



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2006 033 631 A1 2008.01.24

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2006 033 631.3

(22) Anmeldetag: 20.07.2006

(43) Offenlegungstag: 24.01.2008

(51) Int Cl.⁸: **B60W 30/02** (2006.01)
B60W 40/10 (2006.01)

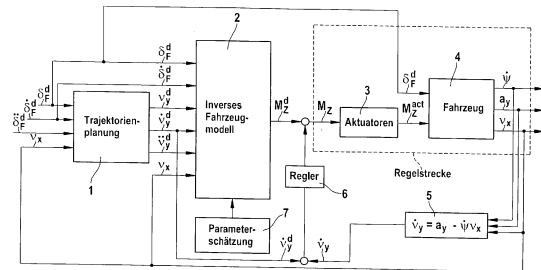
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Fehn, Achim, 70176 Stuttgart, DE; Antonov, Sergiy, 74074 Heilbronn, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Stabilisierung eines Fahrzeugs unter Berücksichtigung der Fahrzeugquerdynamik**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Stabilisierung eines Fahrzeugs unter Berücksichtigung der Fahrzeugquerdynamik wird aus dem Fahrerwunsch eine die Querdynamik des Fahrzeugs beeinflussende Sollgröße ermittelt, aus einem Vergleich der Sollgröße mit einer korrespondierenden Zustandsgröße eine Stellgröße errechnet und die Stellgröße mindestens einem Aktuator im Fahrzeug zugeführt. Die zu regelnde Zustandsgröße ist die Quergeschwindigkeit des Fahrzeugs oder deren zeitliche Ableitung.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Stabilisierung eines Fahrzeugs unter Berücksichtigung der Fahrzeugquerdynamik nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] In „ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 96“, 1994, Seiten 674 bis 689 wird ein Fahrdynamik-Regelungsverfahren für Kraftfahrzeuge beschrieben, welches sowohl die Fahrzeuglängsdynamik als auch die Querdynamik berücksichtigt, um die Fahrstabilität auch in Grenzbereichen gewährleisten zu können. Zur Beeinflussung der Querdynamik wird eine Giergeschwindigkeitsregelung durchgeführt, bei der ausgehend vom Fahrerwunsch, insbesondere dem Lenkwinkel, eine Sollgiergeschwindigkeit ermittelt wird, die mit der gemessenen Gierrate verglichen und der Regelung zugrunde gelegt wird. Der Gierratenregler stellt hierbei das für die Fahrzeugquerführung erforderliche Giermoment bereit, das mithilfe der Aktuatoren im Fahrzeug, insbesondere durch gezielte Bremseingriffe an einzelnen Rädern im Fahrzeug, umgesetzt wird.

[0003] Auch der aktuelle Fahrzustand fließt in die Berechnung der Sollwerte ein. Diese Verquickung von Fahrzustand und Sollwertbildung hat allerdings zur Folge, dass das mögliche Potenzial für die Regelung des Fahrzeuges nicht voll ausgenutzt wird.

Offenbarung der Erfindung

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Fahrzeug unter Berücksichtigung der Fahrzeugquerdynamik in effektiver Weise und sicher zu stabilisieren.

[0005] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die Unteransprüche geben zweckmäßige Weiterbildungen an.

[0006] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird aus dem Fahrerwunsch eine die Querdynamik des Fahrzeugs beschreibende Sollgröße ermittelt, die mit einer korrespondierenden, gemessenen und/oder geschätzten Zustandsgröße verglichen wird, woraufhin eine Stellgröße ermittelt wird, die mindestens einem Aktuator im Fahrzeug zur Änderung der aktuellen Einstellung zugeführt wird. Als zu regelnde, die Querdynamik des Fahrzeugs beschreibende Zustandsgröße wird die Quergeschwindigkeit des Fahrzeugs oder deren zeitliche Ableitung herangezogen. Anstelle des Fahrerwunsches kann die Sollgröße auch aus einer anderen Vorgabe ermittelt werden, beispielsweise aus einer autonomen Streckenführung.

[0007] Im Unterschied zu aus dem Stand der Technik bekannten Ausführungen, die sich auf eine Gierratenregelung bzw. eine Schwimmwinkelbegrenzung stützen, liegt dem erfindungsgemäßen Verfahren die Regelung der Quergeschwindigkeit bzw. deren zeitliche Ableitung zugrunde, wodurch die Sollwertvorgabe aufgrund der strikten Trennung der Sollwertbildung von der Regelung vereinfacht ist. Ein weiterer Vorteil liegt in dem verringerten Applikationsaufwand bei modellbasierten Regelungsverfahren. Schließlich kann auch die Fahrzeugagilität und die Gesamtdynamik mittels einer Vorsteuerung verbessert werden. Grundlage hierfür ist der Aufbau einer Regelungsstruktur als Trajektorienfolgeregelung, die auf einer Sollwertvorgabe und einer Rückführung basiert. Die Vorsteuerung, die optional durchgeführt werden kann, verbessert die Regelung, insbesondere das Störverhalten.

