



(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 107 232.6**

(22) Anmeldetag: **13.07.2011**

(43) Offenlegungstag: **17.01.2013**

(51) Int Cl.: **F16D 48/06 (2012.01)**  
**G01M 13/02 (2012.01)**

(71) Anmelder:

**GETRAG Getriebe- und Zahnradfabrik  
Hermann Hagenmeyer GmbH & Cie KG, 74199,  
Untergruppenbach, DE**

(74) Vertreter:

**Witte, Weller & Partner, 70173, Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:

**Meissner, Jörg, 74626, Bretzfeld, DE; Sawodny,  
Oliver, 70186, Stuttgart, DE; Mahl, Tobias, 70563,  
Stuttgart, DE**

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

**DE 10 2008 026 509 A1**

**Canudas de Wit, C. ; Dolcini, P. ; Béchart, H.:  
Observer-based optimal control of dry clutch  
engagement. In: European Control Conference  
CDC-ECC '05. 44th IEEE Conference on Decision  
and Control, 2005, 2005, S. 615–621. [http://  
www.gipsa-lab.inpg.fr/~carlos.canudas-de-wit/  
publications/Vehicle\\_control\\_recent/Clutch\\_  
Synch\\_CDC-ECC05.pdf](http://www.gipsa-lab.inpg.fr/~carlos.canudas-de-wit/publications/Vehicle_control_recent/Clutch_Synch_CDC-ECC05.pdf) [online].**

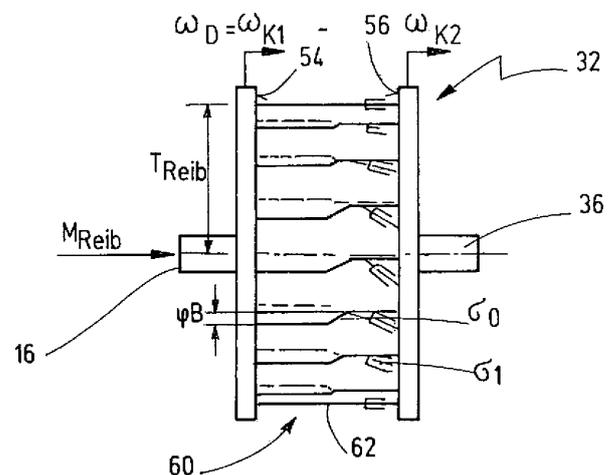
**Stamm, Wolfgang: Modellierung und  
Simulation von Mehrkörpersystemen mit  
flächigen Reibkontakten. 13, 17.02.2011,  
[http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/  
1000021139](http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/1000021139) [online].**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Drehmoment-Ermittlungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Ermitteln eines über eine Drehmomentübertragungseinrichtung (32; 34) übertragenen Drehmomentes ( $M_{Kuppl}$ ) unter Verwendung eines regelungstechnischen Modells (68) der Drehmomentübertragungseinrichtung (32; 34), insbesondere eines über eine Drehmomentübertragungseinrichtung eines Fahrzeugantriebsstranges (10) übertragenen Drehmomentes ( $M_{Kuppl}$ ), wobei das regelungstechnische Modell (68) eine elastische Verformung der Drehmomentübertragungseinrichtung (32; 34) berücksichtigt, wobei die Drehmomentübertragungseinrichtung eine Reibkupplung (32; 34) aufweist, wobei das regelungstechnische Modell (68) ein elasto-plastisches Modell (68) ist, das sowohl eine elastische Komponente als auch eine plastische Komponente des von der Reibkupplung übertragenen Drehmomentes ( $M_{Kuppl}$ ) berücksichtigt.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines über eine Drehmomentübertragungseinrichtung übertragenen Drehmomentes unter Verwendung eines regelungstechnischen Modells der Drehmomentübertragungseinrichtung, insbesondere eines über eine Drehmomentübertragungseinrichtung eines Fahrzeugantriebsstranges übertragenen Drehmomentes, wobei das regelungstechnische Modell eine elastische Verformung der Drehmomentübertragungseinrichtung berücksichtigt.

**[0002]** Ferner betrifft die vorliegende Erfindung einen regelungstechnischen Beobachter zur Verwendung in einer Steuereinrichtung eines Antriebsstranges eines Kraftfahrzeuges, wobei der Beobachter ein regelungstechnisches Modell einer solchen Drehmomentübertragungseinrichtung aufweist. Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung einen Antriebsstrang für ein Kraftfahrzeug mit einer Steuereinrichtung, die einen solchen regelungstechnischen Beobachter aufweist.

