

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 1562/2009

(22) Anmeldetag: 02.10.2009

(45) Veröffentlicht am: 15.10.2010

(51) Int. Cl.⁸: **G01M 17/007**

(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 338373A2 DE 19910967C1

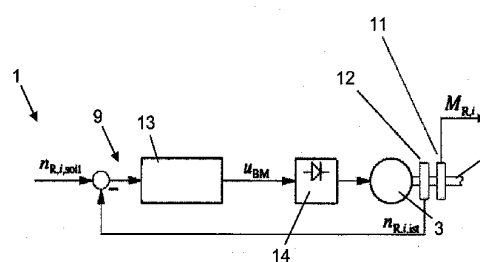
(73) Patentinhaber:
KRISTL, SEIBT & CO. GESELLSCHAFT
M.B.H.
A-8052 GRAZ (AT)

(72) Erfinder:
ROSSEGGER WILFRIED DR.
GRAZ (AT)
PIRCHER STEFAN DIPL.ING.
GRAZ (AT)
STAINER THOMAS DIPL.ING.
GRAZ (AT)
BAUER ROBERT DIPL.ING. DR.
GRAZ (AT)
HAIDINGER THOMAS DIPL.ING.
HART BEI GRAZ (AT)

(54) **VERFAHREN UND PRÜFSTAND ZUR NACHBILDUNG DES FAHRVERHALTENS EINES FAHRZEUGS**

(57) Verfahren zur Nachbildung des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs mit einem Antriebsstrang mit zumindest einer Welle (2), wobei an der Welle (2) ein Drehmoment ($M_{R,i}$) gemessen und als Eingangsgröße, für ein Radmodell (5, 6, 7, 8) herangezogen wird, das als Ausgangsgröße eine Drehzahl aufweist, die als Sollwert ($n_{R,i,soll}$) für eine der Welle (2) zugeordnete Drehzahlregelung (9) verwendet wird, sowie Prüfstand (1) zur Nachbildung des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs mit einem Antriebsstrang mit zumindest einer Welle (2), an welcher eine Belastungsmaschine (3) montierbar ist, wobei eine Drehmoment-Messvorrichtung (11) zur Messung des Drehmoments ($M_{R,i}$) an der Welle (2) mit einem ein Radmodell (5, 6, 7, 8) aufweisenden Rechenvorrichtung (4) verbunden ist, welche dazu eingerichtet ist, aus dem gemessenen Drehmoment ($M_{R,i}$) einen Drehzahl-Sollwert ($n_{R,i,soll}$) für eine der Belastungsmaschine (3) zugeordnete Drehzahlregelung (9) zu liefern

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Nachbildung des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs mit einem Antriebsstrang mit zumindest einer Welle sowie einen Prüfstand zur Nachbildung des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs mit einem Antriebsstrang mit zumindest einer Welle, an welcher eine Belastungsmaschine montierbar ist.

[0002] Aus der EP 0 338 373 A2 ist ein Prüfstand zum Testen des Antriebsstrangs eines Fahrzeugs bekannt, bei welchem ein Motor über ein Getriebe mit einem Hauptantriebsstrang verbunden ist, welcher ein Hinterachsgetriebe bzw. ein Vorderachsgetriebe antreibt. Die Getriebe sind über entsprechende Seitenwellen mit Belastungsmaschinen verbunden, welche zur Nachbildung von Fahrwiderständen bzw. Beschleunigungs- oder Verzögerungsmomenten unabhängig voneinander bremsen und antreiben können. Die mit Stromrichtern verbundenen Belastungsmaschinen bringen Drehmomente auf, welche mittels von einem Simulationsrechner gesteuerter Regeleinrichtungen geregelt werden. Im Speziellen werden an den Belastungsmaschinen Drehzahl-Istwerte gemessen und an den Simulationsrechner übermittelt, welcher hieraus Drehmoment-Sollwerte berechnet, die mit Hilfe der Regeleinrichtungen in den Belastungsmaschinen als Istwerte aufgebaut werden. Für das Simulationsmodell wird ein lineares Modell mit linearer Federcharakteristik und geschwindigkeitsabhängiger Dämpfung für Reifen und Achswellen angenommen.

