



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 042 666 A1** 2010.05.06

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 042 666.0**

(22) Anmeldetag: **08.10.2008**

(43) Offenlegungstag: **06.05.2010**

(51) Int Cl.⁸: **B62D 6/00** (2006.01)
B62D 5/04 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Ford Global Technologies, LLC, Dearborn, Mich.,
 US**

(74) Vertreter:

**Dörfler, T., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Ass., 50374
 Erftstadt**

(72) Erfinder:

Dornhege, Jens, 50259 Pulheim, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE 10 2006 044088 A1

DE 102 35 039 A1

DE 10 2005 045243 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

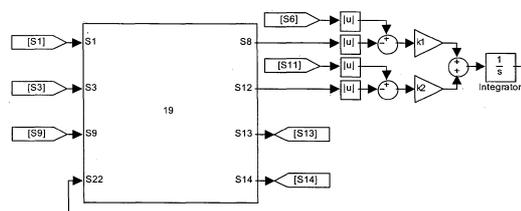
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Lenkkraft Störgrößenkompensation**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation von Störgrößen, welche auf ein Fahrzeug mit einer hilfskraftunterstützten Lenkung wirken, umfassend

Schätzen einer Ist-Zahnstangenkraft mittels eines Beobachtermodells der Lenkung, Schätzen einer künstlichen Soll-Zahnstangenkraft mittels eines Beobachtermodells des Fahrzeugs,

Subtrahieren der geschätzten Ist-Zahnstangenkraft von der geschätzten künstlichen Soll-Zahnstangenkraft, so dass ein Gesamtlenkraftfehler generiert wird, wobei in einem Entscheidungsblock zumindest ein erster Bruchteilsfaktor zumindest aus Fahrzeugsystem bekannten Signalen bestimmt wird, welcher dem Gesamtlenkraftfehler überlagert wird, so dass eine Zahnstangenkompensationskraft generiert wird, welche der Hilfskraft überlagert wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation von Störgrößen auf eine hilfskraftunterstützte Lenkung.

[0002] Eine Hauptaufgabe beim Führen von Kraftfahrzeugen besteht aus dem Einstellen eines Lenkwinkels, um einer gewünschten Fahrlinie zu folgen. Dabei ist die Rückmeldung eines der Fahrsituation entsprechenden Lenkradhandmoments an den Fahrer äußerst wichtig, um Information über den Reifen-Fahrbahn Kraftschluß haptisch wiederzugeben schon lange bevor das Auge ein Verlassen der gewünschten Linie wahrnehmen kann. Dieses gilt sowohl bei Geradeaus-, als auch bei Kurvenfahrt. Im Sinne einer guten Rückmeldung sollen Querkräfte am Reifen für den Fahrer am Lenkrad spürbar sein, bevor eine Reaktion des Fahrzeugaufbaus erfolgt.

[0003] Die Entwicklung moderner Lenksysteme zeigt, dass es bei der Abstimmung zugunsten einer möglichst guten Rückmeldung der Lenkkraft dazu kommt, dass Störeinflüsse aus der Umwelt, der Fahrbahnoberfläche, des rotierenden Radkörpers oder auch aus Antriebskräften verstärkt zum Fahrer durchdringen. Dieser Zielkonflikt zwischen ungenügender Rückmeldung und hoher Anfälligkeit für Störeinflüsse kann mit herkömmlichen Lenksystemen nicht vollständig aufgelöst werden.

[0004] Mit der Einführung von elektronisch kontrollierten und unterstützenden Lenksystemen in der Automobilindustrie bietet sich die Gelegenheit, gezielt Lenkmomente aufzubringen, um bekannte Störeinflüsse auszuschalten. Beim momentanen Stand der Technik gibt es für elektrische Servolenkungen zwei grundlegende Ansätze, die Rückmeldung an den Fahrer zu kontrollieren:

Die Regelung der Lenkunterstützung wird abhängig vom momentan über einen Sensor gemessenen Lenkmoment des Fahrers eingestellt. Damit wird der Systemgedanke der hydraulischen Servolenkung übernommen. Dieses System wird im Folgenden Boostcurve-EPAS, oder kurz bEPAS genannt.

Aus der momentanen Fahrsituation, durch Meßsignale verschiedener Sensoren, wie zum Beispiel Lenkradwinkel und -drehrate, Gierrate, Querbefleunigung und Raddrehzahlen wird ein Sollhandmoment generiert. Über einen folgenden geschlossenen Regelkreis wird dann die Lenkunterstützung genau so eingestellt, dass das wiederum über einen Sensor in der Lenksäule gemessene Handmoment des Fahrers diesem Sollhandmoment möglichst genau folgt. Dieses System wird im Folgenden als Controlled-EPAS oder kurz cEPAS bezeichnet.

[0005] Weiterhin gibt es Mischformen, die den geschlossenen Regelkreis des cEPAS Ansatzes nutzen, das Sollhandmoment aber aus bekannten und/oder über ein Beobachtermodell abgeschätzten Kraftgrößen innerhalb der Lenkung berechnen. Diese Mischformen können gleichwohl der bEPAS zugeordnet werden.

[0006] Alle genannten Formen nutzen in der Regel ein Fahrzeuggeschwindigkeitssignal, um die Lenkunterstützung beim parkieren zu erhöhen, bzw. bei hohen Geschwindigkeiten zu verringern.

[0007] Während die bEPAS üblicherweise nicht in der Lage ist, zwischen gewünschten Rückmeldungskräften aus der Fahrsituation und ungewünschten Störeinflüssen zu unterscheiden, kann die cEPAS Lenkung nicht in allen Fahrsituationen die gewünschte fein auflösende Rückmeldung des Reifen-Fahrbahnkontaktes liefern, weil entweder die wirklich auftretenden Kräfte vernachlässigt werden, oder diese wiederum die Störeinflüsse in das System einspeisen würden.

[0008] Bekannt sind Lösungen zur Lenkungssollkraft, die diese aus ein- oder mehrdimensionalen Feldern mit den Einflußgrößen Fahrgeschwindigkeit, Gierrate, und/oder Querbefleunigung ermitteln. Mit diesen Systemen läßt sich zwar eine hinreichend gute Lenkungsrückmeldung erzielen, aber die Sollkraft wird in fehlerfreien Situationen nicht exakt der Istkraft folgen, was eine Differenzbildung zur Störkraftunterdrückung, bzw. das vom Fahrer unbemerkte Hin- und Herblenden, unmöglich macht. Bei Aufschaltung dieser Differenz würde es zu Lenkmomentschwankungen oder gar -sprängen kommen, die für den Fahrzeugführer irritierend wirken.

[0009] Weit reichend bekannt und beschrieben ist auch ein Einspurmodell. Dieses wird in vielen Anwendungen genutzt, um als Zustandsbeobachter nicht meßbare Größen aus einem mathematischen Modell abzuleiten.

[0010] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren der Eingangs genannten Art anzugeben, bei welchem ein Lenkgefühl des Fahrers des Kraftfahrzeuges verbessert ist.

[0011] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst, wobei eine Ist-Zahnstangenkraft mittels eines Beobachtermodells der Lenkung geschätzt wird, wobei eine

künstliche Soll-Zahnstangenkraft mittels eines Beobachtermodells des Fahrzeugs geschätzt wird, wobei die geschätzte Ist-Zahnstangenkraft von der geschätzten künstlichen Soll-Zahnstangenkraft subtrahiert wird, so dass ein Gesamt-Lenkkräftefehler generiert wird, wobei in einem Entscheidungsblock zumindest ein Bruchteilsfaktor zumindest aus Fahrzeugsystem bekannten Signalen bestimmt wird, welcher dem Gesamt-Lenkkräftefehler überlagert wird, so dass eine Zahnstangenkompensationskraft generiert wird, wobei die Hilfskraft mit der Zahnstangenkompensationskraft überlagert wird.