**[0003]** Ein Verfahren der oben genannten Art ist bekannt aus dem Dokument DE 10 2008 026 509 A1. Aus diesem Dokument ist es bekannt, in einem regelungstechnischen Beobachter einer Steuereinrichtung für einen Antriebsstrang ein regelungstechnisches Modell einer Drehmomentübertragungseinrichtung in Form einer drehelastischen Welle zu implementieren. Das Modell berücksichtigt eine elastische Verformung dieser Welle. Ferner ist vorgesehen, ein Fehlermodell des Mechanikmodells in dem Beobachter bereitzustellen, so dass das übertragene Drehmoment unter Berücksichtigung des Fehlermodells geschätzt und Zeitverzögerungen berücksichtigt werden können.

**[0004]** In modernen Antriebssträngen sind regelmäßig Reibkupplungen enthalten, die automatisiert über geeignete Aktuatoren (z. B. hydraulischer oder elektromotorischer Bauart) betätigt werden. Für eine komfortable und dynamische automatisierte Betätigung solcher Reibkupplungen ist es von Bedeutung, das über die Reibkupplung übertragene Drehmoment zu kennen. Insbesondere ist es von Bedeutung, den sog. Eingriffspunkt ("kiss point") einer solchen Reibkupplung zu kennen, bei dem die Reibkupplung ein vorgegebenes kleines Drehmoment übertragen kann (bspw. 20 Nm oder ein ähnlich niedriger Wert).

**[0005]** Dieser Eingriffspunkt wird aufgrund fertigungstechnischer Toleranzen und aufgrund von Systemveränderungen wie Abnutzung oder Beschädigung nicht festgelegt, sondern wird im Idealfall während des Betriebs des Fahrzeugs ständig neu bestimmt.

**[0006]** Eine solche Kiss-Point-Adaption hat zum Ziel, die Änderungen der Position des Eingriffspunktes ständig zu aktualisieren und einer Positionsregelung im Rahmen der Sollwertbildung als Korrekturwert zur Verfügung zu stehen.

**[0007]** Das von der Reibkupplung übertragene Drehmoment hängt maßgeblich von der Reibcharakteristik bzw. dem Reibwertniveau ab. Dieses Reibwertniveau kann durch Bauteilfehler, Belastung oder Abnutzung während der Kupplungslebensdauer absolut und relativ zum Motormoment über der Kupplungslast variieren.

**[0008]** Eine Adaption eines Reibwertkennfeldes hat bspw. zum Ziel, den Zusammenhang zwischen Anpresskraft der Reibkupplung als Funktion der Kupplungsposition und dem resultierenden Kupplungsmoment in Abhängigkeit von der Kupplungslast und/oder relativ zum Motormoment zu korrigieren.

**[0009]** Die bislang verfolgten Ansätze zur Reibwertadaption bzw. zur Drehmomentermittlung in derartigen Reibkupplungen sind jedoch nicht zufriedenstellend.

**[0010]** Demzufolge ist es eine Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren zum Ermitteln des Drehmomentes, einen verbesserten regelungstechnischen Beobachter sowie einen verbesserten Antriebsstrang anzugeben, wobei die Drehmomentermittlung genauer und damit der Betrieb des Fahrzeugs komfortabler und/oder dynamischer erfolgen kann.

**[0011]** Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Ermitteln eines über eine Drehmomentübertragungseinrichtung übertragenen Drehmomentes unter Verwendung eines regelungstechnischen Modells der Drehmomentübertragungseinrichtung, wobei die Drehmomentübertragungseinrichtung eine Reibkupplung aufweist und wobei das regelungstechnische Modell ein elasto-plastisches Modell ist, das sowohl eine elastische Komponente als auch eine plastische Komponente des von der Reibkupplung übertragenen Drehmomentes berücksichtigt.

**[0012]** Die obige Aufgabe wird ferner gelöst durch einen regelungstechnischen Beobachter mit einem derartigen regelungstechnischen Modell und durch einen Antriebsstrang für ein Kraftfahrzeug mit einer Steuereinrichtung, die einen solchen regelungstechnischen Beobachter aufweist.

**[0013]** Durch ein regelungstechnisches Modell einer Reibkupplung in Form eines elasto-plastischen Modells ist es möglich, Übergänge zwischen elastischer Verformung und plastischer Verdrehung und folglich zwischen einem Haften und einem Gleiten der Reibkupplung zu modellieren. Demzufolge ist es mittels

eines derartigen Modells möglich, Drehmomente und Drehzahlen bei jedem möglichen Arbeitspunkt der Reibkupplung zu berechnen.

**[0014]** Bei einer Reibkupplung wird unter einer rein elastischen Verformung der Betriebszustand verstanden, bei dem die Kupplungselemente aneinander haften. Rein plastische Reibmomente treten bei signifikantem Kupplungsschlupf auf. Eine elastische Verformung zusammen mit plastischer Verdrehung tritt vor allem bei Gleit-Haft- und Haft-Gleit-Übergängen der Kupplung als auch bei geringem Schlupf und steigendem bzw. fallendem Gradienten der Kupplungsnormalkraft auf.

