



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 103 48 736 B4 2010.01.14**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 48 736.0**  
 (22) Anmeldetag: **16.10.2003**  
 (43) Offenlegungstag: **06.05.2004**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **14.01.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B62D 6/00 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**10/065,425      16.10.2002      US**

(73) Patentinhaber:  
**Ford Global Technologies, LLC (n.d.Ges.d.  
 Staates Delaware), Dearborn, Mich., US**

(74) Vertreter:  
**Effert und Kollegen, 12487 Berlin**

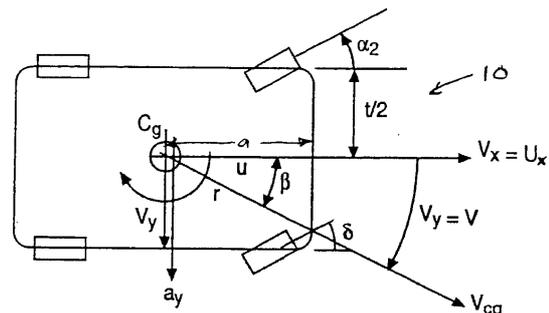
(72) Erfinder:  
**Mattson, Keith Glenn, Livonia, Mich., US; Brown,  
 Todd Allen, Dearborn, Mich., US**

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

<b>DE</b>	<b>198 05 383</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>101 28 675</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>62 63 261</b>	<b>B1</b>
<b>JP</b>	<b>10-1 47 253</b>	<b>A</b>

(54) Bezeichnung: **Steuerungssystem für ein Fahrzeug und Verfahren zum Steuern eines Fahrzeugs**

(57) Hauptanspruch: Steuerungssystem für ein Fahrzeug, das einen Lenkaktuator aufweist, mit:  
 mehreren, einzeln ansteuerbaren Aktuatoren (40A; 40B; 40C; 40D) für lenkbare Räder  
 einer Vielzahl von Sensoren (28; 30; 32; 34; 35; 36; 37; 39), die eine Vielzahl von Signalen erzeugen, die einer dynamischen Bedingung des Fahrzeugs entsprechen, und einer mit der Vielzahl von Sensoren verbundenen Reglereinheit (26), wobei die Reglereinheit (26) geeignet ist, in Abhängigkeit von den gemessenen Fahrzeugbedingungen eine Seitenkraft ( $F_{lat}$ ), und einen Schlupfwinkel ( $\alpha$ ) zu ermitteln, eine erste Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkaktuators zu ermitteln, um den Schlupfwinkel ( $\alpha$ ) zu vermindern, solange sich die Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) erhöht und eine zweite Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkaktuators zu ermitteln, um den Schlupfwinkel ( $\alpha$ ) solange zu erhöhen, bis die Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) sich vermindert.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Steuerungssystem für ein Fahrzeug, das einen Lenkaktuator aufweist und ein Verfahren zum Steuern eines Fahrzeugs mit einem Lenkaktuator.

**[0002]** Dynamische Steuersysteme für Kraftfahrzeuge werden seit kurzer Zeit für verschiedene Produkte angeboten. Dynamische Steuersysteme regeln typischerweise das Gierverhalten des Fahrzeugs durch Steuerung der Bremskraft an den verschiedenen Rädern des Fahrzeugs. Giersteuerungssysteme vergleichen typischerweise die auf dem Winkel des Lenkrads basierende gewünschte Richtung des Fahrzeugs mit der Fortbewegungsrichtung. Durch Regulieren der Stärke des Bremsens an jeder Seite des Fahrzeugs kann die gewünschte Fortbewegungsrichtung beibehalten werden.

**[0003]** Eine Kraftfahrzeug-Lenkvorrichtung nach der Druckschrift DE 198 05 383 A1 enthält eine Lenkbetätigungseinrichtung, einen Lenkrad-Aktuator, der es ermöglicht, ohne mechanische Verbindung von Lenkrad und Achse mit den lenkbaren Rädern das Fahrzeug zu steuern. Die Lenkbetätigungseinrichtung wird durch eine Korrekturvorrichtung zum Korrigieren des Zielwertes des Reaktionskraft-Drehmoments auf Basis des Ergebnisses der Detektionseinrichtung so angesteuert, dass im Falle einer Annäherung an einen Ausbrech-Grenzwert der Zielwert erhöht wird. Mehrere Sensoren erzeugen Signale, die dynamischen Bedingungen des Fahrzeugs entsprechen. Ein Richtungsänderungsvorgang des Fahrzeugs wird auf der Basis der Detektionswerte für den Richtungsänderungszustand, der Fahrzeuggeschwindigkeit und des Lenk-Betätigungswinkels detektiert. Eine mit den Sensoren verbundene Reglereinheit ermittelt einen Reibungskoeffizienten der Straßenoberfläche. Danach kann eine Berechnung eines Schlupfwinkels in Abhängigkeit von den gemessenen dynamischen Bedingungen des Fahrzeugs erfolgen. Eine Korrekturvorrichtung zum Korrigieren des Zielwertes des Reaktionskraft-Drehmoments auf der Basis der Detektionsergebnisse erhöht im Falle einer Annäherung an einen Ausbrech-Grenzwert den Zielwert. Wenn der ermittelte Seitenschlupfwinkel einen definierten Sollwert überschreitet, erfolgt eine Verringerung des Winkels der Lenkbetätigungseinrichtung/des Lenk-Aktuators. Eine Verstellung der Lenkbetätigungseinrichtung erfolgt vor Erreichen der oberen Ausbrechkraft (Seitenkraft)  $F_0$  im linearen Bereich des berechneten Diagramms aus Schräglaufwinkel (Seitenschlupfwinkel) und Fahrbahnoberflächen-Reibkoeffizient.

**[0004]** Die Kraftfahrzeugverhaltens-Steuervorrichtung nach der Druckschrift DE 101 28 675 A1 weist einen Lenk-Stellantrieb (Lenk-Aktuator) auf. Der laterale Kraftfahrzeuggrad-Schlupfwinkel wird als Instabi-

litäts-Indexwert bestimmt. Die Abweichung zwischen dem Soll-Verhaltensindexwert und dem korrigierten Verhaltensindexwert zum Lenken wird als Null angenommen, wenn die Größe des lateralen Kraftfahrzeuggrad-Schlupfwinkels gleich einem oder größer als ein vorbestimmter eingestellter Wert ist, d. h. wenn sich das Kraftfahrzeug nicht im Zustand einer Unterlenkung befindet. Die Vorrichtung enthält eine Einrichtung zum Ermitteln und Speichern einer vorbestimmten Beziehung zwischen dem Verhaltens-, dem Sollverhaltens-, dem Instabilitäts- und einem korrigierten Sollverhaltens-Indexwert sowohl zum Steuern bzw. Regeln des Lenk-Stellantriebs als auch der Bremsen. Aus dem Diagramm lateraler Vorderrad-Schlupfwinkel zu Kurvenfahrkraft wird der lineare Bereich ausgenutzt, indem der laterale Rad-Schlupfwinkel proportional zur Kurvenfahrkraft ist.