[0008] Gemäß einer zweckmäßigen Ausführung wird die Quergeschwindigkeit und deren Ableitungen in einem inversen Fahrzeugmodell verarbeitet, in welchem ein Grund- bzw. Vorsteuerungswert der Stellgröße berechnet wird. Auf diesen Vorsteuerungswert wird der Reglerausgang aufaddiert, wobei der erhaltene Wert als Stellgröße dem mindestens einen Aktuator im Fahrzeug zugeführt wird. Das inverse System- bzw. Fahrzeugmodell beinhaltet die Information über die Dynamik des Fahrzeugs, wobei verschiedene Modellausführungen für das inverse Fahrzeugmodell möglich sind. Zweckmäßig wird das inverse Fahrzeugmodell als Funktion der Quergeschwindigkeit sowie der ersten und zweiten Ableitung der Quergeschwindigkeit und darüber hinaus auch des Lenkwinkels oder eines damit korrespondierenden Winkels und der Lenkwinkelgeschwindigkeit berechnet. Möglich sind aber auch weitere Abhängigkeiten, beispielsweise von der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit.

[0009] Die Berücksichtigung eines inversen Fahrzeugmodells verbessert die Güte der Gesamtregelung, sie ist aber nicht zwingende Voraussetzung für das Funktionieren. Grundsätzlich reicht eine explizite Sollwertvorgabe bzw. Trajektorienbildung auf der Grundlage der Quergeschwindigkeit bzw. deren Ableitung aus.

[0010] Als Stellgröße, die wenigstens einem Aktuator im Fahrzeug zur Änderung der aktuellen Einstellung zugeführt wird, wird vorteilhaft ein Giermoment um die Fahrzeughochachse ermittelt.

[0011] Zur Umsetzung dieses Giermoments werden Aktuatoren im Fahrzeug angesteuert, die insbesondere die Radbremse und/oder das Antriebssystem im Fahrzeug beeinflussen, beispielsweise motorische Größen wie Luft- und/oder Kraftstoffzufuhr oder auch den Kraftfluss im Antriebsstrang wie zum Beispiel Kupplungen oder Differenziale.

[0012] Für den Fall, dass ein inverses Fahrzeugmodell berücksichtigt wird, ist die Solltrajektorie, die vorgegeben wird, zweckmäßig zweimal stetig differenzierbar, um sowohl die erste als auch die zweite Ableitung sprungfrei bilden zu können. Es handelt sich bei der Solltrajektorie insbesondere um die Quergeschwindigkeit, aus der die erste und die zweite Ableitung gebildet wird. Sofern auf ein inverses Fahrzeugmodell verzichtet wird, reicht es aber grundsätzlich aus, lediglich eine einmal stetige differenzierbare Solltrajektorie auf der Basis der Quergeschwindigkeit vorzugeben, deren zeitliche Ableitung dem Regler als Sollgröße zugeführt wird.

[0013] Es kann darüber hinaus zweckmäßig sein, Parameter zu schätzen, insbesondere Reifenparameter und/oder Fahrzeugparameter und in die Ermittlung der Stellgröße einfließen zu lassen, insbesondere in die Ermittlung des Vorsteuerwertes der Stellgröße. Diese Schätzwerte fließen zweckmäßig in die inverse Modellbeschreibung ein.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0014] Weitere Vorteile und zweckmäßige Ausführungen sind den weiteren Ansprüchen, der Figurenbeschreibung und den Zeichnungen zu entnehmen. Es zeigen:

[0015] [Fig. 1](#) ein Blockdiagramm mit der Darstellung einer modellbasierten Fahrzeugquerregelung,

[0016] [Fig. 2](#) Funktionsverläufe für den Lenkeinschlag der vorderen Räder des Fahrzeuges und der Längsgeschwindigkeit im Falle eines Testmanövers mit einem Spurwechsel,

[0017] [Fig. 3](#) Funktionsverläufe mit den Soll- und Istwerten für den Schwimmwinkel und die Querbeschleunigung als Reaktion auf das Testmanöver,

[0018] [Fig. 4](#) Funktionsverläufe mit den Soll- und Istwerten für die Gierrate und die Stellgröße, ebenfalls als Reaktion auf das Testmanöver.