**[0015]** Die Reibkupplung kann eine trockene oder eine nasse Reibkupplung sein. Trockene Reibkupplungen können als Ein- oder Mehrscheibenkupplungen ausgebildet sein. Nasse Reibkupplungen sind in der Regel als Lamellenkupplungen ausgebildet.

**[0016]** Mit anderen Worten kann durch das Verfahren zum Ermitteln eines Drehmomentes unter Zuhilfenahme eines elasto-plastischen Modells nicht nur das Drehmoment einer rein elastischen Verformung sondern auch zusätzlich die Komponente des Drehmomentes berücksichtigt werden, die aus einer rein plastischen Verdrehung herrührt. Ferner können auch Mischformen dieser beiden Komponenten berücksichtigt werden. Das regelungstechnische Modell nutzt vorzugsweise messbare Drehzahlen (wie bspw. die Drehzahl eines Eingangsgliedes der Reibkupplung und eines Ausgangsgliedes der Reibkupplung). Ferner kann das Modell vorzugsweise eine Temperatur der Reibkupplung bzw. eines hiermit betriebenen Fluides (im Falle einer nassen Kupplung) berücksichtigen. Ferner ist es vorteilhaft, wenn eine messbare Kupplungsposition und/oder eine messbare Aktuatorkraft in dem Modell genutzt werden.

**[0017]** Der regelungstechnische Beobachter erhält vorzugsweise die Drehzahlen und ein Vergleichsmoment, das auf den Antriebsstrang wirkt (bspw. ein Motormoment), um das Fehlermoment des Modells abzuschätzen.

**[0018]** Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich auf jede Art von Reibkupplung anwenden, insbesondere auf Reibkupplungen in ASG-Antriebssträngen, in Antriebssträngen mit Doppelkupplungsgetriebe (in diesem Fall vorzugsweise für jede der zwei Reibkupplungen separat), aber auch auf andere Antriebsstränge wie Wandler-Automatikgetriebe, in denen Kupplungen oder Bremsen (die ebenfalls als Reibkupplungen wirken) enthalten sind.

**[0019]** In dem regelungstechnischen Modell ist vorzugsweise ein Reibwertkennfeld hinterlegt. Das Reibwertkennfeld basiert zunächst auf a priori Wissen. Das in dem Beobachter abgeschätzte Fehlermo-

ment kann zur fortlaufenden Anpassung des Reibwertkennfeldes verwendet werden.

**[0020]** Die Aufgabe wird somit vollkommen gelöst.

**[0021]** Von besonderem Vorzug ist es, wenn das regelungstechnische Modell ein Bürstenmodell der Reibkupplung aufweist.

**[0022]** Ein derartiges Bürstenmodell kann insbesondere in Form eines elasto-plastischen Reibmodells, insbesondere in Form eines translatorischen elasto-plastischen Reibmodells realisiert werden. Derartige Bürstenmodelle weisen im Gegensatz zu klassischen Modellansätzen mindestens einen Modellzustand auf, mit dem die Reibkraft auch im Haftzustand nachgebildet werden kann. Die Grundlage der Bürstenmodelle basiert auf der Erkenntnis, dass alle Oberflächen eine gewisse Rauigkeit aufweisen. An den vielzähligen Kontaktpunkten, gebildet durch die jeweiligen "Borsten", entstehen kurzzeitige Verbindungen zwischen den Oberflächen. Solange der Betrag des angreifenden Momentes kleiner ist als das Losbrechmoment, wirkt eine Haftreibung. Bei Haftreibung findet lediglich eine geringe, elastische Bewegung statt. Nach Überschreiten dieser Grenze findet eine gemischt elastische und plastische Bewegung statt, wobei eine Gleitreibung im klassischen Sinne wirkt.

**[0023]** Die Zustandsvariablen des Bürstenmodells sind vorzugsweise die einzelnen Borstenauslenkungen, die ggf. geeignet zusammengefasst werden können. Derartige Bürstenmodelle sind sowohl auf trockene als auch auf nasse Reibpaarungen anwendbar. Daher ist es unerheblich, ob eine nasse oder eine trockene Reibkupplung modelliert wird.

**[0024]** Dabei ist es von besonderem Vorteil, wenn, das Bürstenmodell eine Mehrzahl von Borsten definiert, die jeweils als Feder- oder Feder-Dämpfer-Element ausgebildet sind und sich zwischen gegenüberliegenden Reibflächen der Reibkupplung erstrecken.