**[0005]** Beim Betrieb des Fahrzeugs kann ein großer Seitenschlupfwinkel an den Vorderrädern im Falle eines starken Untersteuerns oder Übersteuerns auftreten. Die von einem Reifen typischerweise erzeugte Seitenkraft erreicht einen maximalen Wert  $F_{latmax}$  im Falle desjenigen Reifenschlupfwinkels, der als  $\alpha_p$  bezeichnet wird. Die maximale Seitenkraft nimmt ab oder normalisiert sich, wenn der Schlupfwinkel sich weiter erhöht. Das Normalisieren wird gewöhnlich als Sättigungsbereich bezeichnet. Ein Problem bei der Verwendung der Bremskraft zum Steuern des Gierens des Fahrzeugs besteht darin, dass das Giermoment ohne Berücksichtigung der Seitenkräfte gesteuert wird. Eine direkte Steuerung der Seitenkraft kann unter alleiniger Verwendung eines Bremssystems nicht verwirklicht werden.

**[0006]** Von daher liegt der Erfindung das Problem zugrunde, ein Steuerungssystem für ein Fahrzeug, das einen Lenk-Aktuator aufweist und ein Verfahren zum Steuern eines Fahrzeugs mit einem Lenk-Aktuator zu schaffen, das das Gieren des Fahrzeugs nahe der maximalen Seitenkraft  $F_{latmax}$  steuern kann, um eine maximale Kontrolle über das Fahrzeug zu erhalten.

**[0007]** Das Problem wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 7. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

**[0008]** Die vorliegende Erfindung verwendet ein Steer-by-Wire-System, das das Verhältnis zwischen dem Winkel der Straßenräder und dem Winkel des Lenkrades verändern kann, um das Fahrzeug mit nahezu maximaler Seitenkraft  $F_{latmax}$  zu betreiben.

**[0009]** Bei einem Aspekt der Erfindung umfasst ein Steuersystem für die Stabilität eines Fahrzeugs eine Vielzahl von Sensoren, die die dynamischen Bedingungen des Fahrzeugs ermitteln. Mit den Sensoren ist eine Reglereinheit verbunden. Die Reglereinheit

ermittelt eine Seitenkraft in Abhängigkeit von den gemessenen Bedingungen für das Fahrzeug, ermittelt einen Schlupfwinkel in Abhängigkeit von den gemessenen Bedingungen für das Fahrzeug, ermittelt eine erste Änderung des Winkels des Lenkaktuators, um den Schlupfwinkel zu vermindern, solange sich die Seitenkraft erhöht, wonach eine zweite Änderung des Winkels des Lenkaktuators ermittelt wird, um den Schlupfwinkel solange zu erhöhen, bis die Seitenkraft sich vermindert.

[0010] Bei einem weiteren Aspekt der Erfindung umfasst ein Verfahren zum Steuern eines Fahrzeugs mit einem Lenkaktor: das Ermitteln einer Seitenkraft in Abhängigkeit von den gemessenen Bedingungen für das Fahrzeug, Ermitteln eines Schlupfwinkels in Abhängigkeit von den gemessenen Bedingungen für das Fahrzeug, Ermitteln einer ersten Änderung des Winkels eines Lenkaktuators, um den Schlupfwinkel zu verringern, solange sich die Seitenkraft erhöht, Steuern des Lenkaktuators in Abhängigkeit von der ersten Änderung des Winkels des Lenkactuators, danach, Ermitteln einer zweiten Änderung des Winkels des Lenkactuators, um den Schlupfwinkel solange zu erhöhen, bis die Seitenkraft abnimmt und Steuern des Lenkactuators in Abhängigkeit von der zweiten Änderung des Winkels des Lenkactuators.

[0011] Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass derartige Systeme in einfacher Weise in einem Steer-by-Wire-System eingesetzt werden können. Ein anderer Vorteil besteht darin, dass der Schlupfwinkel, der dem Spitzenwert der Seitenkraft entspricht, unabhängig von Bereifung, Beladung und, in einigen Fällen, des Reibungskoeffizienten der Oberfläche ist.

[0012] Diese und weitere Vorteile der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend in der Beschreibung einer Ausführungsform im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert bzw. offenbart.

[0013] Es zeigen:

[0014] [Fig. 1](#) eine Vorderansicht eines Kraftfahrzeugs und verschiedene Betriebsparameter eines Fahrzeugs, das versucht, ein Wendemanöver durchzuführen;

[0015] [Fig. 2A](#) eine Draufsicht auf ein Kraftfahrzeug und verschiedene Betriebsparameter eines Fahrzeugs, das versucht, ein Wendemanöver durchzuführen;

[0016] [Fig. 2B](#) eine Draufsicht auf einen Reifen, und die darauf einwirkenden Kräfte;

[0017] [Fig. 3](#) ein Blockdiagramm, das einen Teil eines Mikroprozessors zeigt, der mit Sensoren und ge-

steuerten Geräten verbunden ist, die in einem System gemäß der vorliegenden Erfindung vorhanden sein können;

[0018] [Fig. 4](#) eine Darstellung der gegen den Schlupfwinkel wirkenden Seitenkräfte für drei verschiedene Werte des Reibungskoeffizienten;

[0019] [Fig. 5](#) ein logisches Arbeitsablauf-Blockdiagramm gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0020] [Fig. 6](#) ein logisches Arbeitsablauf-Blockdiagramm gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0021] Die vorliegende Erfindung ist für die Verwendung bei Giersteuerungssystemen vorgesehen, die mit elektronisch gesteuerten und/oder elektrisch betätigten Lenksystemen von Kraftfahrzeugen ausgestattet sind. Die Erfindung kann jedoch leicht für die Verwendung bei anderen Kraftfahrzeugsystemen angepasst werden, wie beispielsweise aktiven Kippsteuerungen, Überrollsteuerungen oder aktiven Aufhängungssteuerungen. Die Erfindung wird anhand eines frontgelenkten Fahrzeugs erläutert, jedoch können die darin enthaltenen Lehren auch auf Hinteradlenkungssysteme oder Allradlenkungssysteme angewandt werden.