Ausführungsform(en) der Erfindung

[0019] Folgende Symbole werden in der nachfolgenden Beschreibung und in den Ansprüchen verwendet:

Lenkwinkel δ_H ,

Einschlag der vorderen Räder δ_F ,

Fahrzeugmasse m ,

Fahrzeugträgheitsmoment um die Hochachse J ,

Fahrzeuginnenlängsgeschwindigkeit v_x , Fahrzeugquergeschwindigkeit v_y ,

Schwimmwinkel β ,

Fahrzeugquerbeschleunigung a_y ,

Fahrzeuggiergeschwindigkeit $\dot{\psi}$,

Querkraft an der Vorderachse F_F ,

Querkraft an der Hinterachse F_R ,

Schräglaufwinkel der vorderen Räder α_F ,

Schräglaufwinkel der hinteren Räder α_R ,

Steifigkeit der Vorderachse c_F ,

Steifigkeit der Hinterachse c_R ,

Abstand zwischen der Vorderachse und dem Fahrzeugschwerpunkt l_F ,

Abstand zwischen der Hinterachse und dem Fahrzeugschwerpunkt l_R ,

Moment um die Hochachse M_z .

[0020] Der Exponent „d“ kennzeichnet einen Sollwert.

[0021] Der Block 1 in [Fig. 1](#) stellt die Trajektorienplanung dar, in dem die Sollwertbildung auf der Grundlage

des Fahrerwunsches durchgeführt wird. Eingang findet in den Block 1 als Fahrerwunsch der Einschlag der vorderen Räder δ_F^d , der aus dem Lenkwinkel des Fahrers bestimmt wird, sowie die erste und zweite zeitliche Ableitung hiervon, und die Fahrzeuglängsgeschwindigkeit v_x (denkbar ist auch die Berücksichtigung der Längs- bzw. Querbesehleunigung). Im Block 1 werden aus diesen Informationen Trajektorien, also zeitliche Verläufe für die Sollwerte gebildet, und zwar für die Fahrzeugquergeschwindigkeit v_y^d sowie deren erste und zweite zeitliche Ableitung $\dot{v}_y^d, \ddot{v}_y^d$. Bei der Sollwertbildung für die Fahrzeugquergeschwindigkeit v_y^d und deren Zeitableitungen \dot{v}_y^d und \ddot{v}_y^d wird das dynamische Verhalten der Regelstrecke berücksichtigt, indem ausreichend oft stetig differenzierbare und damit realisierbare Sollverläufe aus dem Fahrerwunsch und dessen Zeitableitung sowie aus der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit gebildet werden. Hierfür wird ein quasi-stationäres Fahrzeugmodell verwendet, dem ein hoher Fahrbahnreibwert und ein lineares Reifenverhalten zugrunde liegt. Diese Vorgabe entspricht der Fahrererwartung, das heißt einem schnellen Ansprechen des Fahrzeugs auf Lenkeingriffe und linearem Systemverhalten. Denkbar sind aber auch alternative Ansätze, die beispielsweise auf der Sollwertbildung auf der Basis eines dynamischen Modells beruhen. Außerdem kann die Sollwertbildung auch das dynamische Aktuatorverhalten berücksichtigen.

[0022] Bei der Sollwertbildung im Block 1 können prinzipiell auch Sollverläufe für andere kinematische Größen als die Fahrzeugquergeschwindigkeit vorgegeben werden, um diese für eine Rückführung zu nutzen. Grundsätzlich können zur Ermittlung der benötigten Zeitableitungen im Block 1 Beobachter oder geeignete Filter eingesetzt werden.

[0023] Die in der Trajektorienplanung im Block 1 ermittelten Sollwerte für die Fahrzeugquergeschwindigkeit v_y^d sowie deren erste und zweite zeitliche Ableitungen \dot{v}_y^d und \ddot{v}_y^d werden dem Block 2 als Eingangsgrößen zugeführt, in welchem ein inverses Fahrzeugmodell realisiert wird. Weitere Eingangsgrößen in den Block 2 sind der Einschlag der vorderen Räder δ_F^d sowie deren zeitliche Ableitung $\dot{\delta}_F^d$ und die Fahrzeuglängsgeschwindigkeit v_x . Mithilfe des inversen Systems im Block 2 wird aus der Sollvorgabe sowie unter Berücksichtigung von geschätzten Fahrzeug- und Reifenparametern, die in einem Block 7 ermittelt werden, ein Sollgiermoment M_z^d berechnet, das als Vorsteuerwert genutzt wird, wodurch die Güte der Regelung und das Störverhalten verbessert werden kann.

[0024] Das inverse Fahrzeugmodell im Block 2 stellt eine differenzialalgebraische Beschreibung des dynamischen Verhaltens von Fahrzeug und Reifen dar. Die Systembeschreibung erfolgt auf der Grundlage der mathematischen Regelstreckendefinition mithilfe physikalischer Parameter. Schätzalgorithmen für die benötigte Fahrzeuglängsgeschwindigkeit sind beispielsweise aus ESP-Systemen bekannt.

[0025] Bei dem inversen Fahrzeugmodell im Block 2 ist für eine genaue Berechnung des Sollgiermomentes M_z^d Kenntnis des aktuellen Reibungskoeffizienten zwischen Reifen und Straße erforderlich, wobei fehlerhafte Reibungskoeffizienten durch die Rückführung kompensiert werden, so dass eine Anpassung, beispielsweise mittels Schätzung der Reibkoeffizienten nicht zwingend durchgeführt werden muss.

