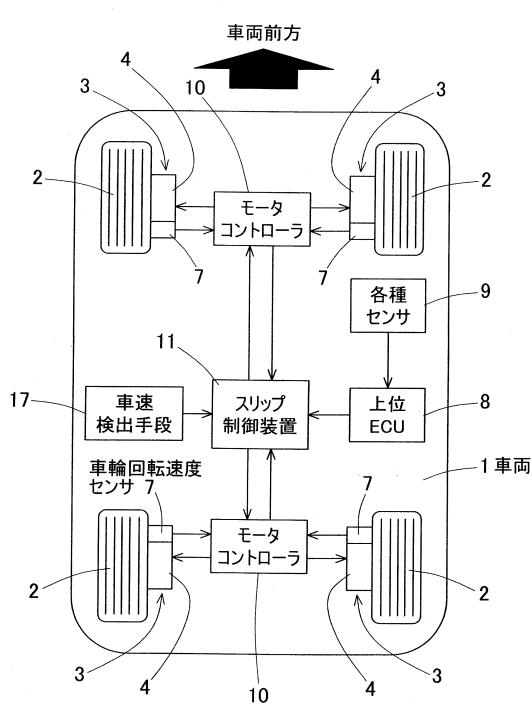
40

50

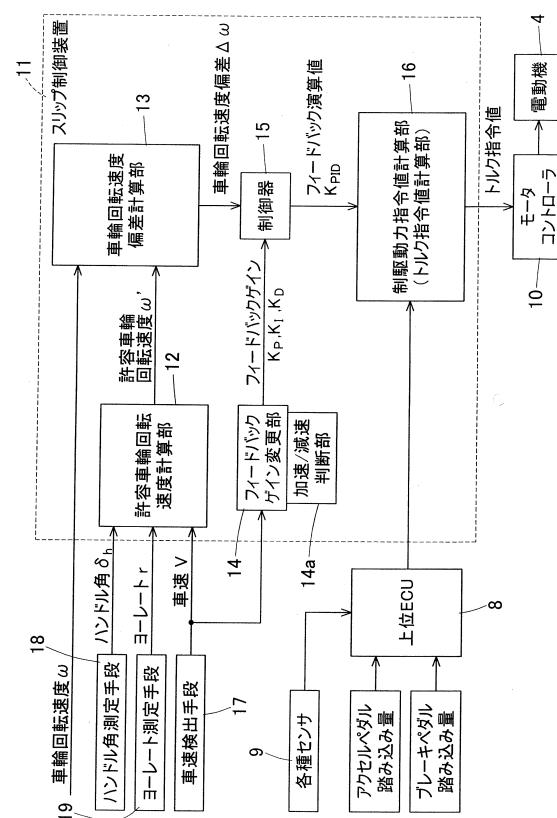
- 1 0 ... モータコントローラ
 1 1 ... スリップ制御装置
 1 2 ... 許容回転速度計算部
 1 3 ... 車輪回転速度偏差計算部
 1 4, 1 4 A ... フィードバックゲイン変更部
 1 5, 1 5 A ... 制御器
 1 6, 1 6 A ... 制駆動指令値計算部
 1 7 ... 車速検出手段
 1 8 ... ハンドル角測定手段
 1 9 ... ヨーレート測定手段
 2 1 ... スリップ率計算部
 2 2 ... スリップ率偏差計算部
 2 3 ... レゾルバ
 V ... 車速
 r ... ヨーレート
 h ... ハンドル角
 ... スリップ率
 ... スリップ率許容値
 ... スリップ率偏差
 ... 車輪回転速度
 ... 許容回転速度
 ... 車輪回転速度偏差
 K PID ... フィードバック演算値