[0022] Unter Bezugnahme auf die [Fig. 1](#), [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) sind verschiedene Betriebsparameter und Variablen, die von der vorliegenden Erfindung verwendet werden, dargestellt, die sich auf die Anwendung der vorliegenden Erfindung auf ein bodengebundenes Motorfahrzeug **10** beziehen. Ein Fachmann wird sofort die physikalischen Grundlagen, die von diesen Illustrationen dargestellt werden, erkennen, wodurch die Anpassung an verschiedene Arten von Fahrzeugen leicht erreicht werden kann. Die Seitenbeschleunigung wird mit  $a_y$  bezeichnet, die Längsbeschleunigung wird mit  $a_x$  bezeichnet, die Gierrate wird mit  $r$  bezeichnet und der Winkel des Lenkrades zur Fahrzeuglängsachse  $A$  ist  $\delta$ .

[0023] Unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) besitzt ein Stabilitätsregelungssystem **24** einer Reglereinheit **26**, die zum Empfangen von Informationen von einer Vielzahl von Sensoren verwendet wird, die einen Gierraten-Sensor **28**, einen Geschwindigkeits-Sensor **30**, einen Seitenbeschleunigungs-Sensor **32**, einen Rollraten-Sensor **34**, einen Lenkwinkel-Sensor **35**, einen Längsbeschleunigungs-Sensor **36**, einen Nickraten-Sensor **37** einschließen können. Ein Sensor **39** für die Lenkwinkelposition kann auch vorgesehen sein. Der Sensor **39** liefert Informationen bezüglich der angesteuerten Stellung des Straßenrades. Die Seitenbeschleunigung, die Längsbeschleunigung, die Gierrate, der Rollverlauf und die Geschwindigkeit können unter Verwendung eines Global-Posi-

tioning-Systems (GPS) ermittelt werden. Auf der Grundlage der Eingaben von den Sensoren regelt die Reglereinheit **26** den Lenkwinkel. In Abhängigkeit von der gewünschten Empfindlichkeit des Systems und verschiedenen anderen Faktoren kann es möglich sein, dass nicht alle der Sensoren **28–37** in einer handelsüblichen Ausführungsform verwendet werden. Von den Sensoren können auch andere Faktoren ermittelt werden, so wie der Reibungskoeffizient (oder Oberflächenkoeffizient  $\mu_y$ ,  $\mu$ ), die Seitenkräfte an den Reifen  $F_{lat}$  und der Seitenschlupfwinkel.

**[0024]** Der Rollraten-Sensor **34** und der Nickraten-Sensor **37** können die Rollbedingungen für ein Überrollsystem des Fahrzeugs ermitteln, indem die Höhe eines Punktes oder mehrerer Punkte des Fahrzeugs relativ zu Oberfläche der Straße erfasst wird. Das Überrollsystem kann die hier vorliegenden Erkenntnisse verwenden, um ein Überrollen des Fahrzeug zu verhindern. Sensoren, die verwendet werden können, um dies durchzuführen, umfassen einen lidar- oder radargestützten Abstandssensor, einen lasergestützten Abstandssensor und einen sonargestützten Abstandssensor.

**[0025]** Der Rollraten-Sensor **34** und der Nickraten-Sensor **37** können die Rollbedingungen ebenfalls ermitteln, indem die relative Linear- oder Rotationsverlagerung oder die Verlagerungsgeschwindigkeit von einem oder mehreren Bestandteilen des Chassis ermittelt werden, wobei ein linearer Höhen- oder Streckensensor, ein Rotations-Höhen- oder Streckensensor, ein Radgeschwindigkeits-Sensor, ein Lenkradpositions-Sensor, ein Lenkradgeschwindigkeits-Sensor und eine Steuerkurseingabevorrichtung einer elektronischen Komponente für den Fahrer, die eine Steer-by-Wire-Steuerung unter Verwendung eines Handrades oder eines Joysticks aufweisen kann, vorgesehen sein können.

**[0026]** Die Rollbedingungen können ebenfalls ermittelt werden, indem die Kraft oder das Drehmoment, die den Belastungsbedingungen von einem oder mehreren Teilen des Aufhängung oder des Chassis entsprechen, erfasst werden, wobei im Fall einer aktiven Aufhängung ein Druckmesswertwandler, ein Stoßdämpfer-Sensor, wie beispielsweise eine Kraftmessdose, ein Belastungsmesser, die absolute oder relative Motorbelastung des Lenksystems, der Druck der Hydraulikleitungen des Lenksystems, ein Reifenseitenkraft-Sensor oder -Sensoren, ein Reifenlängskraft-Sensor, ein Reifenvertikalkraft-Sensor oder ein Reifenseitenwandtorsions-Sensor, vorhanden sein können.

**[0027]** Der Geschwindigkeits-Sensor **30** kann ein Exemplar aus der Vielzahl von Geschwindigkeits-Sensoren, die einem Fachmann bekannt sind, sein. Beispielsweise kann ein geeigneter Geschwindigkeits-Sensor einen Sensor an jedem Rad aufwei-

sen, wobei von der Reglereinheit **26** ein Mittelwert ermittelt wird. Vorzugsweise rechnet die Reglereinheit die Radgeschwindigkeit in die Geschwindigkeit des Fahrzeugs um. Die Gierrate, der Lenkwinkel, die Radgeschwindigkeit und eventuell ein Schlupfwinkel, die an jedem Rad berechnet werden, können in die Geschwindigkeit des Fahrzeugs an seinem Schwerpunkt ( $V_{CG}$ ) umgerechnet werden. Dem Fachmann sind verschiedene andere Algorithmen bekannt. Die Geschwindigkeit kann man auch über einen Transmissions-Sensor erhalten. Wenn beispielsweise die Geschwindigkeit ermittelt wird, während das Fahrzeug beschleunigt oder an einer Ecke abbremst, werden die niedrigste bzw. die höchste Radgeschwindigkeit nicht verwendet, da dies zu fehlerhaften Ergebnissen führt.