[0003] Zur Berücksichtigung des Reifenschlupfs wird in der EP 0 338 373 A2 darüberhinaus vorgeschlagen, den Schlupf in Abhängigkeit von den Drehmomenten an den Rädern zu berechnen, wobei der Betreiber des Prüfstands über den Rechner eine Momentverteilung im Antriebsstrang vorgibt. Bei Vorgängen mit hoher Dynamik, insbesondere bei einer Simulation durchdrehender Reifen, ergibt sich das Problem, dass die Aufteilung der Drehmomente im Antriebsstrang nicht bekannt ist; für diese Fälle wird daher der Drehmoment-Sollwert auf ein Schlupfmoment begrenzt. Dies stellt allerdings nur eine Näherungslösung dar, welche sich in der Praxis als nicht ausreichend präzise für eine zweckmäßige Simulation der Reifen erwiesen hat.

[0004] In der DE 199 10 967 C1 werden die bei der Reifensimulation auftretenden Probleme insbesondere im Hinblick auf die Nachbildung des Reifenschlupfs angesprochen und es wird als Lösung vorgeschlagen, die Raddrehzahl an wenigstens einer der Seitenwellen zu messen und die gemessene Drehzahl als Eingangsgröße für ein die schlupfabhängige Reibung nachbildendes Reifenmodell zu verwenden. Das Reifenmodell berechnet eine vom Reifen auf die Fahrbahn übertragene Kraft und ein sich für diese Kraft ergebendes Soll-Drehmoment für die an dieser Welle angebrachte momentengeregelte Belastungsmaschine.

[0005] Damit dieses Verfahren funktioniert, müsste die Belastungsmaschine das berechnete Soll-Drehmoment mit sehr hoher Genauigkeit aufbringen. Bei einer reinen Steuerung der Maschine treten im Hinblick auf real auftretende Phänomene wie Sättigung, Stromverdrängung oder dergl. zwangsläufig Abweichungen in den Drehmomenten auf. Andererseits hat sich eine Drehmoment-Regelung basierend auf dem gemessenen Drehmoment in diesem Zusammenhang als wenig hilfreich herausgestellt, da sich das Soll-Drehmoment bei dynamischen Systemen stark vom gemessenen Drehmoment unterscheiden kann. Durch den Unterschied zwischen dem geforderten Soll-Drehmoment und dem tatsächlich aufgebrauchten Drehmoment laufen die gewünschte Drehzahl an der Seitenwelle und die tatsächlich auftretende Drehzahl mit der Zeit immer weiter auseinander.

[0006] Es ist nun Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren bzw. einen Prüfstand der eingangs angeführten Art zu schaffen, mit welchen eine zuverlässige, möglichst wirklichkeitsnahe Simulation des Fahrzeugverhaltens, insbesondere der Fahrzeugräder, ermöglicht wird, wobei die Nachteile bekannter Systeme weitestgehend vermieden werden sollen.

[0007] Beim erfindungsgemäßen Verfahren der eingangs angeführten Art wird dies dadurch erzielt, dass an der Welle ein Drehmoment gemessen und als Eingangsgröße für ein Radmodell herangezogen wird, das als Ausgangsgröße eine Drehzahl aufweist, die als Sollwert für eine

der Welle zugeordnete Drehzahlregelung verwendet wird. Für die Simulation eines Fahrzeugrads wird demnach das an der Welle gemessene Drehmoment als Parameter an das Radmodell übergeben, welches den Drehzahl-Sollwert für die Drehzahlregelung der Seitenwelle bestimmt. Mit Hilfe der Drehzahlregelung wird gewährleistet, dass der Unterschied zwischen der real an der Welle auftretenden Ist-Drehzahl und der Soll-Drehzahl möglichst gering gehalten wird. Zur Bestimmung der Soll-Drehzahl kann das Radmodell eine oder mehrere Rad-Charakteristiken heranziehen, mit welchen ein bestimmtes Modell oder ein jeweiliger Rad- bzw. Fahrzeugtyp nachgebildet wird. Die Regelung der an der Welle einzustellenden Soll-Drehzahl kann mit sehr hoher Genauigkeit erfolgen, wodurch eine realitätsnahe Simulation des Fahrzeugverhaltens, insbesondere auch der Fahrzeugräder, ermöglicht wird; das bei bekannten Prüfständen auftretende Problem, wonach Fehler in einer Drehmoment-Regelung zeitlich aufintegriert zu einem Auseinanderlaufen von Soll-Drehzahl und Ist-Drehzahl führen, wird bei der erfindungsgemäßen Technik von vornherein vermieden, indem die Soll-Drehzahl - und nicht das Drehmoment - als Ausgangsgröße des Radmodells geregelt wird.