[0012] Zweckmäßig im Sinne der Erfindung ist, wenn der zumindest eine Bruchteilsfaktor aus einem Signal der Lenkwinkelgeschwindigkeit und aus einem Signal des Lenkwinkels so bestimmt wird, dass der zumindest eine Bruchteilsfaktor einen Betrag zwischen Null und eins aufweist. Denkbar ist natürlich auch, wenn dem Entscheidungsblock zum Bestimmen des zumindest einen Bruchteilsfaktors ein Signal betreffend der Fahrzeuggeschwindigkeit, eines geschätzten Antriebsmomentes und/oder Bremsmomentes einer gelenkten Achse zugeführt werden. Möglich ist weiterhin dem Entscheidungsblock zudem die geschätzte Ist-Zahnstangenkraft und die geschätzte künstliche Soll-Zahnstangenkraft zuzuführen.

[0013] In weiter vorteilhaftem Vorgehen kann der Gesamtlenkkräftefehler einem ersten Filter, der Störgrößen zumindest reduziert, zugeführt werden, so dass ein erster gefilterter Zahnstangenkräftefehler generiert wird, der von dem Gesamtlenkkräftefehler subtrahiert wird, so dass ein zu kompensierender Anteil des Gesamtlenkkräftefehlers generiert wird, der mit dem zumindest einen Bruchteilsfaktor überlagert wird, um die Zahnstangenkompensationskraft zu erhalten.

[0014] Vorteilhafter Weise ist dem ersten Filter ein zweiter Filter bzw. ein variabler Sperrfilter in Reihe geschaltet, wobei dem variablen Sperrfilter der erste gefilterte Zahnstangenkräftefehler sowie Raddrehzahlsignale der Räder der gelenkten Achse zugeführt werden, so dass ein zweiter gefilterter Zahnstangenkräftefehler generiert wird, der anstelle des ersten Zahnstangenkräftefehlers von dem Gesamtlenkkräftefehler subtrahiert wird, so dass daraus der zu kompensierende Anteil des Gesamtlenkkräftefehlers generiert wird, der mit dem zumindest ersten Bruchteilsfaktor überlagert wird, um die Zahnstangenkompensationskraft zu erhalten.

[0015] Vorteilhaft wird in dem Entscheidungsblock ein zweiter Bruchteilsfaktor generiert, welcher einen Betrag zwischen null und eins haben kann, und der mit dem ungefilterten Gesamtlenkkräftefehler zu einem ersten Anteil multipliziert wird, und dessen Differenz zu eins mit dem gefilterten Zahnstangenkräftefehler zu einem zweiten Anteil multipliziert wird, wobei beide Anteile aufsummiert werden, so dass bestimmt wird aus welchen Anteilen die Zahnstangenkompensationskraft besteht.

[0016] Zum Schätzen der Ist-Zahnstangenkraft ist günstiger Weise vorgesehen, zumindest zwei gemessene Signale aus der Gruppe Motorwinkelposition, Lenkradwinkelposition, Lenkritzelnwinkelposition, Lenksäulenmoment und Hilfsmotorstromaufnahme in das Beobachtermodell der Lenkung einzuspeisen. Dabei ist zu beachten, dass aus den eingespeisten Signalen die Beobachtbarkeit der Zahnstangenkraft gegeben sein muß.

[0017] Zum Schätzen der künstlichen Soll-Zahnstangenkraft wird in einer ersten bevorzugten Ausführung in einem Block ein Schräglaufwinkel der Vorderachse des Beobachtermodells des Fahrzeugs mit einem veränderlichen Parameter des Reifenrückstellmomentes und einer charakteristischen Funktion multipliziert. Zur Initialisierung der Funktion ist dieser veränderliche Parameter mit einem Startwert belegt. Die ermittelte künstliche Soll-Zahnstangenkraft bzw. deren Betrag wird von einem Betrag der Ist-Zahnstangenkraft abgezogen. Die ermittelte Differenz wird mit einem Verstärkungsfaktor skaliert. Die skalierte Differenz wird mit einem Logikfaktor, der entweder den Betrag Null oder den Betrag Eins aufweist, multipliziert. Die nicht gesperrte skalierte Differenz (Multiplikation mit eins) wird einem Integrator zugeführt, um den Startwert des veränderlichen Reifenrückstellmomentes so anzupassen, dass die Differenz der Beträge der künstlichen Soll-Zahnstangenkraft und der Ist-Zahnstangenkraft Null wird. Dieser Logikfaktor hat genau dann den Betrag von Eins, wenn aufgrund der Fahrsituation von einer störungsarmen Ist-Lenkkräfte ausgegangen werden kann, wenn also der im Entscheidungsblock ermittelte zumindest eine Bruchteilsfaktor klein ist.

[0018] Vorteilhaft wird somit ein Verfahren zur Verfügung gestellt, das eine künstliche Sollkraft in der Lenkung determiniert, die der wirklich auftretenden Kraft (Ist-Zahnstangenkraft) aus Querkräften am Reifen in Situationen ohne äußere Störeinflüsse sehr eng folgt. Weiterhin ist das Verfahren dahingehend vorteilhaft, als zwischen der künstlichen Sollkraft und der aus Messung und/oder bevorzugten Abschätzung bekannten wirklichen Kraft (Ist-Zahnstangenkraft) vermittelt wird, um dem Fahrer eine optimale Rückmeldung zu geben.

[0019] Mit dieser Zahnstangenkompensationskraft ist es dann in einem bEPAS System möglich, in Situationen, in denen eine Störung sensiert oder zumindest sehr wahrscheinlich ist, die Differenz aus Sollkraft und Ist-

kraft zur Störunterdrückung über den Servomotor zu stellen.

[0020] In einem cEPAS Ansatz mit abschließendem geschlossenem Regelkreis kann das vermittelte Signal aus Sollkraft und wirklich auftretender Kraft dem Fahrer eine bessere Rückmeldung der Fahrsituation geben, als eines dieser Signale alleine.

[0021] Der Erfindung liegt die DE 10 2006 044 088 (A1) zugrunde. Über den in der DE 10 2006 044 088 beschriebenen Ansatz geht das erfindungsgemäße Verfahren allerdings hinaus, indem das Verfahren auf beliebige Störgrößen ausgeweitet und die Methoden zur Sollkraftbildung genau spezifiziert werden.

[0022] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die Zahnstangenkraft in der Lenkung eng an die Längs- und Querkräfte des Reifen-Straße Kontaktes in Verbindung mit den kinematischen Hebelarmen der Radaufhängung gebunden ist. Diese Längs- und Querkräfte sind wiederum gekoppelt an den Längsschlupf des Reifens, bzw. seinen Schräglaufwinkel. Um eine gute Abschätzung der Zahnstangenkräfte vorzunehmen müssen also entweder die Kräfte am Reifen aus einem Modell bekannt sein, oder die Schlupfverhältnisse. Da die Lenkung dem Ziel der Querverführung des Fahrzeugs dient, sollte man im Sinne einer optimalen Rückmeldung nur Querkräfte, bzw. den Schräglaufwinkel nutzen, während Lenkkräfte aus Längskräften oder Längsschlupf in diesem Sinne als Störung anzusehen und möglichst zu unterdrücken sind. Für eine gute Zahnstangenkraftschätzung sind also der momentane Schräglaufwinkel des Reifens und/oder die Reifen-Straße Kraft quer zur Laufrichtung des Reifens notwendig.