**[0028]** Das Ermitteln des Rollverhaltens des Fahrzeugs kann auch durch folgende translatorische oder drehbewegungsabhängige Positionen, Geschwindigkeiten oder Beschleunigungen des Fahrzeugs erfolgen, die von einem Überrollkreisel, dem Rollraten-Sensor **34**, dem Gierraten-Sensor **28**, dem Seitenbeschleunigungs-Sensor **32**, einem Vertikalbeschleunigungs-Sensor, einem Fahrzeug-Längsbeschleunigungs-Sensor, einem Seiten- oder Vertikal-Geschwindigkeits-Sensor einschließlich einem auf der Radgeschwindigkeit basierenden Sensor, einem radargestützten Geschwindigkeits-Sensor, einem sonargestützten Geschwindigkeits-Sensor, einem lasergestützten Geschwindigkeits-Sensor oder einem optischen Geschwindigkeits-Sensor erfasst werden.

**[0029]** Die Lenksteuerung **38** kann die Stellung eines Aktuators **40A** des rechten Vorderrads, eines Aktuators **40B** des linken Vorderrads, eines Aktuators **40C** des linken Hinterrads und eines Aktuators **40D** des rechten Hinterrads steuern. Wie bereits weiter oben beschrieben wurde, können jedoch zwei oder mehr der Aktuatoren gleichzeitig wie ein Aktuator gesteuert werden. Zum Beispiel können bei einem konventionellen Zahnstangensystem die beiden damit verbundenen Vorderräder gleichzeitig gesteuert werden. Eine Hecksteuerung kann ebenfalls mit einem Zahnstangensystem verwirklicht werden. Basierend auf den Eingaben von den Sensoren **28** bis **39** ermittelt die Reglereinheit **26** eine Rollbedingung und steuert die Lenkposition der Räder.

**[0030]** Die Reglereinheit **26** kann ebenfalls die Bremsensteuerung **42** verwenden, die mit den vorderen rechten Bremsen **44A**, den vorderen linken Bremsen **44B**, den hinteren linken Bremsen **44C** und den hinteren rechten Bremsen **44D** verbunden ist. Bei der Verwendung der Bremsen zusätzlich zu der Lenkungssteuerung können einige Vorteile bezüglich der Steuerung erzielt werden. Das bedeutet, dass die Reglereinheit **26** verwendet werden kann, um eine Bremskraftverteilung auf die Brems-Aktuatoren zu

erzielen, wie dies in dem US-Patent 6,263,261 beschrieben wurde, und das hiermit durch die Bezugnahme darauf in diese Beschreibung eingegliedert wird.

**[0031]** Unter Bezugnahme auf die [Fig. 4](#) ist eine grafische Darstellung der Seitenkraft  $F_{lat}$  als Funktion des Schlupfwinkels  $\alpha$  für drei Oberflächenkoeffizienten  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  und  $\mu_3$  gezeigt. In jedem der Fälle steigt die von einem Reifen erzeugte Seitenkraft linear in dem linearen Bereich **50** an und erreicht dann einen Spitzenwert  $\alpha_{p1}$ . Danach verringert sich die Seitenkraft in dem Sättigungsbereich **52**. Wie ersichtlich ist, entspricht die maximale Seitenkraft  $F_{latmax}$  einem Spitzenwert des Schlupfwinkels  $\alpha_{p1}$ , um die maximale Seitenkraft zu erzeugen. Um daher die bestmögliche Steuerung zu erhalten, ist es am vorteilhaftesten, so nahe wie möglich an  $\alpha_{p1}$  zu arbeiten. Die vorliegende Erfindung schafft vorteilhafte Bedingungen bei einer Situation mit Untersteuerung, in der die Bodenhaftung der Vorderreifen gesättigt ist. Da das Fahrzeug untersteuert, ist der Radius der Kurve größer als vom Fahrer beabsichtigt. Eine Reduzierung des Vorderad-Schlupfwinkels auf  $\alpha_{p1}$  kann erzielt werden, indem der vordere Lenkwinkel um einen vorbestimmten Betrag verändert wird, wodurch die Erzeugung der Seitenkraft des Vorderreifens erhöht wird, wodurch wiederum der Radius der Kurve und damit die Untersteuerungsrate vermindert wird.

**[0032]** Im Fall eines übersteuernden Fahrzeugs und einer Hecklenkung kann der Lenkwinkel der Hinterräder so geändert werden, dass die Erzeugung der Seitenkraft der Hinterräder erhöht wird, wodurch das Fahrzeug stabilisiert wird.

**[0033]** Wie aus der Darstellung der [Fig. 4](#) ersichtlich ist, ändern verschiedene Oberflächenkoeffizienten  $\mu$  die Stelle der Spitzenwerte  $\alpha_{p1}$ ,  $\alpha_{p2}$  und  $\alpha_{p3}$ .

**[0034]** Ein anderer Punkt in der graphischen Darstellung des Wertes  $\mu$  ist ein maximal zulässiger Reifenschlupfwinkel  $\alpha_{mp1}$ . Der maximal zulässige Winkel  $\alpha_{mp1}$  entspricht dem maximalen Winkel, der in der ersten Ausführungsform der Erfindung erwünscht ist. Der maximal zulässige Winkel  $\alpha_{mp1}$  hat einen Seitenschlupfwinkel der größer als der Spitzenwert ist und damit eine entsprechend geringere Seitenkraft aufweist. Bei der ersten Ausführungsform wird der Seitenschlupfwinkel auf einem Wert zwischen dem maximal zulässigen Winkel  $\alpha_{mp1}$  und dem Spitzenwertwinkel  $\alpha_{p1}$  gehalten. Wie weiter unten näher ausgeführt werden wird, wird der maximal zulässige Winkel  $\alpha_{mp1}$  während des Betriebs näher an den Spitzenwert herangeführt.