[0008] Zur realitätsnahen Simulation der einzelnen Fahrzeugräder ist es günstig, wenn jeder Welle ein eigenes Radmodell zugeordnet wird. Vorteilhafterweise werden insgesamt vier Belastungsmaschinen mit der linken bzw. rechten Seitenwelle der Vorder- bzw. Hinterachse des Fahrzeugs verbunden, wobei das an jeder Seitenwelle gemessene Drehmoment an das zugehörige Radmodell zur Berechnung der Soll-Drehzahl für die jeweilige Drehzahlregelung übermittelt wird.

[0009] Im Hinblick auf eine umfassende Nachbildung des Fahrzeugverhaltens ist es von Vorteil, wenn jedes Radmodell zum Datenaustausch mit einem Fahrzeugmodell eingerichtet ist. Das Fahrzeugmodell ist in einer einfachen Ausführung dazu eingerichtet, die Fahrzeuggeschwindigkeit sowie die jeweiligen Reifenaufstandskräfte aus der Summe aller Längskräfte, der Fahrzeugmasse, der Fahrbahnsteigung und des Luftwiderstands zu berechnen; zudem können mit dem Fahrzeugmodell Nick- und Wankbewegungen simuliert werden.

[0010] Zur Regelung des vom Radmodell in Abhängigkeit vom gemessenen Drehmoment bestimmten Drehzahl-Sollwerts hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn der Drehzahl-Sollwert mit Hilfe eines PI-Reglers geregelt wird. Ein PI-Regler besteht aus einem proportional wirkenden P-Anteil und einem integral wirkenden I-Anteil. Der P-Anteil ist stets proportional der Regelabweichung, d.h. im vorliegenden Fall der Differenz zwischen Drehzahl-Sollwert und Ist-Drehzahl, wogegen beim I-Anteil des PI-Reglers keine feste Zuordnung zwischen Regelabweichung und Stellgröße gegeben ist.

[0011] Zur präzisen Einstellung der Drehzahl an der jeweiligen Seitenwelle ist es günstig, wenn bei der Drehzahlregelung eine Störgrößenaufschaltung vorgenommen wird.

[0012] Der erfindungsgemäße Prüfstand ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Drehmoment-Messvorrichtung zur Messung des Drehmoments an der Welle mit einer ein Radmodell aufweisenden Rechenvorrichtung verbunden ist, welche dazu eingerichtet ist, aus dem gemessenen Drehmoment einen Drehzahl-Sollwert für eine der Belastungsmaschine zugeordnete Drehzahlregelung zu liefern. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird im Hinblick auf die mit dem Prüfstand erzielbaren Vorteile auf die Erläuterungen im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verwiesen.

[0013] Als Drehzahlregelung ist vorteilhafterweise ein im Stand der Technik grundsätzlich bekannter PI-Regler vorgesehen, welcher günstigerweise mit einer Störgrößenaufschaltung verbunden ist.

[0014] Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den Zeichnungen dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispielen noch weiter erläutert, auf die sie jedoch keinesfalls beschränkt sein soll. Im Einzelnen zeigen in den Zeichnungen:

[0015] Fig. 1 schematisch einen Prüfstand mit einer mit der Seitenwelle gekoppelten Belastungsmaschine, wobei eine Drehmoment- bzw. Drehzahl-Messvorrichtung vorgesehen ist und der vom Radmodell ermittelte Drehzahl-Sollwert mit einer Dreh-

zahlregelung geregelt wird; und

[0016] Fig. 2 schematisch ein Blockschaltbild zur Veranschaulichung der erfindungsgemäßen Fahrzeugsimulation an einem Prüfstand, wobei jedem Fahrzeugrad ein Radmodell zugeordnet ist, welches in Abhängigkeit von einem an einer zugehörigen Seitenwelle des Antriebsstrangs gemessenen Drehmoment einen Drehzahl-Sollwert für eine Drehzahlregelung liefert.