[0023] Um diese nicht meßbaren Größen zu ermitteln, wird zweckmäßiger Weise ein Beobachtermodell genutzt. Dieses Modell wird mit im Fahrzeug bekannten Größen gespeist, beispielsweise Fahrzeuglängsgeschwindigkeit und Lenkradwinkel. Über mathematisch/physikalische Zusammenhänge errechnen sich Ausgabewerte, in diesem Beispiel Quereschleunigung und Giergeschwindigkeit, die mit im Fahrzeug meßbaren Größen verglichen werden. Liegen Abweichungen vor, kann ein Parameter des Beobachters verändert werden, um die Abweichungen zu minimieren.

[0024] Gleichung 1 zeigt, wie am Beispiel eines Einspurmodells (Beobachtermodell des Fahrzeuges) die Abweichungen der Quereschleunigung und Gierrate über Skaliergrößen k_1 und k_2 als Zeitableitung des Straße/Reifen Reibbeiwertes zurückgeführt werden. Ist das Beobachtermodell gut parametrisiert und stimmen die Ausgabewerte mit den Meßwerten überein, kann auch von einer guten Abschätzung der nicht meßbaren Größen ausgegangen werden.

$$\dot{\mu} = k_1 * \left(a_{y_{\text{Fahrzeug}}} - a_{y_{\text{Beobachter}}} \right) + k_2 * \left(\dot{\psi}_{\text{Fahrzeug}} - \dot{\psi}_{\text{Beobachter}} \right) \quad \text{Gleichung 1}$$

[0025] Dieser Beobachter kann beispielsweise ein Einspurmodell sein, hierin wird das Fahrzeug mathematisch auf ein Hinterrad längs zur Fahrzeugachse sowie ein lenkbares Vorderrad reduziert. Dieses Einspurmodell weist einen Schwerpunkt auf, der mit den Abständen zur Vorderachse und zur Hinterachse liegt. Das Fahrzeug bewege sich in der horizontalen Ebene mit einer beliebigen Schwerpunktsgeschwindigkeit und Giergeschwindigkeit, daraus ergeben sich nach kinematischen Regeln Richtung und Größe der Vorderachsgeschwindigkeit und der Hinterachsgeschwindigkeit. Ferner sei ein Lenkwinkel eingestellt, so dass die Mittelachse des Rades mit dem Vektor der Vorderachsgeschwindigkeit den Vorderradschräglaufwinkel bildet. Weitere Größen im Fahrzeugmodell sind der Hinterradschräglaufwinkel und der Fahrzeugschräglaufwinkel.

[0026] Dieses Fahrzeugmodell gemäß dem Einspurmodell hat drei Freiheitsgrade in der horizontalen Ebene: Längsgeschwindigkeit, Quergeschwindigkeit und Giergeschwindigkeit. Während die Längs- und die Giergeschwindigkeit aus den Drehzahlen der nicht angetriebenen Räder, bzw. über einen Drehratensensor hinreichend genau bekannt sind, ist die aktuelle Quergeschwindigkeit nur über ein Beobachtermodell verfügbar. Insbesondere im nichtlinearen Fahrbereich stellen sich hier häufig Abweichungen zwischen dem Beobachtermodell und der aktuellen Fahrsituation ein.

[0027] Für das in dieser Erfindung beschriebene Verfahren ist jedoch zur genauen Kenntnis des vorderen Schräglaufwinkels eine exakte Quergeschwindigkeit notwendig. Um diese zu ermitteln ist mindestens eine Erweiterung um einen Rollratensensor empfehlenswert, um diesen als Eingangswert mit einzuspeisen.

[0028] Alternativ kann ein anderes Beobachtermodell nach den Gesetzen der Festkörperdynamik auch über eine Sensoreinheit, die longitudinale Beschleunigung und rotatorische Geschwindigkeit in drei senkrecht aufeinander stehenden Achsen messen kann, beaufschlagt werden um eine genaue Abschätzung des Fahrzeugschräglaufwinkels, und damit auch der Quergeschwindigkeit zu berechnen.

[0029] Über die kinematischen Gleichungen des Einspurmodells kann man dann wiederum auf den Vorderradschräglaufwinkel schließen.

[0030] Für die Berechnung einer Lenkungsrückmeldung können jetzt verschiedene Zustände aus den Fahrzeugbeobachtern herangezogen werden.

– Die Fahrzeugquerkraft an der lenkbaren Vorderachse senkrecht zur Reifenrollrichtung. Diese wird berechnet aus Längs-, Quer- und Gierbeschleunigung mit den Parametern Fahrzeugmasse, Gierträgheit und Kinematik des Einspurmodells. Zusammen mit der Nachlaufstrecke, die in der Kinematik der lenkbaren Achse festgelegt ist, ergibt sich ein Lenkmoment um die virtuelle Lenkachse des Rades.

– Der Reifenschräglaufwinkel an der Vorderachse. Aus dem Vorderradschräglaufwinkel wird mit einer normierten charakteristischen Funktion und einem Skalierungsfaktor T_α (veränderliches Reifenrückstellmoment) ein Rückstellmoment berechnet. Auch dieses wirkt um die virtuelle Lenkachse des Rades. Dieses Rückstellmoment ist zusätzlich mit einer Hysterese behaftet.

[0031] Beide Ansätze sind einzeln zulässig. Um die Robustheit des erfindungsgemäßen Verfahrens zu erhöhen, kann auch eine gewichtete Mittelwertbildung dieser beiden Möglichkeiten genutzt werden.

[0032] Die oben genannten Anteile des Rückstellmomentes auf die virtuelle Lenkachse des Rades werden dann mit einer geeigneten Übersetzungsfunktion entweder in eine Längskraft in der Zahnstange oder in ein Gesamtmoment in der Lenksäule umgerechnet. Da Zahnstangenkraft und auf die Lenksäule bezogenes Gesamtmoment über die Zahnstangenübersetzung direkt aneinander gekoppelt sind, sind sie austauschbar und die weiteren Beschreibungen werden nur für die Zahnstangenkraft ausgeführt.

[0033] Da das kurvenäußere Rad in der Regel deutlich stärker zur Gesamtrückstellkraft beiträgt, soll auch die Übersetzung dieses äußeren Rades zur Zahnstange berücksichtigt werden. Diese Übersetzung kann über eine Tabelle interpoliert werden. Vorzugsweise wird eine polynomische Näherung zweiten Grades verwendet, um die Beziehung mathematisch wiederzugeben.

[0034] Der so ermittelten Zahnstangenkraft aus Reifenquerkräften kann nun noch viskose- und/oder Festkörperreibung überlagert werden, die entgegen einer Lenkradbewegung wirkt. Ein Teil dieser Reibung kann abhängig von den momentanen Lasten definiert werden. Diese Summe soll im Folgenden als F_{Z_s} bzw. geschätzte Soll-Zahnstangenkraft benutzt werden.

[0035] Die im Fahrzeug wirklich auftretende momentane Zahnstangenkraft F_{Z_i} (geschätzte Ist-Zahnstangenkraft) soll in erster Näherung die Summe aus gemessenem Lenksäulenmoment und aus der Ansteuerung bekanntem Motorunterstützungsmoment mit den dazugehörigen Übersetzungen sein.

[0036] Vorteilhaft ist es denkbar, Reibungseffekte, welche zum Teil lastabhängig sein können, und dynamische Effekte einzurechnen, damit die Größe F_{Z_i} noch besser die äußeren, vom Reifen/Straße Kontakt herührenden Kräfte beschreibt.