**[0035]** Der Seitenschlupfwinkel  $\alpha$  des Reifens kann während des Betriebs des Fahrzeugs von verschiedenen Sensoren berechnet werden. Der Schlupfwinkel  $\alpha$  des Reifens wird als der Winkel zwischen dem

angesteuerten Kurs des Rades und dem tatsächlichen Weg des Rades definiert. Dies ist am besten aus der [Fig. 2B](#) ersichtlich. Das heißt:

$$\alpha_{tire} = \left( \frac{v_{ytire}}{u_{xtire}} \right)$$

wobei

$v_{tire}$  = Seitengeschwindigkeit des Reifens  
 $u_{tire}$  = ( $u_x$ ) Längsgeschwindigkeit des Reifens entlang der Längsachse (Steuerkurs des Rades)  
 (.)  
 $\alpha_{tire}$  = Schlupfwinkel des Rades

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{v_{ytire}}{u_{xtire}} \right)$$

**[0036]** Versuchsweise werden  $v_y$  und  $u_x$  wie folgt berechnet: um allgemeingültig zu sein, hat die untenstehende Gleichung ein Plus- oder Minus-Vorzeichen in Abhängigkeit davon, ob der linke oder der rechte Reifen berechnet werden soll.

$$v_{ytire} = \left( v_{yveh} \pm \Gamma a \right) \cos \delta + \left( u_{xveh} + \frac{t}{2} \Gamma \right) \sin \delta$$

$$u_{xtire} = \left( u_{xveh} \pm \frac{t}{2} \Gamma \right) \cos \delta + \left( v_{yveh} \pm \Gamma a \right) \sin \delta$$

$\delta$  = Lenkwinkel des Rades  
 $u_x$  = Längsgeschwindigkeit des Fahrzeugs an seinem Schwerpunkt  
 $v_y$  = Seitengeschwindigkeit des Fahrzeugs an seinem Schwerpunkt  
 $\Gamma$  = Gierrate des Fahrzeugs (Rotationsrate um die vertikale Achse)  
 $t$  = Spurweite des Fahrzeugs (seitlicher Abstand zwischen den Rädern)  
 $a$  = Längsabstand vom Schwerpunkt des Fahrzeugs zur Achse des Rades (entlang der Achse des Fahrzeugs)

wobei  $v_x$  und  $v_y$  die Längs- und die Seitengeschwindigkeit des Fahrzeugs an seinem Schwerpunkt sind, gemessen in den in der Karosserie feststehenden x- und y-Richtungen.

**[0037]** Eine erste Ausführungsform der Erfindung wird unter Bezugnahme auf die [Fig. 5](#) dargestellt. In dieser Ausführungsform werden die Sensoren in Schritt **60** gelesen. Diese Sensoren können entweder alle Sensoren oder nur einige der in der [Fig. 3](#) dargestellten Sensoren sein. Von diesen Sensoren wird ein Reibungskoeffizient für die Oberfläche der Straße in Schritt **62** ermittelt. Ein Beispiel für eine Formel zum Ermitteln des Reibungskoeffizienten der Oberfläche

der Straße ist die folgende Formel:

$$\mu = \frac{a_{y \max}}{g}$$

**[0038]** Durch das Ermitteln des Reibungskoeffizienten wird ein maximal zulässiger Reifenschlupfwinkel  $\alpha_{mp1}$  in Schritt **64** berechnet. In Schritt **66** wird ein Seitenschlupfwinkel  $\alpha$  anhand der Berechnungen der Sensoren aus Schritt **60** bestimmt.

**[0039]** Die Reglereinheit **26** ändert die Stellung des Lenkaktuators als direkte Reaktion auf den Winkel des Handlenkrades. In der vorliegenden Anmeldung ist der Lenkaktor vorzugsweise ein Steer-by-Wire-Lenkensystem, das zusätzlich zu den über das Lenkrad erfolgenden Eingaben weitere Eingaben hinzufügt, um das Überschreiten eines vorbestimmten Schlupfwinkels zu verhindern und damit die Kontrollmöglichkeiten über das Fahrzeug zu maximieren.

**[0040]** Eine Änderung  $\delta_{\Delta}$  des Lenkrad-Aktuators wird in Schritt **68** berechnet und basiert auf dem berechneten Seitenschlupfwinkel und dem in Schritt **64** berechneten maximal zulässigen Schlupfwinkel. Das heißt, wenn der berechnete Seitenschlupfwinkel größer als der maximal zulässige Seitenschlupfwinkel ist, wird die Position des Lenkrad-Aktuators in Schritt **70** um den Betrag  $\delta_{\Delta}$  verändert. Da es sich hier um ein Iterationsverfahren handelt, wird der Schritt **60** erneut wiederholt. Das heißt, da die Straßenbedingungen sich ständig ändern, müssen die neuen Reibungskoeffizienten, die maximal zulässigen Seitenschlupfwinkel und die Änderungen im Lenkwinkel ständig aktualisiert werden, damit der maximal zulässige Seitenschlupfwinkel sich dem Spitzenwert  $\alpha_p$  nähern kann. Dieses Verfahren wird fortgeführt, bis der berechnete Seitenschlupfwinkel ungefähr dem maximal zulässigen Seitenschlupfwinkel  $\alpha_{mp}$  entspricht oder der Fahrer einen verminderten Lenkwinkel befiehlt, wodurch der berechnete Seitenschlupfwinkel kleiner als der maximal zulässige Seitenschlupfwinkel  $\alpha_{mp}$  wird.

**[0041]** Es sollte beachtet werden, dass die Änderung  $\delta_{\Delta}$  der Position des Aktuators für die Lenkung unabhängig von der Änderung der Stellung des Lenkrades des Fahrzeugs ist. Das heißt, die in den Schritten **60–70** berechneten Änderungen sind zusätzlich zu den Änderungen, die über das Lenkrad bewirkt werden. Durch eine ständige Überwachung des Lenkwinkels, kann die Änderung  $\delta_{\Delta}$  der Stellung des Aktuators für die Lenkung extrem umfangreich sein, um alle Änderungen der Lenkradstellung zu kompensieren, die vom Fahrer des Fahrzeugs vorgenommen werden. Es ist ebenfalls zu beachten, dass dieses Verfahren sowohl für frontlenkende als auch für hecklenkende oder auch für unabhängig gesteuerte Lenkaktuatoren eines Fahrzeugs durchgeführt werden kann.

**[0042]** Unter Bezugnahme auf die [Fig. 6](#) kann das Verfahren ebenfalls die Seitenkraft  $F_{lat}$  überwachen und eine dadurch hervorgerufene Lenkänderung feststellen. In Schritt **80** werden die Sensoren in einer ähnlichen Weise wie in Schritt **60** gelesen. Die verschiedenen Sensoren können alle oder einige der in der [Fig. 3](#) dargestellten Sensoren umfassen. In Schritt **82** werden die auf die Räder wirkende Seitenkraft und der Seitenschlupfwinkel anhand der in Schritt **80** gelesenen Sensoren berechnet. Die Seitenkraft kann berechnet werden, indem ein gefiltertes Seitenbeschleunigungs-Signal  $a_y$  verwendet wird. Das heißt,  $F_{lat} = ma_y$ , wobei  $m$  die (geschätzte) Masse des Fahrzeugs ist.