[0026] Sollverläufe für Zustandsgrößen, beispielsweise für die Gierrate, oder von Zustandsgrößen abhängige Größen, wie zum Beispiel der Schwimmwinkel oder die Querbesehleunigung, können optional berechnet und mithilfe einer Rückführung zur Stabilisierung der Trajektorienfolge genutzt werden.

[0027] Die in der Trajektorienplanung im Block 1 ermittelte zeitliche Ableitung \dot{v}_y^d der Fahrzeugquergeschwindigkeit v_y^d wird als Sollgröße einem Additionspunkt zugeführt, in welchem ein Vergleich mit der zugeordneten Ist- bzw. Zustandsgröße \dot{v}_y durchgeführt wird. Die hieraus gewonnene Regelabweichung wird einem Regler 6 zugeführt, der beispielsweise als P-Regler ausgeführt ist und als Regelsignal einen Giermomentwert liefert, der in einem weiteren Additionspunkt zum Vorsteuerwert M_z^d des Giermomentes aufaddiert wird, welcher vom inversen Fahrzeugmodell des Blockes 2 geliefert wird. Die hieraus gewonnene Stellgröße M_z für das Giermoment wird anschließend gemäß Block 3 einem oder mehreren Aktuatoren zugeführt, in denen die Stellgröße M_z in einem auf das jeweilige Aggregat, das von den Aktuatoren beeinflusst wird, bezogene Stellgröße M_z^{act} umgesetzt wird. Hierbei kommen insbesondere Eingriffe zur Beeinflussung der Raddrehzahlen in Betracht, also Bremsingriffe an den Rädern, sowie Eingriffe in den Antrieb.

[0028] Diese Eingriffe beeinflussen den Zustand des Fahrzeuges, das symbolisch im Block 4 abgebildet ist. Dieser Block 4 umfasst die Fahrzeugsensorik sowie die Schätzung beispielsweise für die Fahrzeuglängsgeschwindigkeit v_x , die am Ausgang des Blockes 4 zusätzlich zur Gierrate $\dot{\psi}$ und der Querbesehleunigung a_y anliegt. Der Einschlag der vorderen Räder δ_F^d , der am Eingang der Trajektorienplanung gemäß Block 1 anliegt, wird zusätzlich auch dem Block 4 als Eingang zugeführt und dort weiter verarbeitet.

[0029] Die Blöcke **3** und **4** mit den Aktuatoren und dem Fahrzeug bilden gemeinsam die Regelstrecke. Die übrigen Blöcke aus [Fig. 1](#) sind in einem Regel- und Steuergerät im Fahrzeug zur Durchführung des Verfahrens realisiert.

[0030] Der Systemausgang des Blockes **4** wird in einem weiteren Block **5** zur zeitlichen Ableitung \dot{v}_y der Quergeschwindigkeit gemäß der Beziehung

$$\dot{v}_y = a_y - \dot{\psi}v_x$$

berechnet. Die zeitliche Ableitung \dot{v}_y der Quergeschwindigkeit v_y stellt die Istgröße dar, die mit dem korrespondierenden Sollwert \dot{v}_y^d verglichen wird, welcher aus der Trajektorienplanung gemäß Block **1** stammt.

[0031] Im Block **7**, der dem inversen Fahrzeugmodell gemäß Block **2** vorgelagert ist, wird eine Parameterschätzung durchgeführt zur Verbesserung des Robustheitsverhaltens und der Genauigkeit der Regelung. Dem Block **7** werden die Werte, welche aus den Sensoren und Schätzalgorithmen stammen, zugeführt. Hierbei werden die wichtigsten Fahrzeug- und Reifenparameter wie zum Beispiel die Masse, die Reifensteifigkeit und der Reibwert geschätzt. Diese Parameter gehen anschließend in das inverse Fahrzeugmodell gemäß Block **2** ein.

[0032] Im Folgenden wird beispielhaft der Entwurf einer Trajektorienfolgeregelung für die Quergeschwindigkeit erläutert. Dabei ist zu beachten, dass bei der Sollwertvorgabe und der Systeminversion detailliertere Modelle als hier gezeigt eingesetzt werden können. Solche Modelle berücksichtigen z.B. das dynamische Verhalten von Aktor und Reifen bzw. das Wank- und Nickverhalten. Im Folgenden wird vorausgesetzt, dass die Fahrzeuglängsgeschwindigkeit v_x als Messung oder Schätzung vorliegt.