[0037] In einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung wird die momentane Ist-Zahnstangenkraft F_{Z_i} in einem Beobachtermodell des Lenksystems geschätzt. Hierbei werden innere Zustände des Lenksystems nach mathematisch/physikalischen Zusammenhängen ermittelt. Meßwerte vorhandener Sensoren im Lenksystem werden dann mit den in diesem Modell abgeschätzten Zuständen verglichen und die Differenz über eine Rückführmatrix auf die inneren Zustände zurückgeführt. Die hier zu ermittelnde äußere Kraft auf die Zahnstange kann in einem solchen Beobachter als Störgröße zuverlässig geschätzt werden.

[0038] Die Differenz der errechneten Sollkraft F_{Z_s} zur momentan auftretenden Kraft F_{Z_i} wird analog zum Fahrzeugbeobachtermodell über einen einheitenbehafteten Verstärkungsfaktor k_3 als Zeitvariante des reifenabhängigen, maximalen Rückstellmoments T_α (veränderlicher Parameter Reifenrückstellmoment) zurückgeführt (Gleichung 2).

$$\dot{T}_\alpha = k_3 \cdot \text{Update} \cdot (|F_{Z_s}| - |F_{Z_i}|)$$

Gleichung 2

[0039] In Fahrsituationen, in denen von Störmomenten in der Lenkung ausgegangen werden kann, wird die momentan auftretende Kraft F_{Z_i} diese Störmomente widerspiegeln.

[0040] In diesen Fällen soll der Parameter T_α nicht angepaßt werden. Dieses wird in Gleichung 2 durch einen weiteren Faktor Update (Booleanscher Logikfaktor) erreicht, der ausschließlich die Werte Null oder Eins an-

nehmen kann. Dieser Faktor Update soll genau dann einen Wert von Eins aufweisen, wenn der erste Bruchteilfaktor (Signal Compensate siehe weiter unten) kleine Werte annimmt, also von einer störungsfreien Situation ausgegangen werden kann.

[0041] Durch die hier beschriebene Rückführung gemessener Signale wird sichergestellt, dass das Modellverhalten dem realen Fahrzeugverhalten in allen Fahrsituationen robust folgt. Durch die Rückführung des Parameters T_{α} werden auch hier Unterschiede zwischen verschiedenen Reifenfabrikaten und -größen, sowie durch Abnutzung sicher ausgeglichen.

[0042] Sind nun die wirklich auftretende Zahnstangenkraft, welche alle gewünschten Rückmeldungen und ungewünschten Störungen enthält, sowie die aus dem Beobachtermodell errechnete Sollzahnstangenkraft bekannt, kann man in einem Vermittler zwischen beiden interpolieren, um dem Fahrer die optimale haptische Rückmeldung zu vermitteln.

[0043] Zu diesem Zweck wird die Differenz aus Sollzahnstangenkraft F_{Z_s} und momentaner Zahnstangenkraft F_{Z_i} gebildet, welche im Folgenden als Gesamtlenkkraftfehler d_{F_Z} bezeichnet wird.

[0044] Dieser Gesamtlenkkraftfehler wird nun gefiltert, um ihn frequenzabhängig durchzulassen, zu sperren, oder die Amplitude zu senken. Weiterhin können Filter vorgesehen sein, die in ihrer Parametrierung von anderen Eingangsgrößen abhängig sind, beispielsweise können die harmonischen Vielfachen der Raddrehzahlen gesperrt werden, um Lenkmomente aus Unwuchten der rotierenden Körper zu blockieren und/oder Brems Scheibendickenvariationen von der Lenkungsrückmeldung an den Fahrer auszuschließen.

[0045] Weiterhin ist es denkbar, abhängig von Eingangssignalen aus anderen Sensoren oder Steuergeräten eine Gewichtung der beiden Eingangssignale vorzunehmen, um zum Beispiel bei hohen Antriebsmomenten dem Fahrer vollständig die störungsfreie Sollzahnstangenkraft zu vermitteln oder im Falle von stabilitätskritischen Fahrsituationen dem Fahrer nur die momentan tatsächliche Rückmeldung zu geben, um eine bessere Kontrolle der Situation zu ermöglichen.

[0046] Ein Durchlaßfilter läßt aus dem gesamten Lenkkraftfilter nur die für die Rückmeldung gewünschten Frequenzen passieren. Ein nachgeschalteter, variabler Sperrfilter löscht die harmonischen Vielfachen der Raddrehfrequenz aus. Der so gewonnene gewünschte Teil der Rückmeldung wird dann vom gesamten Lenkkraftfehler abgezogen, um den zu kompensierenden Anteil zu gewinnen.

[0047] Ein Entscheidungsblock ermittelt aus möglichen Eingangssignalen Ausgangssignale. Die Liste der Eingangssignale kann beliebig ausgedehnt werden. Die bevorzugt zwei Ausgangssignale Compensate (erster Bruchteilfaktor) und Select (zweiter Bruchteilfaktor) sind jeweils kontinuierliche Signale zwischen Null und Eins. Über das Signal Compensate (kontinuierlicher Skalierfaktor) wird gesteuert, welcher Anteil des Gesamtlenkkraftfehlers kompensiert werden soll. Das Signal Select (kontinuierlicher Überblendfaktor) steuert, wie sich die gesamte Kompensation aus gefiltertem und ungefiltertem Anteil zusammensetzt. Mit einer solchen Anordnung ist es beispielsweise möglich, die Einflüsse der Straßentextur auf die Lenkungsrückmeldung zuzulassen, aber ihre Amplitude zu begrenzen.

[0048] Je nach Auslegung des Lenkunterstützungskontrollsystems kann nun die nach dem Vermittler verbliebene Zahnstangenkompensationskraft der momentan anliegenden Zahnstangenkraft (Hilfskraft) überlagert werden, um dem Fahrer eine komfortable, störungsarme Lenkungsrückmeldung zu geben, ohne wichtige Informationen aus dem Reifen/Straße-Kontakt zu verlieren.

[0049] Das erfindungsgemäße Verfahren kann auf einem im Fahrzeug vorhandenen Steuergerät implementiert werden. Weiterhin ist es aber auch möglich, die einzelnen Schritte auf verschiedene Steuergeräte zu verteilen, da es sinnvoll sein kann, ein eventuell in einem Stabilitätsregelsystem schon vorhandenes Einspurmodell zu nutzen oder den berechneten Schräglaufwinkel in einem anderen Steuergerät auszuwerten.

[0050] Vorteilhaft bei der Erfindung ist die Kombination der Signale und Rechenmethoden, um aus dem allgemeinen Fahrzustand beschrieben durch vorhandene Signale eine Sollenkraft zu berechnen, die der aktuell im Fahrzeug vorhandenen Lenkkraft ohne Störungen exakt entspricht um ein Überblenden zu ermöglichen, sowie das situationsabhängig günstig gewählte Überblenden.

[0051] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen und der folgenden Figurenbeschreibung offenbart. Es zeigen:

[0052] [Fig. 1](#) ein prinzipielles Einspurmodell,

[0053] [Fig. 2](#) einen Modellansatz Einspurmodell mit Meßwertrückführung,

[0054] [Fig. 3](#) einen Modellansatz Schräglaufwinkel,

[0055] [Fig. 4](#) einen Modellansatz Lenkungs-kraftabschätzung mit Istkraft-rückführung,

[0056] [Fig. 5](#) einen Modellansatz Lenk-kraftfehler mit Entscheidungsblock,

[0057] [Fig. 6](#) einen Modellansatz Vermittler mit Entscheidungsblock, und

[0058] [Fig. 7](#) ein normiertes charakteristisches Rückstellmoment.