**[0043]** In Schritt **84** wird eine Änderung des Winkels des Lenkaktuators berechnet, um dem Schlupfwinkel des Reifens zu verringern. In Schritt **86** wird die Seitenkraft erneut berechnet, um zu bestimmen, ob sie sich erhöht hat. Wenn die Seitenkraft sich nicht erhöht hat (N), wird der Schritt **84** erneut wiederholt. Falls die Seitenkraft sich erhöht hat (Y), wird in Schritt **86** der Schritt **88** ausgeführt. Im Schritt **88** wird die Änderung der Stellung des Lenkaktuators bestimmt. In Schritt **90** wird die Seitenkraft überprüft, um festzustellen, ob sie sich verringert hat. Wenn die Seitenkraft sich nicht verringert hat (N), wird der Schritt **88** erneut ausgeführt. Wenn die Seitenkraft sich in Schritt **90** verringert hat (Y), wird das Verfahren beginnend mit Schritt **80** wiederholt. Dieses Näherungsverfahren kann verwendet werden, um andere Seitenbeeinflussungen des Fahrzeugs zu optimieren, wie beispielsweise das Gieren, Seitenschlupf des Fahrzeugs,  $\beta$ .

**[0044]** Wie ersichtlich ist, überwacht das in der [Fig. 6](#) dargestellte Verfahren kontinuierlich die auf die Räder wirkende Seitenkraft. Damit kann gesagt werden, dass die [Fig. 6](#) ein Spitzenwerte suchendes Verfahren ist, so dass der Spitzenwert  $a_p$ , der der maximalen Seitenkraft  $F_{latmax}$  entspricht, erhalten wird. Es sollte auch bemerkt werden, dass dieses zweite Verfahren nicht von Änderungen in den Parametern bezüglich Reifen und Fahrzeug, radialen Belastungen, Änderungen im Radsturz, Reifendruck und Verschleiß sowie Änderungen im Schlupfwinkel abhängig ist. Durch die ständige Überwachung der Seitenkraft wird der Schlupfwinkel somit ständig annähernd auf den Wert des Spitzenschlupfwinkels  $\alpha_p$  ausgerichtet.

**[0045]** Bei der Durchführung der beiden Verfahren können verschiedene Arten der Lenkkontrolle durch verschiedene Steuersignale ausgeführt werden, was von den Eigenschaften des Fahrzeugs und des Lenksystems abhängig ist. Beispielsweise kann, wie oben beschrieben wurde, ein Zahnstangensystem gesteuert werden, um eine erwünschte Änderung am hinteren Lenkwinkel zu erzielen, indem ein temporäres Heck-Steuersignal verwendet wird, während die vor-

deren Räder nicht geändert werden. Natürlich kann die Richtung der Vorderräder durch Verwendung eines Vorderseiten-Steuersignals ebenfalls geändert werden, wenn die hintere Richtung geändert wird.

**[0046]** Bei einem System mit unabhängig betätigbaren Vorderrädern kann der relative Lenkwinkel zwischen den Vorderrädern durch die Lenksteuerung **38** geändert werden, ohne dass die Stellung des Hinterrades geändert oder überprüft wird. Dies kann durch eine unabhängige Steuerung der Vorderräder oder durch gleichzeitige Steuerung der Vorderräder erfolgen. Jedes Rad in einem unabhängigen System kann auf ein entsprechendes vorderes rechtes, vorderes linkes, hinteres rechtes oder hinteres linkes Steuersignal reagieren.

**[0047]** In einem System mit unabhängig betätigbaren Hinterrädern kann der relative Lenkwinkel zwischen den Vorderrädern in Abhängigkeit von dem ermittelten Rollverhalten durch die Lenksteuerung **38** geändert werden, ohne dass die Stellung der Vorderräder geändert oder überprüft wird. Dies kann durch eine unabhängige Steuerung der Hinterräder oder eine gleichzeitige Steuerung der Hinterräder erfolgen.

**[0048]** Während hier die speziellen Ausführungsformen der Erfindung gezeigt und beschrieben wurden, sind zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen für einen Fachmann offensichtlich.

### Patentansprüche

1. Steuerungssystem für ein Fahrzeug, das einen Lenkaktuator aufweist, mit:  
mehreren, einzeln ansteuerbaren Aktuatoren (**40A**; **40B**; **40C**; **40D**) für lenkbare Räder einer Vielzahl von Sensoren (**28**; **30**; **32**; **34**; **35**; **36**; **37**; **39**), die eine Vielzahl von Signalen erzeugen, die einer dynamischen Bedingung des Fahrzeugs entsprechen, und  
einer mit der Vielzahl von Sensoren verbundenen Reglereinheit (**26**), wobei die Reglereinheit (**26**) geeignet ist, in Abhängigkeit von den gemessenen Fahrzeugbedingungen eine Seitenkraft ( $F_{lat}$ ), und einen Schlupfwinkel ( $\alpha$ ) zu ermitteln, eine erste Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators zu ermitteln, um den Schlupfwinkel ( $\alpha$ ) zu vermindern, solange sich die Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) erhöht und eine zweite Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators zu ermitteln, um den Schlupfwinkel ( $\alpha$ ) solange zu erhöhen, bis die Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) sich vermindert.

2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Lenkaktuator einen Aktuator (**40A**) für das rechte Vorderrad und einen Aktuator (**40B**) für das linke Vorderrad umfasst.

3. System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch ge-

kennzeichnet, dass der Lenkaktuator (**40A**) des rechten Vorderrades und der Lenkaktuator (**40B**) des linken Vorderrades unabhängig voneinander ansteuerbar sind.

4. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Reglereinheit (**26**) so ausgebildet ist, dass sie ein vorderes rechtes Steuersignal und ein vorderes linkes Steuersignal erzeugen kann, indem sie eine erste Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators und eine zweite Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators ermittelt.

5. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Lenkaktuator einen hinteren Lenkaktuator und einen vorderen Lenkaktuator aufweist.

6. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Reglereinheit (**26**) ein hinteres Lenkungssteuerungssignal ermittelt, indem sie eine erste Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators und eine zweite Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators ermittelt.