**[0025]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform definiert das Bürstenmodell eine Mehrzahl von Borsten, wobei eine Gruppe von Borsten der Mehrzahl von Borsten sich auf einem einheitlichen Radius befindet, wobei die Borsten dieser Gruppe über den Umfang der Reibkupplung verteilt auf dem Radius angeordnet sind.

**[0026]** Durch die Anordnung der Gruppe von Borsten auf dem einheitlichen Radius kann das Modell deutlich vereinfacht werden. Es ist dabei möglich, eine Mehrzahl von Gruppen auf unterschiedlichen einheitlichen Radien anzuordnen. Vorzugsweise sind jedoch sämtliche Borsten auf einem einheitlichen Radius angeordnet.

**[0027]** Es ist gemäß einer weiteren Ausführungsform bevorzugt, wenn das von der Reibkupplung übertragene Drehmoment ein Reibmoment aufweist, das eine Funktion einer gemittelten Borstenauslenkung einer Gruppe oder Mehrzahl von Borsten und/oder einer Ableitung der gemittelten Borstenauslenkung ist.

**[0028]** Wie oben beschrieben, sind die Zustandsvariablen des Bürstenmodells die einzelnen Borstenauslenkungen. In dem regelungstechnischen Modell werden diese einzelnen Borstenauslenkungen vorzugsweise auf eine gemittelte Borstenauslenkung zusammengefasst, um den Rechenaufwand zu minimieren.

**[0029]** Die plastische Komponente des Reibmomentes ist dabei vorzugsweise eine Funktion der gemittelten Borstenauslenkung. Die elastische Komponente des Reibmomentes ist dabei vorzugsweise eine Funktion der gemittelten Borstenauslenkung und der Ableitung der gemittelten Borstenauslenkung.

**[0030]** Ferner ist es vorteilhaft, wenn das von der Reibkupplung übertragene Drehmoment ein Reibmoment aufweist, das eine Funktion einer Borstensteifigkeit und/oder einer Borstendämpfungskonstante ist.

**[0031]** Die plastische Komponente des Reibmomentes ist dabei vorzugsweise eine Funktion der Borstensteifigkeit. Die elastische Komponente des Reibmomentes ist dabei vorzugsweise eine Funktion der Borstensteifigkeit und der Borstendämpfungskonstante.

**[0032]** Insgesamt ist es ferner bevorzugt, wenn das von der Reibkupplung übertragene Drehmoment ein Reibmoment aufweist, das eine Funktion eines Schleppmomentkennfeldes ist.

**[0033]** Bei dieser Ausführungsform kann das Modell insbesondere nasslaufende Reibkupplungen und die in solchen Reibkupplungen vorhandenen Schleppmomente berücksichtigen. Bei trockenen Reibkupplungen kann das Schleppmomentkennfeld vorzugsweise unberücksichtigt bleiben.

**[0034]** Bei dem regelungstechnischen Beobachter ist es bevorzugt, wenn wenigstens ein Parameter des regelungstechnischen Modells automatisiert aufgrund eines Vergleichs zwischen einem Ausgang des Modells mit einer Messgröße des Antriebsstranges adaptiert wird.

**[0035]** Hierzu kann ein Fehlermodell verwendet werden, wie in der eingangs genannten Druckschrift beschrieben.

**[0036]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

**[0037]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

**[0038]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Antriebsstranges;

**[0039]** [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung eines elasto-plastischen Bürstenmodells einer Reibkupplung;

**[0040]** [Fig. 3](#) den zeitlichen Ablauf bei der Auslenkung einer Borste des Bürstenmodells der [Fig. 2](#);

**[0041]** [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung einer regelungstechnischen Beobachteranordnung; und

**[0042]** [Fig. 5](#) ein Reibwertkennfeld einer Reibkupplung eines erfindungsgemäßen Antriebsstranges.

**[0043]** In [Fig. 1](#) ist ein Antriebsstrang für ein Kraftfahrzeug **11** schematisch dargestellt und generell mit **10** bezeichnet.

**[0044]** Der Antriebsstrang **10** weist einen Antriebsmotor **12** in Form eines Verbrennungsmotors oder dergleichen sowie ein Doppelkupplungsgetriebe **14** auf. Der Antriebsmotor **12** ist mit dem Doppelkupplungsgetriebe **14** über eine Kurbelwelle **16** verbunden. Eine Ausgangswelle des Doppelkupplungsgetriebes **14** ist bei **18** gezeigt. Diese ist mit einem Differential **20** verbunden, das Antriebsleistung auf zwei Antriebswellen **22L**, **22R** verteilt, die mit angetriebenen Rädern **24L**, **24R** des Kraftfahrzeuges **11** verbunden sind.