[0017] Aus der Fig. 1 ist das grundlegende Prinzip der erfindungsgemäßen Fahrzeugsimulation an einem Prüfstand 1 ersichtlich, bei welchem eine (Seiten-)Welle 2 des Antriebsstrangs anstelle des Fahrzeugrads mit einer steuerbaren Belastungsmaschine 3 gekoppelt wird. In Fig. 1 ist lediglich der zur Simulation der Seitenwelle 2 vorgesehene Teil des Prüfstands 1 ersichtlich, wobei an den übrigen Seitenwellen 2 der Vorder- bzw. Hinterachse des Antriebsstrangs entsprechende Einrichtungen vorgesehen sind. Zur Nachbildung des Fahrzeugverhaltens ist eine in Fig. 2 schematisch dargestellte Rechenvorrichtung 4 vorgesehen. Die Rechenvorrichtung 4 verfügt über vier gesonderte Radmodelle 5-8, mit welchen die Eigenschaften der Fahrzeugräder möglichst wirklichkeitsnah nachgebildet werden sollen.

[0018] Als Eingangsgrößen für die Radmodelle dienen dabei die Drehmomente $M_{R,i}$ an den mit den Fahrzeugrädern kuppelbaren Seitenwellen 2 der Vorder- bzw. Hinterachse des Antriebsstrangs, wobei der Index $i=1, 2, 3, 4$ der Drehmomente $M_{R,i}$ stellvertretend für die jeweilige Seitenwelle 2 steht. Die Radmodelle 5-8 liefern in Abhängigkeit von den gemessenen Drehmomenten $M_{R,i}$ jeweils einen Drehzahl-Sollwert $n_{R,i, \text{soll}}$, welcher als Ausgangsgröße an eine in Fig. 2 dargestellte Drehzahlregelung 9 der jeweiligen Seitenwelle 2 übergeben wird.

[0019] Das Radmodell beruht zum einen auf Anwendung des Drallsatzes, welcher sich für das i . Fahrzeugrad (mit $i=1, 2, 3, 4$ für einen Antriebsstrang mit vier Rädern) zu

$$J_{R,i} \frac{d\omega_{R,i}}{dt} = M_{R,i} - M_{Fx,i} - M_{Reib,i} \quad (1)$$

[0020] ergibt.

[0021] In Gleichung (1) bezeichnet

[0022] $J_{R,i}$ das Trägheitsmoment des i . Rades

[0023] $\omega_{R,i}$ die Winkelgeschwindigkeit des i . Rades,

[0024] $M_{R,i}$ das Drehmoment der i . Seitenwelle,

[0025] $M_{Fx,i}$ das der Längskraft $F_{x,i}$ entsprechende Drehmoment des i . Rades, und

[0026] $M_{Reib,i}$ ein Drehmoment, mit dem die Rollreibung des i . Rades nachgebildet werden kann.

[0027] Die Längskraft $F_{x,i}$ wird über ein im Stand der Technik grundsätzlich bekanntes Reifenmodell mit Hilfe der Fahrzeuggeschwindigkeit, der Winkelgeschwindigkeit $\omega_{R,i}$ und der Reifenaufstandskraft des i . Rades berechnet.

[0028] Zusammen mit Gleichung (1) ergibt das Reifenmodell das Radmodell 5-8, welches gemäß Fig. 1 zum Datenaustausch mit einem Fahrzeugmodell 10 eingerichtet ist.

[0029] Das Fahrzeugmodell 10 berechnet in einer einfachen Ausführung aus der Summe aller Längskräfte $F_{x,i}$, der Fahrzeugmasse, der Fahrbahnsteigung und des Luftwiderstands die Fahrzeuggeschwindigkeit sowie die jeweiligen Reifenaufstandskräfte. Zur wirklichkeitsnahen Simulation des Fahrzeugverhaltens können zudem Nick- und Wankbewegungen berücksichtigt werden, wie im Stand der Technik prinzipiell bekannt ist.

[0030] Wesentlich für die vorliegende Erfindung ist die Tatsache, dass das Radmodell 5-8 das Drehmoment $M_{R,i}$ der i . Seitenwelle 2 als Eingangsgröße und den Drehzahl-Sollwert $n_{R,i, \text{soll}}$ der i . Seitenwelle 2 als Ausgangsgröße aufweist. Der Drehzahl-Sollwert $n_{R,i, \text{soll}}$ wird dabei über die

bekannte Beziehung

$$n_{R,i,soll} = \frac{30}{\pi} \omega_{R,i,soll} \quad (2)$$

[0031] mit dem Winkelgeschwindigkeits-Sollwert $\omega_{R,i,soll}$ verknüpft.