[0059] In den unterschiedlichen Figuren sind gleiche Signale stets mit denselben Bezugszeichen versehen, so daß diese in der Regel auch nur einmal beschrieben werden. Den Bezugszeichen der Signale ist jeweils ein S vorgestellt.

[0060] [Fig. 1](#) zeigt ein Einspurmodell eines Fahrzeuges. Das Fahrzeug ist auf ein Hinterrad längs zur Fahrzeugachse sowie ein lenkbares Vorderrad reduziert. Dieses Einspurmodell weist einen Schwerpunkt **1** auf, der mit dem Abstand **2** zur Vorderachse und mit dem Abstand **3** zur Hinterachse angeordnet ist. Angenommen wird, dass sich das Fahrzeug in der horizontalen Ebene mit einer beliebigen Schwerpunktsgeschwindigkeit (Pfeil **5**) und Giergeschwindigkeit (Pfeil **6**) bewegt. Aus beiden Parametern ergeben sich nach kinematischen Regeln Richtung und Größe der Vorderachsgeschwindigkeit (Pfeil **7**) und der Hinterradgeschwindigkeit (Pfeil **8**). Es ist ein Lenkwinkel (Doppelpfeil **4**) eingestellt, der mit dem Vektor der Vorderachsgeschwindigkeit (Pfeil **7**) einen Vorderachsschräglaufwinkel (Doppelpfeil **9**) bildet. Als weitere Größen sind dem Einspurmodell ein Hinterradschräglaufwinkel (Doppelpfeil **10**) und ein Fahrzeugschräglaufwinkel (Doppelpfeil **11**) entnehmbar.

[0061] [Fig. 5](#) zeigt die einfachste Ausführung der Erfindung. Ein Gesamtzahnstangenkraftfehler S17 wird aus der Differenz einer geschätzten Ist-Zahnstangenkraft S15 und einer künstlichen Soll-Zahnstangenkraft S16 ermittelt. Ein Entscheidungsblock **15** ermittelt aus den Eingangsgrößen Lenkradwinkel S3 und Lenkradwinkelgeschwindigkeit S4 einen Bruchteilsfaktor S26, der dem Gesamtzahnstangenkraftfehler S17 überlagert wird.

[0062] [Fig. 6](#) zeigt einen Modellansatz Vermittler **16** mit Entscheidungsblock **15**. Der Vermittler **16** ist mittels gestrichelter Umrandung hervorgehoben. Zunächst wird eine geschätzte künstliche Soll-Zahnstangenkraft S16 von einer geschätzten Ist-Zahnstangenkraft S15 abgezogen, so dass als Differenz ein Gesamtlenk-kraftfehler S17 bzw. ein Gesamtzahnstangenkraftfehler S17 generiert wird. Auf die Ermittlung der geschätzten Ist-Zahnstangenkraft S15 und der geschätzten künstlichen Soll-Zahnstangenkraft S16 wird weiter unten eingegangen.

[0063] In dem Entscheidungsblock **15** wird aus den beispielhaften Signalen Ist-Zahnstangenkraft S15, künstliche Soll-Zahnstangenkraft S16, eines geschätzten Antriebsmomentes und/oder Bremsmomentes einer gelenkten Achse S21, Lenkradwinkel S3 und der Lenkradwinkelgeschwindigkeit S4 ein erster Bruchteilsfaktor S26 (Compensate) und ein zweiter Bruchteilsfaktor S25 (Select) generiert. In dem Entscheidungsblock **15** sind noch Platzhalter Input x, y und z vorgesehen, um die beispielhaft genannten Eingangssignale noch erweitern zu können. Der erste Bruchteilsfaktor S26 sowie der zweite Bruchteilsfaktor S25 weisen jeweils einen Betrag zwischen Null und Eins auf.

[0064] Der Gesamtlenk-kraftfehler S17 kann nun direkt mit dem ersten Bruchteilsfaktor S26 überlagert werden, so dass eine Zahnstangenkompensationskraft S20 generiert wird. Die generierte Zahnstangenkompensationskraft S20 wird der Hilfskraft der Servolenkung überlagert.

[0065] In bevorzugter Ausführung wird der Gesamtlenk-kraftfehler S17 einem ersten Filter **17**, der Störgrößen zumindest reduziert, zugeführt, so dass ein erster gefilterter Zahnstangenkraftfehler S18 generiert wird. Dieser kann von dem Gesamtlenk-kraftfehler S17 subtrahiert werden, so dass ein zu kompensierender Anteil des Gesamtlenk-kraftfehlers S17 generiert wird. Der zu kompensierende Anteil des Gesamtlenk-kraftfehlers S17 kann nun mit dem ersten Bruchteilsfaktor S26 überlagert werden, um die Zahnstangenkompensationskraft S20 zu erhalten, welche der Hilfskraft der Servolenkung überlagert wird.

[0066] In weiter bevorzugter Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass dem ersten Filter **17** ein

zweiter Filter **18** bzw. ein variabler Sperrfilter **18** in Reihe geschaltet ist, wobei dem variablem Sperrfilter **18** der erste gefilterte Zahnstangenkraftfehler S18 sowie Raddrehzahlensignale S2 der Räder der gelenkten Achse zugeführt werden, so dass ein zweiter gefilterter Zahnstangenkraftfehler S19 generiert wird, der anstelle des ersten Zahnstangenkraftfehlers S18 von dem Gesamtlenkkraftfehler S17 subtrahiert wird, so dass daraus der zu kompensierende Anteil des Gesamtlenkkraftfehlers S17 generiert wird, der mit dem zumindest ersten Bruchteilsfaktor S26 überlagert wird, um die Zahnstangenkompensationskraft S20 zu erhalten.

[0067] Vorteilhaft ist weiter vorgesehen, dass in dem Entscheidungsblock **15** der zweite Bruchteilsfaktor S25 generiert wird, der mit dem ungefilterten Gesamtlenkkraftfehler S17 zu einem ersten Anteil multipliziert wird, und dessen Differenz zu eins mit dem gefilterten, bevorzugt zweiten Zahnstangenkraftfehler S19 zu einem zweiten Anteil multipliziert wird, wobei beide Anteile aufsummiert werden, so dass bestimmt wird aus welchen Anteilen die Zahnstangenkompensationskraft S20 besteht.

[0068] In einem nicht dargestellten Beobachtermodell der Lenkung wird die Ist-Zahnstangenkraft S15 mittels zumindest drei aus den folgenden Signalen wie z. B. einem Motorpositionssignal des Hilfskraftmotors, einem gemessenen Lenkradwinkelsignal, einem gemessenen Lenkritzelsignal, einem gemessenen Motorstrom des Hilfskraftmotors mit entsprechender Motorkennlinie und einem gemessenen Lenkmomentensignal geschätzt, wobei die gemessenen Signale in das Beobachtermodell der Lenkung eingespeist werden.

[0069] In einer vereinfachten Ausführung ist auch denkbar, die Ist-Zahnstangenkraft S15 aus der Summe eines gemessenen Lenkmomentensignals und eines gemessenen Motorstroms des Hilfskraftmotors mit entsprechender Motorkennlinie zu berechnen.

[0070] Zum Schätzen der künstlichen Soll-Zahnstangenkraft S16 können zwei Ansätze zur Bestimmung eines Vorderachsschräglaufwinkels S13 gewählt werden.