**[0045]** Das Doppelkupplungsgetriebe **14** beinhaltet eine Doppelkupplungsanordnung **30** mit einer ersten Reibkupplung **32** und einer zweiten Reibkupplung **34**. Die Reibkupplungen **32**, **34** weisen ein gemeinsames Eingangsglied auf, das mit der Kurbelwelle **16** verbunden ist. Ein Ausgangsglied der ersten Reibkupplung **32** ist mit einer ersten Getriebeeingangswelle **36** eines ersten Teilgetriebes **38** (bspw. für die ungeraden Gangstufen) verbunden. Ein Ausgangsglied der zweiten Reibkupplung **34** ist mit einer zweiten Getriebeeingangswelle **40** eines zweiten Teilgetriebes **42** (bspw. für die geraden Gangstufen) verbunden.

**[0046]** Die erste Reibkupplung **32** wird mittels eines schematisch angedeuteten ersten Kupplungsaktors **44** automatisiert betätigt. In entsprechender Weise wird die zweite Reibkupplung **34** mittels ei-

nes zweiten Kupplungsaktuators **46** automatisiert betätigt. Die Teilgetriebe **38, 42** werden ebenfalls mittels geeigneter Aktuatoren betätigt, die jedoch aus Übersichtlichkeitsgründen nicht dargestellt sind.

**[0047]** Eine Steuereinrichtung **50** dient zur Steuerung von automatisierten Funktionen des Antriebsstranges **10**. Die Steuereinrichtung **50** steuert bspw. die Kupplungsaktuatoren **44, 46**.

**[0048]** Die Steuereinrichtung beinhaltet, wie nachstehend noch beschrieben wird, einen regelungstechnischen Beobachter, der ein regelungstechnisches Modell von wenigstens einer der Reibkupplungen des Antriebsstranges **10** aufweist, wobei das regelungstechnische Modell ein elasto-plastisches Modell ist.

**[0049]** Ein derartiges regelungstechnisches Modell in Form eines Bürstenmodells ist schematisch in **Fig. 2** gezeigt. In **Fig. 2** sind ein mit der Kurbelwelle **16** verbundenes Eingangsglied der ersten Reibkupplung **32** und ein mit der ersten Getriebeeingangswelle **36** verbundenes Ausgangsglied der ersten Reibkupplung **32** schematisch dargestellt. Die zweite Reibkupplung kann in ähnlicher Weise modelliert werden.

**[0050]** Das Eingangsglied der ersten Reibkupplung **32** weist eine erste Reibfläche **54** auf. Das Ausgangsglied der ersten Reibkupplung **32** weist eine zweite Reibfläche **56** auf. Das Eingangsglied dreht mit einer Drehzahl bzw. Drehfrequenz  $\omega_{K1}$ . Das Ausgangsglied weist eine Drehzahl bzw. Drehfrequenz von  $\omega_{K2}$  auf. Eine Differenz zwischen diesen Drehzahlen bzw. Drehfrequenzen ist mit  $\omega_D$  bezeichnet.

**[0051]** Zur Modellierung der Reibkupplung **32** wird ein sog. Bürstenmodell verwendet, das in **Fig. 2** schematisch bei **60** dargestellt ist. Bei diesem Bürstenmodell geht man davon aus, dass auf einem gemeinsamen Radius  $r_{Reib}$  eine Mehrzahl von Borsten **62** angeordnet sind, die an einer der Reibflächen **54** festgelegt sind und sich in Richtung hin zu der anderen Reibfläche **56** erstrecken. Bei dem Bürstenmodell geht man davon aus, dass die Reibflächen jeweils uneben sind. Die Länge der Borsten **62** ist so gewählt, dass diese in manchen Relativstellungen der Reibflächen **54, 56** nicht ausgelenkt werden, in anderen Stellungen hingegen aufgrund der Unebenheiten ausgelenkt werden. In **Fig. 2** ist eine derartige Auslenkung einer Borste bei  $\varphi_B$  gezeigt. Für die mathematische Modellierung wird dabei von einer mittleren bzw. gemittelten Borstenauslenkung ausgegangen, die nachfolgend generell mit  $\varphi_B$  bezeichnet wird.

**[0052]** Jede der Borsten weist dabei eine gewisse Borstensteifigkeit  $\sigma_0$  auf. Ferner beinhaltet jede der Borsten eine gewisse Borstendämpfungs-konstante  $\sigma_1$ . Die Werte von  $\sigma_0$  und  $\sigma_1$  werden für sämtliche

Borsten als identisch angenommen oder zu einem Gesamtwert zusammengefasst.

**[0053]** In **Fig. 2** ist ferner schematisch ein Reibmoment  $M_{Reib}$  dargestellt, das in der Regel senkrecht zu den Reibflächen **54, 56** ausgerichtet ist.