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

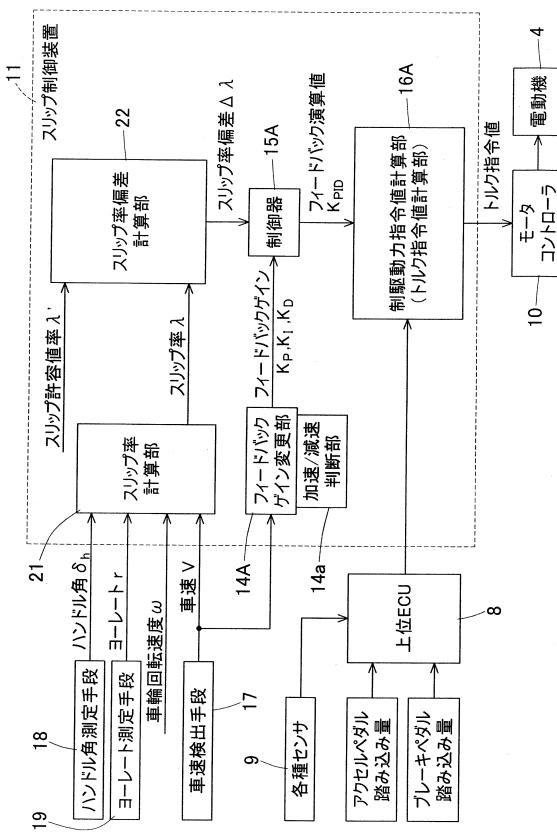
20

30

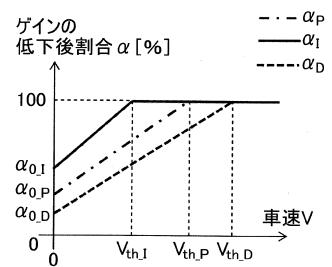
40

50

【図3】



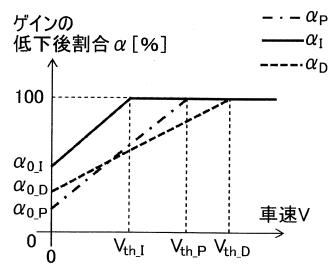
【図4】



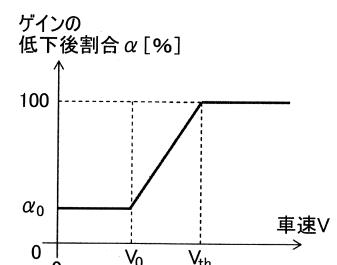
10

20

【図5】



【図6】

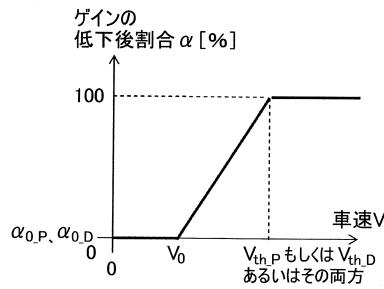


30

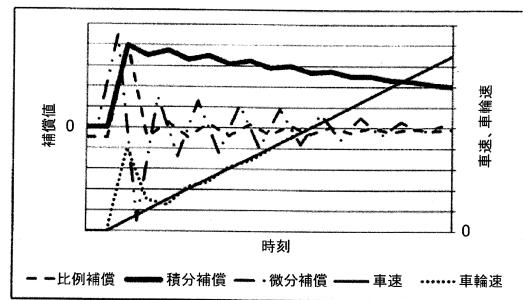
40

50

【図 7】

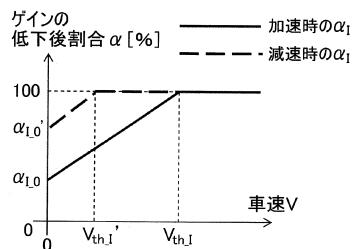


【図 8】

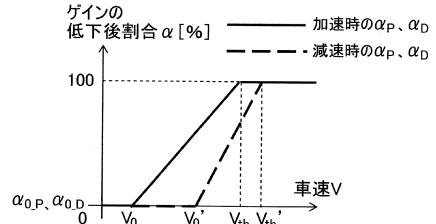


10

【図 9】

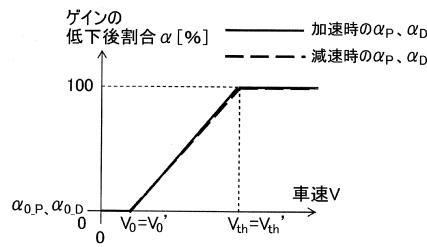


【図 10】

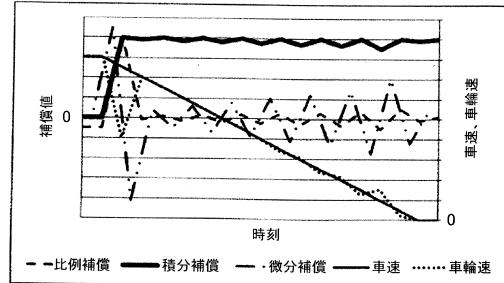


20

【図 11】



【図 12】

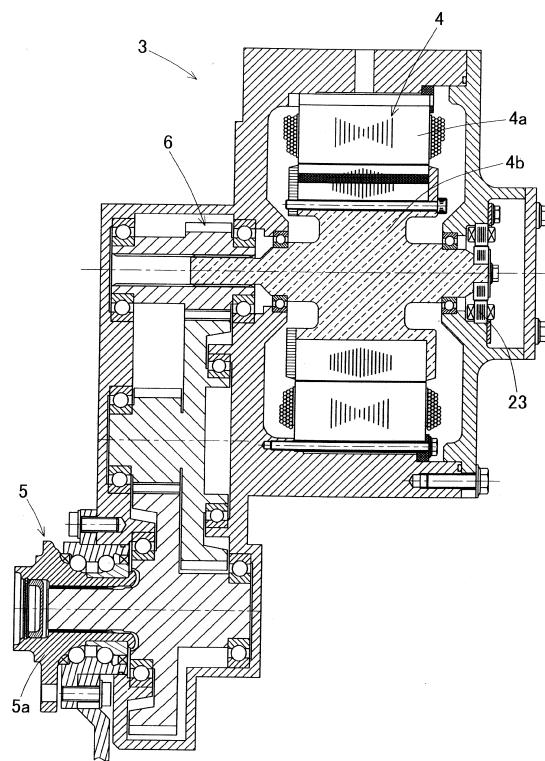


30

40

50

【図13】



フロントページの続き

弁理士 小林 由佳

(74)代理人 100213470

弁理士 中尾 真二

(72)発明者 小坂 秀一

静岡県磐田市東貝塚 1578 番地 N T N 株式会社内

(72)発明者 平田 淳一

静岡県磐田市東貝塚 1578 番地 N T N 株式会社内

審査官 笹岡 友陽

(56)参考文献 国際公開第 2017 / 073184 (WO, A1)

特開 2017 - 093003 (JP, A)

特開 2017 - 022870 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

B60L 15 / 20