[0033] Die Sollwertvorgabe beruht auf dem quasi-stationären Fahrzeugmodell mit linearem Reifenverhalten:

$$F_R(\alpha_R) = c_R \alpha_R,$$

$$F_F(\alpha_F) = c_F \alpha_F.$$

[0034] In diesem Fall stellt das Einspurmodell ein lineares System 2. Ordnung dar:

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_y \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{c_F + c_R}{mv_x} & \frac{c_R l_R - c_F l_F}{mv_x} - v_x \\ \frac{c_R l_R - c_F l_F}{Jv_x} & -\frac{c_R l_R^2 + c_F l_F^2}{Jv_x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{c_F}{m} \\ \frac{c_F l_F}{J} \end{bmatrix} \delta_F. \quad (1)$$

[0035] Durch das Auflösen des Differentialgleichungssystems (1) nach den Ruhelagen erhält man

$$\dot{\psi}_0 = \frac{v_x c_F c_R (l_F + l_R)}{mv_x^2 (c_R l_R - c_F l_F) + c_F c_R (l_F + l_R)^2} \delta_F, \quad (2)$$

$$v_{y0} = -\frac{mv_x^3 c_F l_F - v_x c_F c_R (l_R^2 + l_F l_R)}{mv_x^2 (c_R l_R - c_F l_F) + c_F c_R (l_F + l_R)^2} \delta_F. \quad (3)$$

[0036] Die Gleichung (2) entspricht der an sich bekannten Ackermann-Gleichung. Eine Berücksichtigung von Gleichung (3) ist in Lösungen, die im Stand der Technik eingesetzt werden, dagegen nicht bekannt.

[0037] Die Gleichung (3) sowie deren Zeitableitungen wird hier beispielhaft für die Sollwertvorgabe angewendet. Es sind aber auch andere Vorgabeverfahren denkbar, die unter anderem das Abbremsen bzw. die Beschleunigung des Fahrzeugs einbeziehen.

[0038] Zur Durchführung des Verfahrens wird das so genannte inverse System aufgestellt, dass nachfolgend an Hand eines stark vereinfachten Ausführungsbeispiels erläutert wird. Diesem liegt ein Einspurfahrzeugmodell mit nichtlinearen statischen Achskennlinien $F_F(\alpha_F)$, $F_R(\alpha_R)$ zu Grunde:

$$m \left(\frac{dv_y}{dt} + v_x \dot{\psi} \right) = F_F(\alpha_F) \cos \delta_F + F_R(\alpha_R), \quad (4)$$

$$J \frac{d\dot{\psi}}{dt} = F_F(\alpha_F) l_F \cos \delta_F - F_R(\alpha_R) l_R, \quad (5)$$

$$\alpha_R = \frac{\dot{\psi} l_R - v_y}{v_x}, \quad (6)$$

$$\alpha_F = -\frac{\dot{\psi} l_F + v_y}{v_x} + \delta_F \quad (7)$$

[0039] Die nichtlinearen Funktionen $F_F(\alpha_F)$, $F_R(\alpha_R)$ in (4) und (5) hängen von dem Fahrbahnreibwert ab. Deshalb ist es sinnvoll, bei der Systeminversion einen Schätzwert für den Fahrbahnreibwert einzusetzen.

[0040] Durch das Einsetzen von der Gleichungen (6) und (7) in die Gleichungen (4) und (5) erhält man folgende Beziehungen für die Zustandsgrößen:

$$\frac{dv_y}{dt} = f_1(v_y, \dot{\psi}, \delta_F), \quad (8)$$

$$\frac{d\dot{\psi}}{dt} = f_2(v_y, \dot{\psi}, \delta_F) + u. \quad (9)$$

[0041] Hierbei wurde in der Gleichung (9) der Systemeingang u eingeführt, der ein zusätzliches normiertes Gierrmoment M_z beschreibt:

$$u = \frac{M_z}{J}, \quad (10)$$

welches die Stellgröße darstellt und durch die Aktoren aufzubringen ist.

[0042] Mit δ_F wird hier der Einschlag der Vorderräder, gegebenenfalls der transformierte Lenkwinkel bezeichnet, der als bekannte Funktion der Zeit $\delta_F(t)$ darstellbar ist. Da Lenkwinkelsensoren zur Standardausrüstung moderner ESP-Systeme gehören, steht die Lenkwinkelinformation zur Verfügung. Darüber hinaus wird vorausgesetzt, dass die Reifenkennlinien $F_F(\alpha_F)$, $F_R(\alpha_R)$ lokal eindeutig invertierbar sind, was aber auf Grund der physikalischen Reifeneigenschaften immer der Fall ist. Die Gleichung (8) kann dann nach der Gierrate $\dot{\psi}$ aufgelöst werden und man erhält

$$\dot{\psi} = \gamma_2(v_y, \dot{v}_y, \delta_F) = \gamma_2(y, \dot{y}, \delta_F), \quad (11)$$

wobei $y = v_y$ der Systemausgang ist.