**[0054]** In **Fig. 3** ist das Bürstenmodell der **Fig. 2** anhand einer einzelnen Borste **62** näher dargestellt. Bei einem Schlupf der Reibflächen **54, 56** ( $\omega_D > 0$ ) wird die Borste aufgrund von Unebenheiten in der zweiten Reibfläche **56** ausgelenkt. In einer Phase (i) ist die Borste **62** nicht ausgelenkt. In einer zweiten Phase (ii) wird die Borste **62** hingegen aufgrund einer Erhebung in der zweiten Reibfläche **56** ausgelenkt. Die hiermit einhergehende Auslenkung in Richtung parallel zu den Reibflächen **54, 56** ist in **Fig. 3** bei **64** gezeigt. In der letzten Phase (iii) befindet sich die Borste **62** wiederum in einem nicht ausgelenkten Zustand.

**[0055]** Anhand eines solchen Bürstenmodells kann das Reibmoment wie folgt berechnet werden:

$$M_{Reib} = \sigma_0 \cdot \varphi_B + \sigma_1 \cdot \dot{\varphi}_B + \psi(\omega_D, T, x_A),$$

wobei

$$\dot{\varphi}_B = \omega_D(1 - \alpha(\varphi_B, \omega_D, T, F_{Ax})) \text{ und}$$

wobei

$$\varphi_{B,SS} = \text{sign}(\omega_D) \cdot \mu(\omega_D, T) \cdot r_{Reib} \cdot F_{Ax} \cdot z / \varphi_0, \text{ mit:}$$

$M_{Reib}$	Reibmoment der Reibkupplung
$\varphi_B$	gemittelte Borstenauslenkung
$\varphi_{B,SS}$	maximale statische Borstenauslenkung
$\varphi_{B,ba}$	gemittelte Borstenauslenkung der Losbrechgrenze
$\omega_D$	Differenzdrehzahl zwischen Eingangsglied und Ausgangsglied der Reibkupplung
$\sigma_0$	Borstensteifigkeit
$\sigma_1$	Borstendämpfungs-konstante
$r_{Reib}$	Reibradius
$F_{Ax}$	Kupplungsnormalkraft
$z$	Anzahl der Reibflächen
$\psi(\omega_D, T, x_A)$	Schleppmomentkennfeld
$\mu(\omega_D, T)$	Reibwertkennfeld
$\alpha(\varphi_B, \omega_D, T, F_{Ax})$	Alpha-Funktion
$x_A$	Kupplungsweg

**[0056]** Das Reibmoment  $M_{\text{Reib}}$  setzt sich somit prinzipiell aus drei Teilen zusammen. Dies sind zum einen der elastische und der dämpfende Anteil der Borsten als auch das Schleppmomentkennfeld, welches bei trockenen Kupplungen generell wegfällt bzw. nicht berücksichtigt wird. Die Alpha-Funktion charakterisiert hierbei, ob sich die Reibkupplung in einem rein elastischen Bereich ( $\alpha = 0$ ), in einem rein plastischen Bereich ( $\alpha = 1$ ) oder in einem Mischbereich ( $0 < \alpha < 1$ ) befindet. Die maximale statische Borstenauslenkung  $\varphi_{B,SS}$  wird über das Reibwertkennfeld festgelegt.

**[0057]** Wenn der Funktionswert  $\alpha = 0$  ist, liegt eine rein elastische Verformung des Antriebsstranges bzw. zwischen Kupplungseingangsglied und Kupplungsausgangsglied vor. Das wirksame Moment wird in diesem Fall hauptsächlich durch die Borstensteifigkeit  $\sigma_0$  und die gemittelte Borstenauslenkung  $\varphi_B$  (entsprechend der Verdrehung) sowie mittels der Ableitung der gemittelten Borstenauslenkung  $d\varphi_B/dt$  und der Borstendämpfungskonstante  $\sigma_1$  beschrieben. Das Schleppmoment hat dabei aufgrund der geringen Differenzdrehzahl in der Regel keinen Einfluss.

**[0058]** Bei  $\alpha = 1$  ist  $\varphi_B$  identisch zu  $\varphi_{B,SS}$ , wobei sich das Reibmoment  $M_{\text{Reib}}$  direkt aus dem Reibwertkennfeld und ggf. dem Schleppmomentkennfeld errechnet.

**[0059]** Im rein elastischen Bereich ( $\alpha = 0$ ) kann das Vorzeichen von  $\omega_D$  gleich dem Vorzeichen der mittleren Borstenauslenkung  $\varphi_B$  sein oder ungleich dem Vorzeichen sein.