7. Verfahren zum Steuern eines Fahrzeugs mit einem Lenkaktuator, umfassend die Schritte:  
Ermitteln einer Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) in Abhängigkeit von gemessenen Fahrzeugbedingungen;  
Ermitteln eines Schlupfwinkels ( $\alpha$ ) in Abhängigkeit von gemessenen Fahrzeugbedingungen;  
Ermitteln einer ersten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators, um den Schlupfwinkel ( $\alpha$ ) zu vermindern, solange sich die Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) erhöht;  
Steuern des Lenkactuators in Abhängigkeit von der ersten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators;  
danach, Ermitteln einer zweiten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators, um den Schlupfwinkel ( $\alpha$ ) solange zu vergrößern, bis die Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) sich vermindert, und  
Steuern des Lenkactuators in Abhängigkeit von der zweiten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Ermitteln einer ersten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators, um den Schlupfwinkel ( $\alpha$ ) solange zu vermindern, bis die Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) sich erhöht, unabhängig von der Stellung eines Handlenkrades durchgeführt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuern des Lenkactuators in Abhängigkeit von der ersten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators und das Steuern des Lenkactuators in Abhängigkeit von der zweiten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators das Steuern eines vorderen Lenkactuators umfasst.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuern des Lenkactuators in Abhängigkeit von der ersten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators und das Steuern des Lenkactuators in Abhängigkeit von der zweiten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators das Steuern eines hinteren Lenkactuators umfasst.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuern des Lenkactuators in Abhängigkeit von der ersten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators und das Steuern des Lenkactuators in Abhängigkeit von der zweiten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators das Steuern eines vorderen rechten Lenkactuators (**40A**) umfasst.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuern des Lenkactuators in Abhängigkeit von der ersten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators und das Steuern des Lenkactuators in Abhängigkeit von der zweiten Änderung des Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators das Steuern eines vorderen linken Lenkactuators (**40B**) umfasst.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Lenkaktor in Abhängigkeit von der Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) gesteuert wird, um die Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) zu maximieren.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuern des Lenkactuators das Ändern eines Schlupfwinkels ( $\alpha$ ) umfasst, um die Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) zu maximieren.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuern des Lenkactuators das Ändern eines Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators umfasst, um die Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) solange zu erhöhen bis die Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) wieder abnimmt, wonach der Winkels ( $\delta$ ) des Lenkactuators solange geändert wird, bis die Seitenkraft ( $F_{lat}$ ) sich erhöht.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