[0071] [Fig. 2](#) zeigt einen ersten Modellansatz Einspurmodell ([Fig. 1](#)) mit Meßwertrückführung. Einem Block **18** werden Fahrzeugbekannte Signale wie zum Beispiel eine Fahrzeuggeschwindigkeit S1, ein Lenkradwinkel S3, und eine Rollwinkelgeschwindigkeit S9 sowie ein Startwert eines veränderlichen Reifen/Straße Reibbeiwertes S22 zugeführt. Mit den Signalen wird eine Quereschleunigung S8 und eine Gierwinkelgeschwindigkeit S12 geschätzt. Die geschätzte Quereschleunigung S8 bzw. deren Betrag wird von einer tatsächlichen Quereschleunigung S6 (Betrag) abgezogen. Die geschätzte Gierwinkelgeschwindigkeit S12 bzw. deren Betrag wird von einer tatsächlichen Gierwinkelgeschwindigkeit S11 (Betrag) abgezogen. Die beiden ermittelten Differenzen werden jeweils mit einem Verstärkungsfaktor k_1 bzw. k_2 skaliert, wobei die skalierten Werte aufsummiert werden. Die Summe wird einem Integrator $1/s$ zugeführt. Der Startwert des veränderlichen Reifen/Straße Reibbeiwertes S22 wird so angepaßt. Ist das Beobachtermodell gut parametrisiert und stimmen die Ausgabewerte mit den Meßwerten überein, kann auch von einer guten Abschätzung der nicht meßbaren Größen ausgegangen werden. Der Vorderachsschräglaufwinkel S13 und die Vorderachsquerkraft S14 sind so ermittelbar.

[0072] In [Fig. 3](#) ist ein weiterer, zweiter Ansatz zur Bestimmung des Vorderachsschräglaufwinkels S13 und der Vorderachsquerkraft S14 gezeigt. Aus einer Meßeinheit mit sechs Freiheitsgraden werden Längsbeschleunigung S5, Quereschleunigung S6, Vertikalbeschleunigung S7, Rollwinkelgeschwindigkeit S9, Nickwinkelgeschwindigkeit S10 und Gierwinkelgeschwindigkeit S11 einem Block **20** zusammen mit einem Vektor der vier Radgeschwindigkeiten S2 und dem Lenkradwinkel S3 zugeführt. Als Ausgabewert werden nach den Gesetzen der Festkörpermechanik der Vorderachsschräglaufwinkel S13 und die Vorderachsquerkraft S14 erhalten.

[0073] Für die Berechnung der Lenkungsrückmeldung, also der künstlichen Sollzahnstangenkraft S16, können verschiedene Zustände herangezogen werden.

[0074] Zum Schätzen der künstlichen Soll-Zahnstangenkraft S16 wird in einer ersten bevorzugten Ausführung in einem Block **21** ([Fig. 4](#)) der Schräglaufwinkel S13 der Vorderachse des Beobachtermodells des Fahrzeuges sowie ein Startwert eines veränderlichen Reifenrückstellmomentes S23 genutzt. Die ermittelte künstliche Soll-Zahnstangenkraft S16 bzw. deren Betrag wird von einem Betrag der Ist-Zahnstangenkraft S15 abgezogen. Die ermittelte Differenz wird mit einem Verstärkungsfaktor k_3 skaliert. Die skalierte Differenz wird mit einem Logikfaktor S24 (update), der entweder den Betrag Null oder den Betrag Eins aufweist, multipliziert. Die nicht gesperrte skalierte Differenz (Multiplikation mit eins) wird einem Integrator $1/s$ zugeführt, um den Startwert des veränderlichen Reifenrückstellmomentes S23 so anzupassen, dass die Differenz der Beträge der künstlichen Soll-Zahnstangenkraft S16 und der Ist-Zahnstangenkraft S15 gegen Null strebt. [Fig. 7](#) zeigt eine normierte charakteristische Funktion des Reifenrückstellmomentes über dem Vorderachsschräglaufwinkel S13, welche mit dem veränderlichen Parameter S23 skaliert wird, um das Rückstellmoment zu berechnen.

Auch dieses Rückstellmoment wirkt um die virtuelle Lenkachse des Rades, und kann mit einer Hysterese behaftet sein.

[0075] Denkbar ist aber auch, einen Ansatz über eine Vorderachsquerkraft S14 und/oder über eine Lenkradwinkelgeschwindigkeit S4 zu wählen, um die künstliche Soll-Zahnstangenkraft S16 zu schätzen. Alle drei Ansätze sind in [Fig. 4](#) dargestellt.

[0076] In Tabelle 1 sind die Signale mit ihren Bezugszeichen kurz zusammengestellt:

Tabelle 1:

Signal	Symbol	Signalbeschreibung
S1	v_x	Fahrzeuggeschwindigkeit
S2	v_w	[1 × 4] Vektor Radgeschwindigkeiten/Raddrehzahlsignal
S3	SWA	Lenkradwinkel
S4	SWS	Lenkradwinkelgeschwindigkeit
S5	a_x	Längsbeschleunigung
S6	a_y	Quereschleunigung
S7	a_z	Vertikalbeschleunigung
S8	a_y_e	Schätzung Quereschleunigung
S9	w_x	Rollwinkelgeschwindigkeit
S10	w_y	Nickwinkelgeschwindigkeit
S11	w_z	Gierwinkelgeschwindigkeit
S12	w_z_e	Schätzung Gierwinkelgeschwindigkeit
S13	alpha_f	Vorderradschräglaufwinkel (geschätzt)
S14	F_f_lat	Vorderachsquerkraft (geschätzt)
S15	F_Z_i	Zahnstangenkraft (geschätzt Ist)
S16	F_Z_s	Schätzung Zahnstangenkraft (Soll, künstlich)
S17	d_F_Z	Zahnstangenkraftfehler (Gesamtlenkkräftfehler)
S18	d_FRack_1	Gefilterter Zahnstangenkraftfehler (erster)
S19	d_FRack_2	Gefilterter Zahnstangenkraftfehler (zweiter)
S20	F_Offset	Zahnstangenkompensationskraft
S21	T_Prop	Vorderachsantriebsmoment
S22	mue	Veränderlicher Parameter Reifen/Straße Reibbeiwert
S23	T_alpha	Veränderlicher Parameter Reifenrückstellmoment
S24	Update	Booleanscher Logikfaktor [0; 1]
S25	Select	Kontinuierlicher Überblendfaktor gefilterte/ungefilterte Kompensation [0...1]
S26	Compensate	Kontinuierlicher Skalierfaktor Kompensation [0...1]