[0043] Die Differenzierung der Gleichung (11) nach der Zeit führt zu

$$\ddot{\psi} = \rho(v_y, \dot{v}_y, \ddot{v}_y, \delta_F, \dot{\delta}_F) = \rho(y, \dot{y}, \ddot{y}, \delta_F, \dot{\delta}_F) \quad (12)$$

[0044] Setzt man die Gleichungen (11) und (12) in die Gleichung (9) ein, so kann das Gierrmoment bestimmt werden, das die Stellgröße darstellt:

$$M_z = u = J\theta(v_y, \dot{v}_y, \ddot{v}_y, \delta_F, \dot{\delta}_F) = J\theta(y, \dot{y}, \ddot{y}, \delta_F, \dot{\delta}_F) \quad (13)$$

[0045] Die Gleichung (13) beschreibt das inverse System für ein Einspurfahrzeugmodell. Mit Hilfe der Gleichung (13) erhält man durch das Einsetzen des Vorderradeinschlags (gegebenenfalls des umgerechneten Lenkradwinkels) und dessen Zeitableitungen sowie der Sollwerte für die Fahrzeugquergeschwindigkeit und deren Zeitableitungen die Vorsteuerung für das Gierrmoment M_z . Die Systeminversion bzw. Teile davon können auch offline durchgeführt werden, wodurch der Rechenaufwand im Steuergerät reduziert wird.

[0046] Die Sollgierrate erhält man algebraisch aus Gleichung (11) durch das Einsetzen von der gewünschten Quergeschwindigkeit $y = v_y^d$ und den dazugehörigen Zeitableitungen. Für beide Berechnungen wird die aktuelle Fahrzeuglängsgeschwindigkeit als Schätzung oder Messung zurückgeführt.

[0047] Die Simulationsergebnisse für einen einfachen Spurwechsel sind in den [Fig. 2](#) bis [Fig. 4](#) dargestellt. Das Fahrmanöver wird bei einer nahezu konstanten Fahrzeuglängsgeschwindigkeit v_x von 70 km/h durchgeführt. Dabei beträgt der maximale Vorderradeinschlag δ_F ca. 5° . Für die stabilisierende Rückführung wird die Ableitung der Fahrzeugquergeschwindigkeit \dot{v}_y eingesetzt. Zur Veranschaulichung ist in [Fig. 3](#) der Schwimmwinkel β statt der Fahrzeugquergeschwindigkeit v_y dargestellt, da bei einer konstanten Längsgeschwindigkeit die beiden Größen näherungsweise linear zusammenhängen.

[0048] [Fig. 3](#) zeigt, dass die Soll- und Istwerte für den Schwimmwinkel β sehr gut übereinstimmen. In der Querbeschleunigung a_y ([Fig. 3](#)) und der Gierrate $\dot{\psi}$ ([Fig. 4](#)) sieht man kleine Abweichungen, die die Modellungenauigkeiten widerspiegeln. Dies spielt jedoch keine Rolle, da der Schwimmwinkel entscheidend die Fahrzeugstabilität beeinflusst.

[0049] Die in den [Fig. 2](#) bis [Fig. 4](#) dargestellten Simulationsergebnisse verdeutlichen, dass durch den Phasenunterschied zwischen der vorauseilenden Gierrate $\dot{\psi}$ und dem Vorderradeinschlag δ_F die gewünschte Phasengleichheit zwischen Vorderradeinschlag δ_F , Quergeschwindigkeit v_y und Querbeschleunigung a_y erreicht wird. [Fig. 4](#) zeigt den zugehörigen Verlauf der Stellgröße M_z .

[0050] Das beschriebene, modellbasierte Verfahren eignet sich für die Realisierung beliebiger Querregelungen für Kraftfahrzeuge, beispielsweise ESP, Active Front Steering, Active Rear Steering, Active Suspension. Den Schwerpunkt bildet jedoch eine ESP-Regelung, die mit Hilfe konventioneller hydraulischer Bremsanlagen oder x-by-wire Systemen (EHB, EMB) realisiert wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Stabilisierung eines Fahrzeugs unter Berücksichtigung der Fahrzeugquerdynamik, bei dem

- aus dem Fahrerwunsch oder einer sonstigen Vorgabe eine die Querdynamik des Fahrzeugs beeinflussende Sollgröße (v_y^d) ermittelt wird,
- aus einem Vergleich der ermittelten Sollgröße (v_y^d) mit einer korrespondierenden gemessenen und/oder geschätzten Zustandsgröße (v_y) eine Stellgröße (M_z) ermittelt wird,
- die Stellgröße (M_z) mindestens einem Aktuator im Fahrzeug zur Änderung der aktuellen Einstellung zugeführt wird,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Quergeschwindigkeit (v_y) des Fahrzeugs oder deren zeitliche Ableitung (\dot{v}_y) die zu regelnde Zustandsgröße darstellt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Sollwerte der Quergeschwindigkeit (v_y^d) und gegebenenfalls deren Ableitungen (\dot{v}_y^d , \ddot{v}_y^d) einem inversen Fahrzeugmodell (θ) zugeführt werden und in dem inversen Fahrzeugmodell (θ) ein Vorsteuerwert (M_z^d) der Stellgröße (M_z) berechnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das inverse Fahrzeugmodell (θ) als Funktion der Quergeschwindigkeit (v_y), der ersten und zweiten Ableitung (\dot{v}_y , \ddot{v}_y) der Quergeschwindigkeit, des Lenkwinkels (δ) bzw. eines damit korrespondierenden Winkels und der Lenkwinkelgeschwindigkeit ($\dot{\delta}$) berechnet wird:

$$\theta = \theta(v_y, \dot{v}_y, \ddot{v}_y, \delta, \dot{\delta}).$$

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Stellgröße eine Giermoment-Stellgröße (M_z) ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der über die Stellgröße (M_z) einzustellende Aktuator Teil einer Radbremse ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der über die Stellgröße (M_z) einzustellende Aktuator Bestandteil des Antriebssystems ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Ableitung (\dot{v}_y) der Quergeschwindigkeit (v_y) als Funktion der Querschleunigung (a_y), der Gierrate ($\dot{\psi}$) und der Längsgeschwindigkeit (v_x) gemäß der Beziehung

$$\dot{v}_y = a_y - \dot{\psi}v_x$$

ermittelt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass Reifenparameter geschätzt werden und in die Ermittlung der Stellgröße (M_z) einfließen.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass Fahrzeugparameter geschätzt werden und in die Ermittlung der Stellgröße (M_z) einfließen.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass als Sollgröße (v_y^d) eine zweimal stetig differenzierbare Solltrajektorie vorgegeben wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass als Sollgröße die Quergeschwindigkeit (v_y^d) bzw. die erste Ableitung (\dot{v}_y) der Quergeschwindigkeit (v_y) vorgegeben wird.

12. Regel- und Steuergerät zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

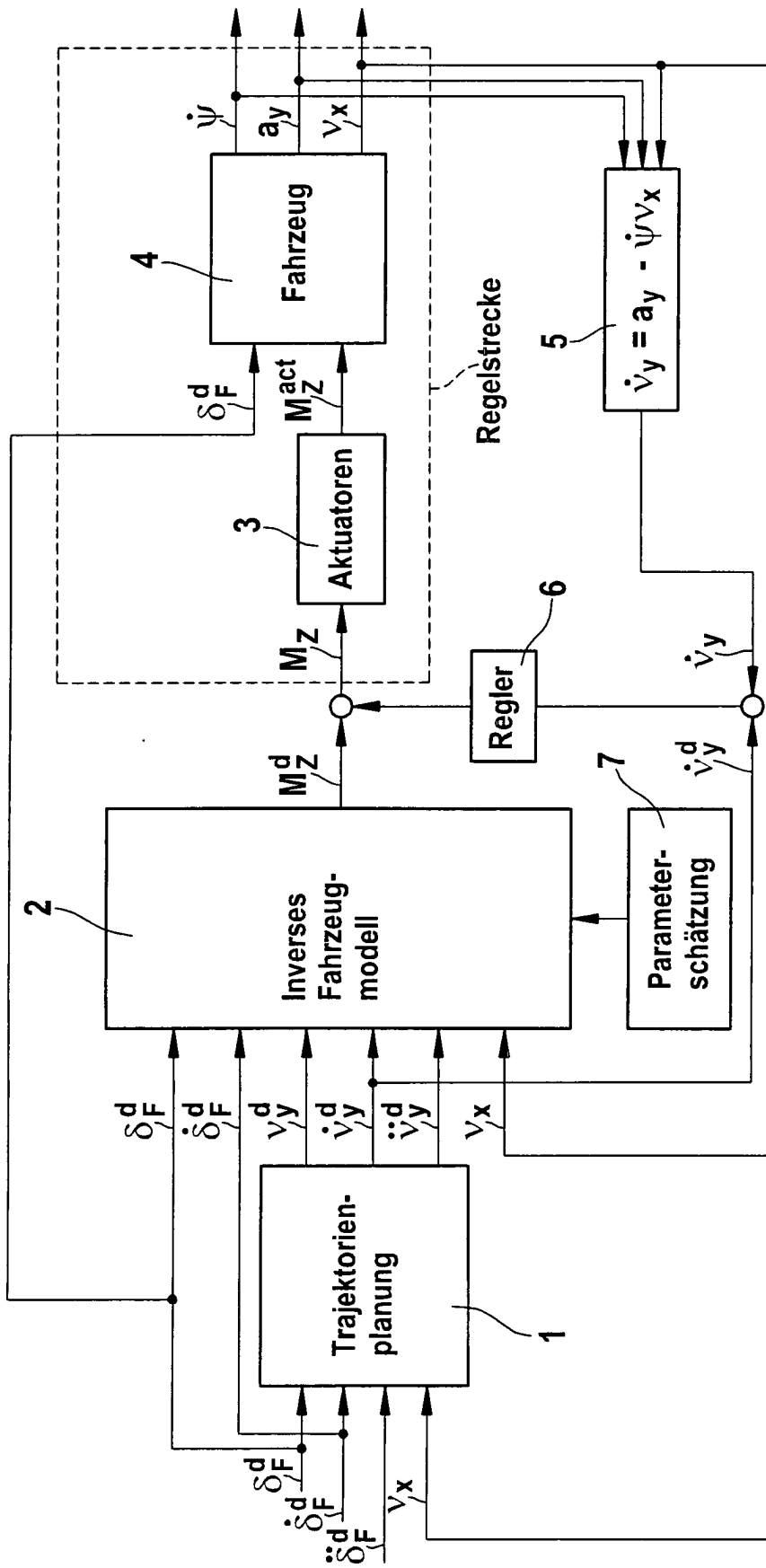


Fig. 1

Fig. 2

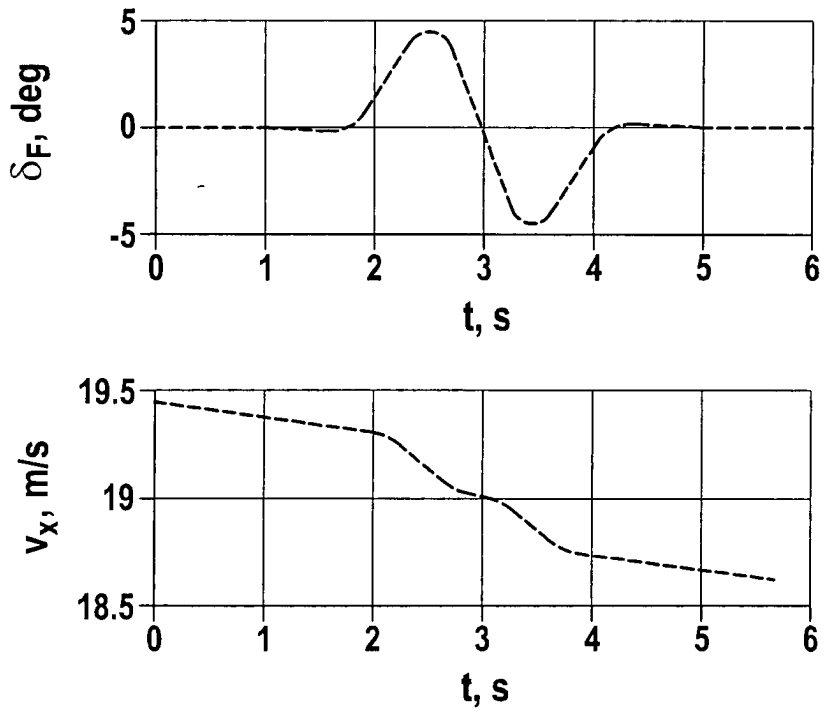


Fig. 3

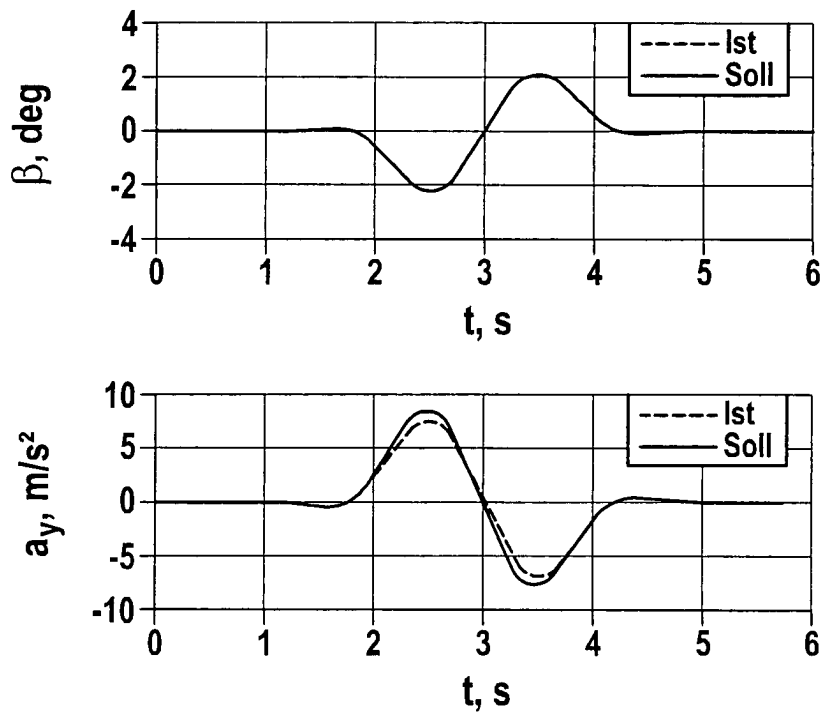


Fig. 4