**[0060]** Der Wert von  $\alpha$  kann bspw. anhand folgender Formel festgelegt werden:

$$\alpha = \left( \frac{1}{2} \sin \left( \pi \frac{\varphi_B - \frac{\varphi_{B,SS} + \varphi_{B,ba}}{2}}{\varphi_{B,SS} - \varphi_{B,ba}} \right) + \frac{1}{2} \right) \frac{\varphi_B}{\varphi_{B,SS}}$$

**[0061]** Der Parameter  $\varphi_{B,ba}$  definiert einen auf die gemittelte Borstenauslenkung bezogenen Grenzwert. Ist  $\varphi_B \leq \varphi_{B,ba}$  so ist  $\alpha = 0$ . Für  $\varphi_B > \varphi_{B,ba}$  gilt  $0 < \alpha \leq 1$ .

**[0062]** Das Reibwertkennfeld ist eine Funktion der Differenzdrehzahl  $\omega_D$ , und der Temperatur  $T$ . Ein beispielhaftes Kennfeld dieser Art ist in [Fig. 5](#) gezeigt.

**[0063]** Auf der Grundlage des oben beschriebenen Modells ist es möglich, Drehmomente und Drehzahlen in einer Reibkupplung und in Teilen des Antriebsstranges bei jedem möglichen Arbeitspunkt zu berechnen und für eine die Steuereinrichtung **50** zur Verfügung zu stellen.

**[0064]** Dies ist beispielhaft in [Fig. 4](#) dargestellt. In [Fig. 4](#) ist schematisch eine Beobachteranordnung **66** dargestellt, die ein regelungstechnisches Modell **68** aufweist. Das Modell **68** beinhaltet ein elasto-plastisches Modell der Reibkupplung **32**. In dem Modell **68** der [Fig. 4](#) ist ferner schematisch dargestellt, dass zwischen der Kurbelwelle **16** und der Kupplung **32** noch ein Zweimassenschwungrad (ZMS) vorgesehen sein kann, das durch eine Federkonstantenanordnung gebildet ist, die in Umfangsrichtung wirkt. Ein Glied des Zweimassenschwungrades kann demzufolge eine Drehzahl  $\omega_{ZMS}$  aufweisen. Demzufolge kann bei der Modellberechnung ggf. statt der Drehzahl der Kurbelwelle **16** die Drehzahl dieses Gliedes des Zweimassenschwungrades als Eingangsdrehzahl der Reibkupplung **32** herangezogen werden.

**[0065]** Das Modell **68** liefert ein bestimmtes von der Reibkupplung **32** übertragenes Drehmoment  $M_{\text{Modell}}$  sowie eine entsprechende Drehzahl  $\omega_{\text{Modell}}$ .

**[0066]** Diese Werte werden einem Beobachter **70** eingegeben, der zudem entsprechende Messwerte  $\omega_{\text{Messung}}$  und  $M_{\text{Messung}}$  erhält. Aus der Differenz bzw. durch andere Schätzverfahren ermittelt der Beobachter **70** hieraus Schätzwerte des Drehmomentes und der Drehzahl  $M_{\text{Schätz}}$ ,  $\omega_{\text{Schätz}}$ .

**[0067]** Diese Werte können zum einen in der Steuereinrichtung **50** verwendet werden. Zum anderen können diese auch dazu verwendet werden, Parameter des Modells **68** zu adaptieren.

**[0068]** Mit anderen Worten wird der Beobachter eingesetzt, um die mit dem Modell **68** der Reibkupplung **32** simulierten Momente und Drehzahlen mit Messwerten zu vergleichen und eine Abschätzung des Modellfehlers zu erhalten. Ist ein direkter Vergleich der Drehzahlen bzw. Momente nicht möglich, da die Messungen an anderen Stellen des Antriebsstranges durchgeführt werden als die simulierten Momente und Drehzahlen, so benötigt der Beobachter ein Modell des dazwischen liegenden Antriebsstranges. Durch den vom Beobachter **70** errechneten Schätzfehler ist es möglich, die Modellgüte zu ermitteln und kurzfristig als auch nachhaltig zu verbessern. Zu einer temporären Anpassung der Modellgüte zählt die Korrektur des Modellzustands. Werden hingegen die Parameter des Modells **68** adaptiv nachgeführt, erfolgt eine permanente Veränderung des Modells **68**, womit eine nachhaltige Modellkorrektur durchgeführt wird. Ziel der durchgeführten Korrekturen ist es, den Schätzfehler gegen 0 streben zu lassen.