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102006044088 (A1) [\[0021\]](#)
- DE 102006044088 [\[0021\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kompensation von Störgrößen, welche auf ein Fahrzeug mit einer hilfskraftunterstützten Lenkung wirken, umfassend
Schätzen einer Ist-Zahnstangenkraft mittels eines Beobachtermodells der Lenkung,
Schätzen einer künstlichen Soll-Zahnstangenkraft mittels eines Beobachtermodells des Fahrzeugs,
Subtrahieren der geschätzten Ist-Zahnstangenkraft von der geschätzten künstlichen Soll-Zahnstangenkraft, so dass ein Gesamtlenkkraftfehler generiert wird, wobei
in einem Entscheidungsblock zumindest ein erster Bruchteilsfaktor zumindest aus Fahrzeugsystem bekannten Signalen bestimmt wird, welcher dem Gesamtlenkkraftfehler überlagert wird, so dass eine Zahnstangenkompensationskraft generiert wird, welche der Hilfskraft überlagert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Bruchteilsfaktor aus einem Signal der Lenkwinkelgeschwindigkeit und aus einem Signal des Lenkwinkels so bestimmt wird, dass der zumindest eine Bruchteilsfaktor einen Betrag zwischen Null und eins aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass dem Entscheidungsblock zum Bestimmen des zumindest einen Bruchteilsfaktors ein Signal betreffend eines geschätzten Antriebsmomentes und/oder Bremsmomentes einer gelenkten Achse zugeführt werden, wobei dem Entscheidungsblock zudem die geschätzte Ist-Zahnstangenkraft und die geschätzte künstliche Soll-Zahnstangenkraft zuleitbar sind.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Gesamtlenkkraftfehler einem ersten Filter, der Störgrößen zumindest reduziert, zugeführt wird, so dass ein erster gefilterter Zahnstangenkraftfehler generiert wird, der von dem Gesamtlenkkraftfehler subtrahiert wird, so dass ein zu kompensierender Anteil des Gesamtlenkkraftfehlers generiert wird, der mit dem zumindest einen Bruchteilsfaktor überlagert wird, um die Zahnstangenkompensationskraft zu erhalten.
5. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass dem ersten Filter ein zweiter Filter bzw. ein variabler Sperrfilter in Reihe geschaltet ist, wobei dem variablen Sperrfilter der erste gefilterte Zahnstangenkraftfehler sowie Raddrehzahlsignale der Räder der gelenkten Achse zugeführt werden, so dass ein zweiter gefilterter Zahnstangenkraftfehler generiert wird, der anstelle des ersten Zahnstangenkraftfehlers von dem Gesamtlenkkraftfehler subtrahiert wird, so dass daraus der zu kompensierende Anteil des Gesamtlenkkraftfehlers generiert wird, der mit dem zumindest ersten Bruchteilsfaktor überlagert wird, um die Zahnstangenkompensationskraft zu erhalten.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Entscheidungsblock ein zweiter Bruchteilsfaktor generiert wird, welcher einen Betrag zwischen null und eins haben kann, und der mit dem ungefilterten Gesamtlenkkraftfehler zu einem ersten Anteil multipliziert wird, und dessen Differenz zu eins mit dem gefilterten Zahnstangenkraftfehler zu einem zweiten Anteil multipliziert wird, wobei beide Anteile aufsummiert werden, so dass bestimmt wird aus welchen Anteilen die Zahnstangenkompensationskraft besteht.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zum Schätzen der Ist-Zahnstangenkraft zumindest ein gemessenes Motorpositionssignal des Hilfskraftmotors, und/oder ein gemessenes Lenkradwinkelsignal und/oder ein gemessenes Lenkradwinkelsignal und/oder ein gemessenes Lenkritzelsignalsignal und/oder ein gemessenes Lenkmomentensignal und/oder ein gemessener Hilfskraftmotorstrom in das Beobachtermodell der Lenkung eingespeist wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zum Schätzen der künstlichen Soll-Zahnstangenkraft in einem Block ein Schräglaufwinkel der Vorderachse des Beobachtermodells des Fahrzeuges sowie ein Startwert eines veränderlichen Reifenrückstellmomentes abgelegt ist, wobei die ermittelte künstliche Soll-Zahnstangenkraft bzw. deren Betrag von einem Betrag der Ist-Zahnstangenkraft abgezogen wird, wobei die ermittelte Differenz mit einem Verstärkungsfaktor skaliert wird, wobei die skalierte Differenz mit einem Logikfaktor, der entweder den Betrag Null oder den Betrag Eins aufweist, multipliziert wird, wobei die nicht gesperrte skalierte Differenz (Multiplikation mit eins) einem Integrator zugeführt wird, um den Startwert des veränderlichen Reifenrückstellmomentes so anzupassen, dass die Differenz der Beträge der künstlichen Soll-Zahnstangenkraft und der Ist-Zahnstangenkraft Null wird.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