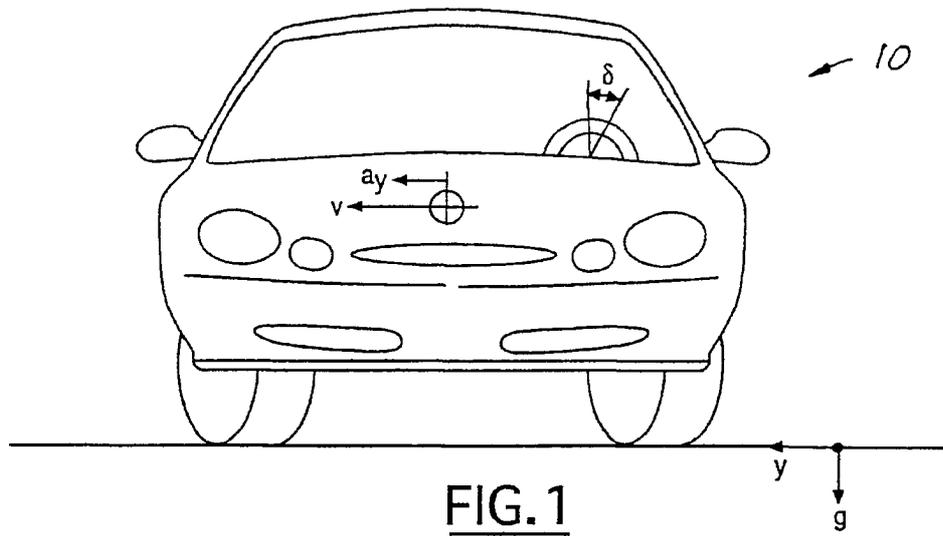


FIG. 1



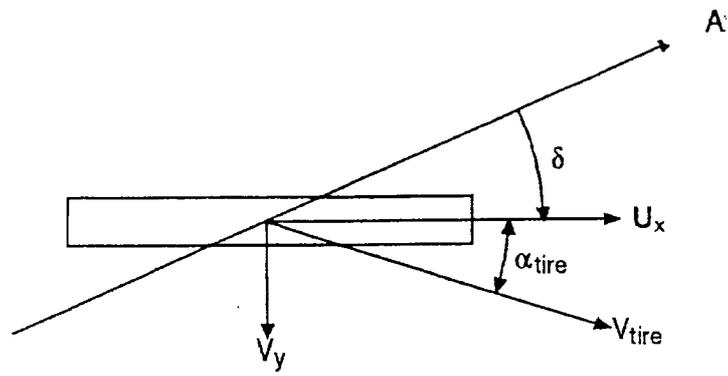


FIG. 2B

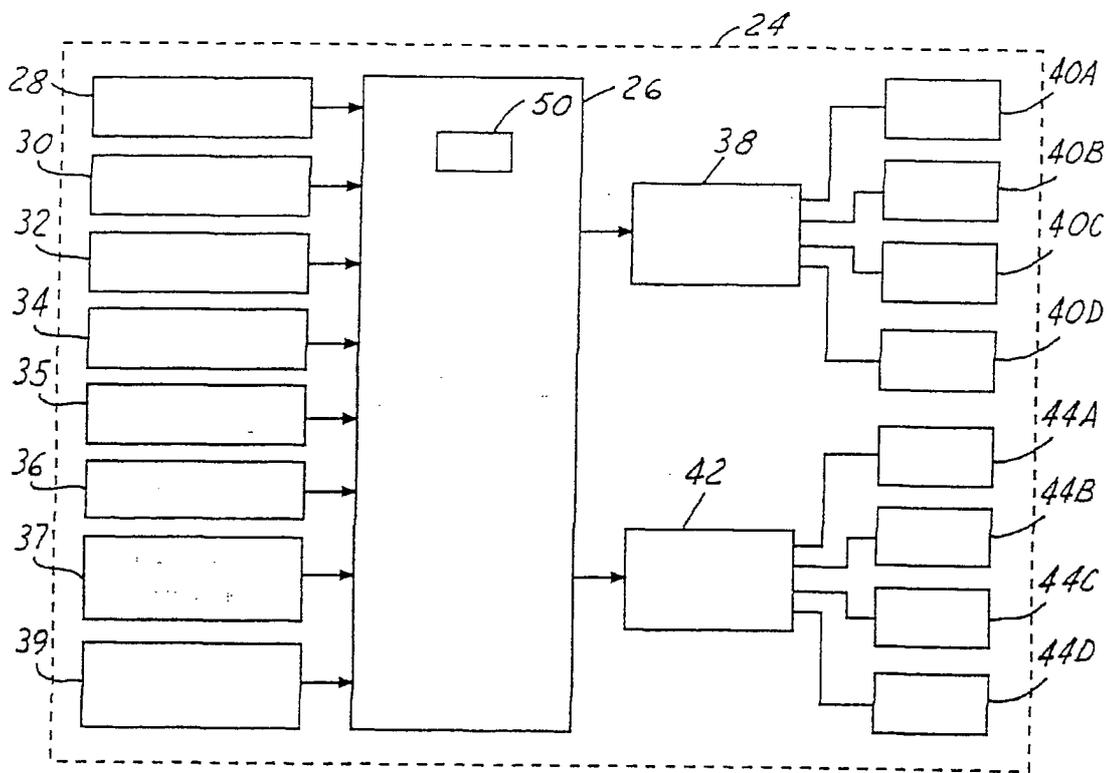


FIG. 3

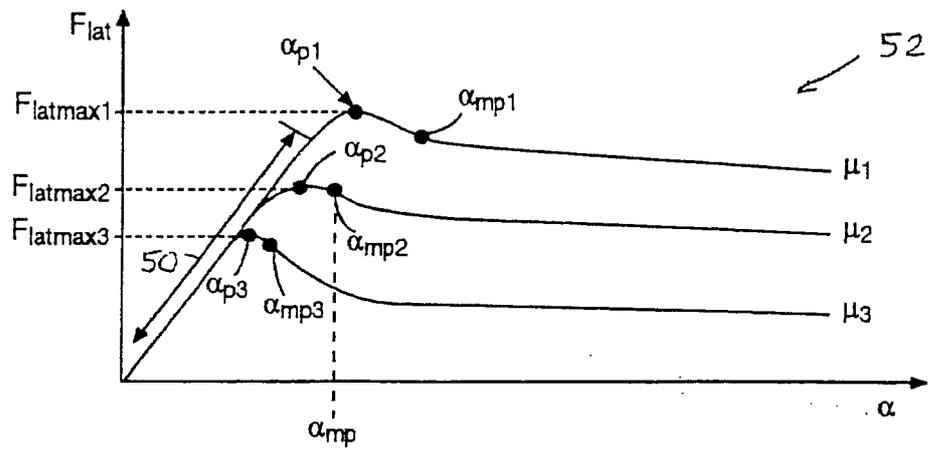
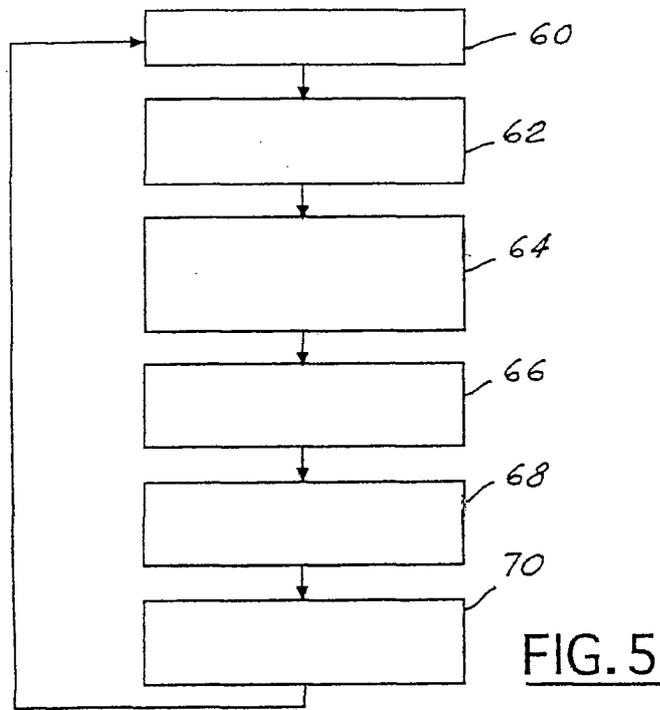


FIG. 4



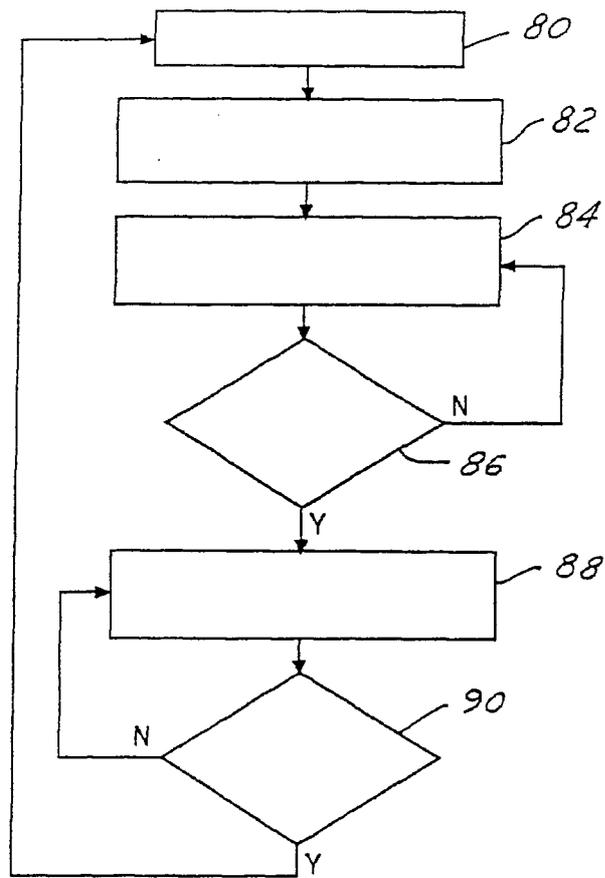


FIG. 6