[0032] Die erfindungsgemäße Drehzahlregelung 9 ist schematisch in Fig. 1 dargestellt. Die i. Seitenwelle 2 des Antriebsstrangs ist einerseits mit einer Drehmoment-Messvorrichtung 11 zur Messung des Drehmoments $M_{R,i}$ und andererseits mit einer Drehzahl-Messvorrichtung 12 zur Messung der Ist-Drehzahl $n_{R,i,ist}$, welche gemäß Gleichung (2) zur Ist-Winkelgeschwindigkeit $\omega_{R,i,ist}$ äquivalent ist, verbunden. Das gemessene Drehmoment $M_{R,i}$ dient - wie zuvor im Zusammenhang mit Fig. 2 beschrieben - als Eingangsgröße für das jeweilige Radmodell 5-8, welches den Drehzahl-Sollwert $n_{R,i,soll}$ an die zugeordnete Drehzahlregelung 9 überliefert. Die an der Drehzahl-Messvorrichtung 12 gemessene Ist-Drehzahl $n_{R,i,ist}$ dient als Regelgröße für einen Regler 13 mit negativer Rückkopplung, welcher aus der Regeldifferenz zwischen dem als Führungsgröße dienenden Drehzahl-Sollwert $n_{R,i,soll}$ und der Ist-Drehzahl $n_{R,i,ist}$ einen Stellwert u_{BM} für einen mit der Belastungsmaschine 3 verbundenen Stromrichter 14 ermittelt.

[0033] Der Regler 13 ist vorzugsweise als PI-Regler ausgebildet, wobei zudem eine - in Fig. 1 nicht dargestellte - Störgrößenaufschaltung vorgesehen sein kann, mit welcher die Genauigkeit der Drehzahlregelung 9 weiter erhöht wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Nachbildung des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs mit einem Antriebsstrang mit zumindest einer Welle (2), **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Welle (2) ein Drehmoment ($M_{R,i}$) gemessen und als Eingangsgröße für ein Radmodell (5, 6, 7, 8) herangezogen wird, das als Ausgangsgröße eine Drehzahl aufweist, die als Sollwert ($n_{R,i,soll}$) für eine der Welle (2) zugeordnete Drehzahlregelung (9) verwendet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Welle (2) ein eigenes Radmodell (5, 6, 7, 8) zugeordnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedes Radmodell (5, 6, 7, 8) zum Datenaustausch mit einem Fahrzeugmodell (10) eingerichtet ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Drehzahl-Sollwert ($n_{R,i,soll}$) mit Hilfe eines PI-Reglers geregelt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Drehzahlregelung (9) eine Störgrößenaufschaltung vorgenommen wird.
6. Prüfstand (1) zur Nachbildung des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs mit einem Antriebsstrang mit zumindest einer Welle (2), an welcher eine Belastungsmaschine (3) montierbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Drehmoment-Messvorrichtung (11) zur Messung des Drehmoments ($M_{R,i}$) an der Welle (2) mit einem ein Radmodell (5, 6, 7, 8) aufweisenden Rechenvorrichtung (4) verbunden ist, welche dazu eingerichtet ist, aus dem gemessenen Drehmoment ($M_{R,i}$) einen Drehzahl-Sollwert ($n_{R,i,soll}$) für eine der Belastungsmaschine (3) zugeordnete Drehzahlregelung (9) zu liefern.
7. Prüfstand nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehzahlregelung (9) einen PI-Regler aufweist.
8. Prüfstand nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der PI-Regler mit einer Störgrößenaufschaltung verbunden ist.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

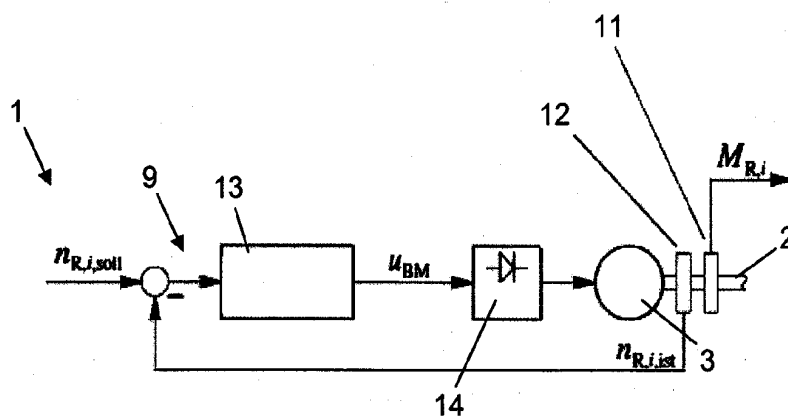


Fig. 2