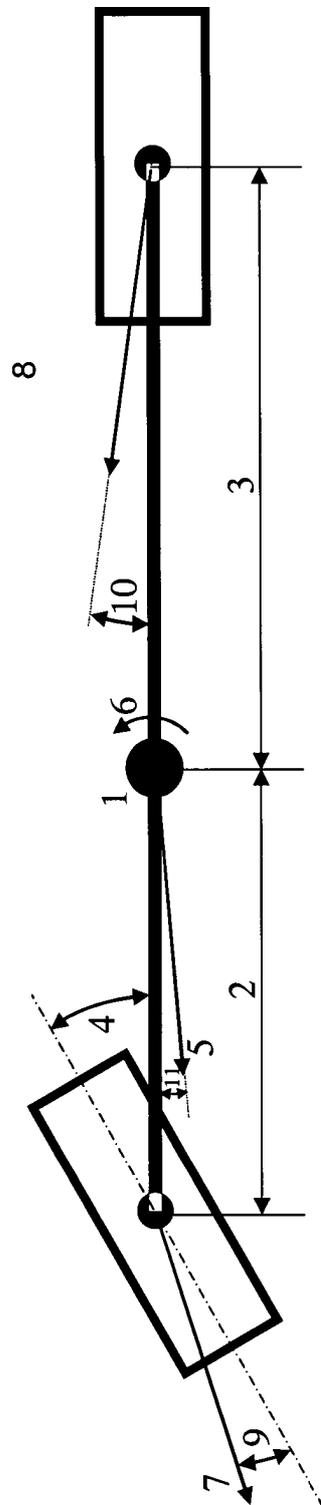


Fig. 1

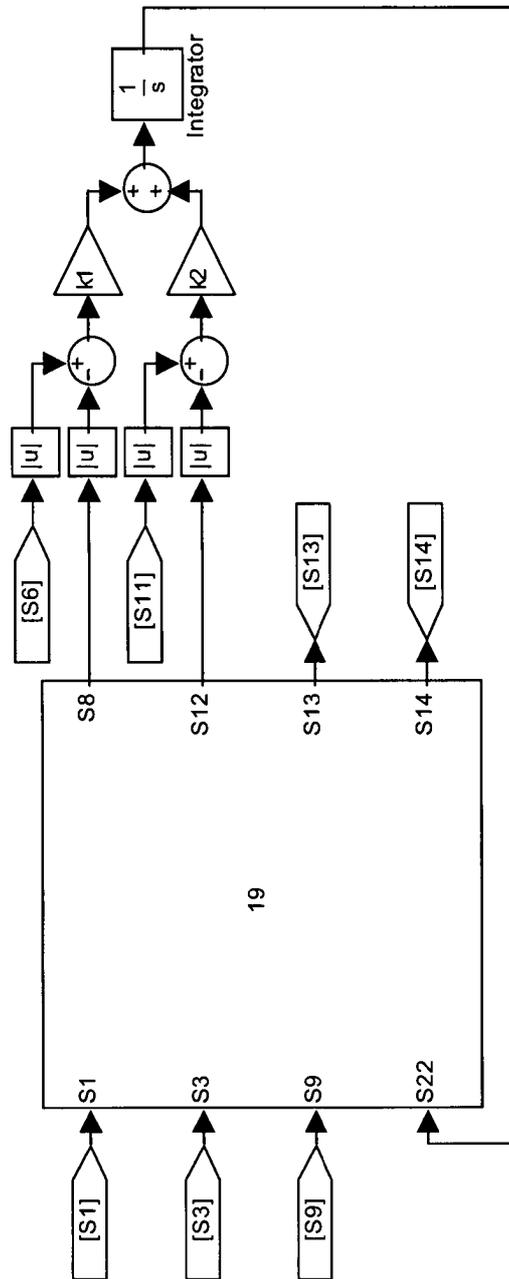


Fig. 2

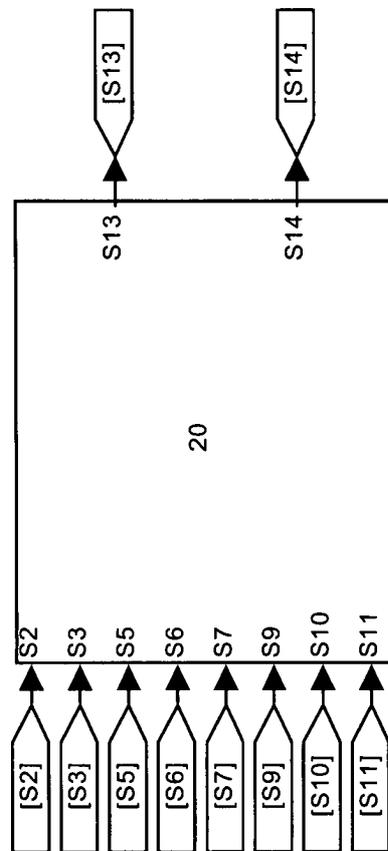


Fig. 3

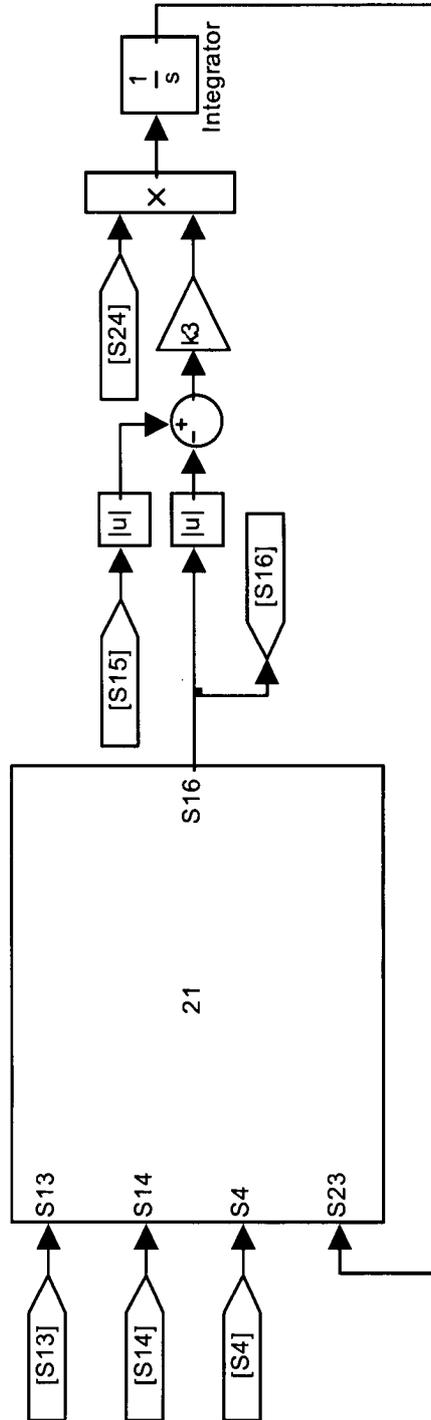


Fig. 4

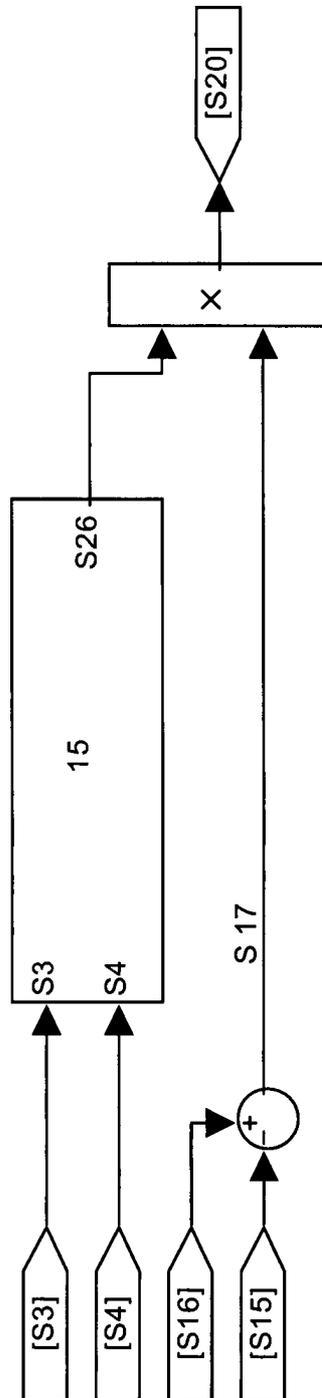


Fig. 5

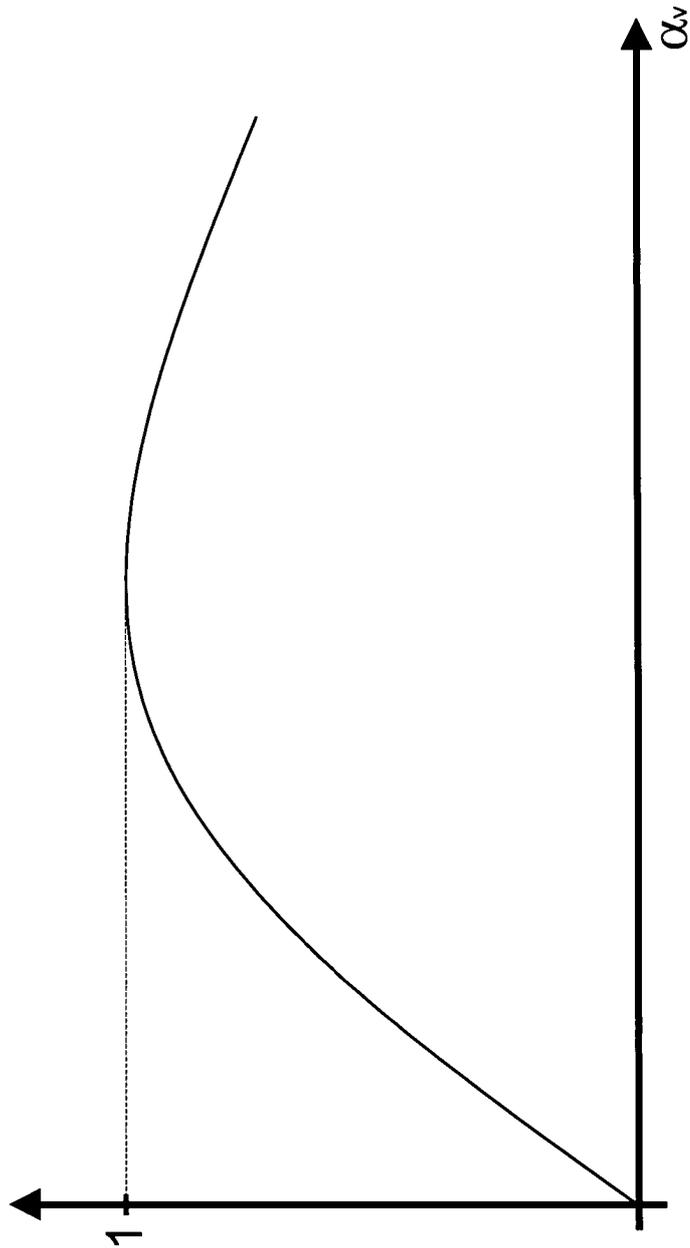


Fig. 7