**[0069]** Die in [Fig. 4](#) gezeigte Struktur kann um einen Funktionsbaustein einer Modellkorrektur erweitert werden.

**[0070]** In [Fig. 5](#) ist, wie bereits oben erwähnt, ein Reibwertkennfeld **74** dargestellt, das Reibwerte  $z \cdot \mu$  als Funktion der Differenzdrehzahl bzw. Drehfrequenz  $\omega_D$  und als Funktion der Temperatur  $T$  darstellt (mit  $z$  = Anzahl der Reibflächen). Man erkennt, dass die Reibwerte zumindest bei höheren Differenzdrehzahlen weitgehend unabhängig sind von den jeweiligen Differenzdrehzahlen. Hingegen ist über alle Drehzahlbereiche eine deutliche Abhängigkeit des jeweiligen Reibwertes von der Temperatur  $T$  zu erkennen.

**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 102008026509 A1 [[0003](#)]

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln eines über eine Drehmomentübertragungseinrichtung (**32; 34**) übertragenen Drehmomentes ( $M_{\text{Kupp}}$ ) unter Verwendung eines regelungstechnischen Modells (**68**) der Drehmomentübertragungseinrichtung (**32; 34**), insbesondere eines über eine Drehmomentübertragungseinrichtung eines Fahrzeugantriebsstranges (**10**) übertragenen Drehmomentes ( $M_{\text{Kupp}}$ ), wobei das regelungstechnische Modell (**68**) eine elastische Verformung der Drehmomentübertragungseinrichtung (**32; 34**) berücksichtigt, wobei die Drehmomentübertragungseinrichtung eine Reibkupplung (**32; 34**) aufweist, wobei das regelungstechnische Modell (**68**) ein elasto-plastisches Modell (**68**) ist, das sowohl eine elastische Komponente als auch eine plastische Komponente des von der Reibkupplung übertragenen Drehmomentes ( $M_{\text{Kupp}}$ ) berücksichtigt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das regelungstechnische Modell (**68**) ein Bürstenmodell (**60**) der Reibkupplung (**32; 34**) aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, das Bürstenmodell (**60**) eine Mehrzahl von Borsten (**62**) definiert, die jeweils als Feder- oder Feder-Dämpfer-Element ausgebildet sind und sich zwischen gegenüberliegenden Reibflächen (**54; 56**) der Reibkupplung (**32; 34**) erstrecken.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei das Bürstenmodell (**60**) eine Mehrzahl von Borsten definiert, wobei eine Gruppe von Borsten der Mehrzahl von Borsten (**62**) sich auf einem einheitlichen Radius ( $r_{\text{Reib}}$ ) befindet, wobei die Borsten dieser Gruppe über den Umfang der Reibkupplung (**32; 34**) verteilt auf dem Radius ( $r_{\text{Reib}}$ ) angeordnet sind.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei das von der Reibkupplung (**32; 34**) übertragene Drehmoment ( $M_{\text{Kupp}}$ ) ein Reibmoment ( $M_{\text{Reib}}$ ) aufweist, das eine Funktion einer gemittelten Borstenauslenkung einer Gruppe oder Mehrzahl von Borsten (**62**) und/oder einer Ableitung der gemittelten Borstenauslenkung ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2–5, wobei das von der Reibkupplung (**32; 34**) übertragene Drehmoment ( $M_{\text{Kupp}}$ ) ein Reibmoment ( $M_{\text{Reib}}$ ) aufweist, das eine Funktion einer Borstensteifigkeit und/oder einer Borstendämpfungskonstante ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2–6, wobei das von der Reibkupplung übertragene Drehmoment ( $M_{\text{Kupp}}$ ) ein Reibmoment ( $M_{\text{Reib}}$ ) aufweist, das eine Funktion eines Schleppmomentkennfeldes ist.

8. Regelungstechnischer Beobachter (**66**) zur Verwendung in einer Steuereinrichtung (**50**) eines An-

triebsstranges (**10**) eines Kraftfahrzeuges (**11**), wobei der Beobachter (**66**) ein regelungstechnisches Modell (**68**) einer Reibkupplung (**32; 34**) des Antriebsstranges (**10**) aufweist, wobei das regelungstechnische Modell (**68**) ein elasto-plastisches Modell ist, das sowohl eine elastische Komponente als auch eine plastische Komponente des von der Reibkupplung (**32; 34**) übertragenen Drehmomentes ( $M_{\text{Kupp}}$ ) berücksichtigt.

9. Regelungstechnischer Beobachter nach Anspruch 8, wobei wenigstens ein Parameter des regelungstechnischen Modells (**68**) automatisiert aufgrund eines Vergleichs zwischen einem Ausgang des Modells mit einer Messgröße des Antriebsstranges adaptiert wird.

10. Antriebsstrang (**10**) für ein Kraftfahrzeug (**11**) mit einer Steuereinrichtung (**50**), die einen regelungstechnischen Beobachter (**66**) nach Anspruch 8 oder 9 aufweist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

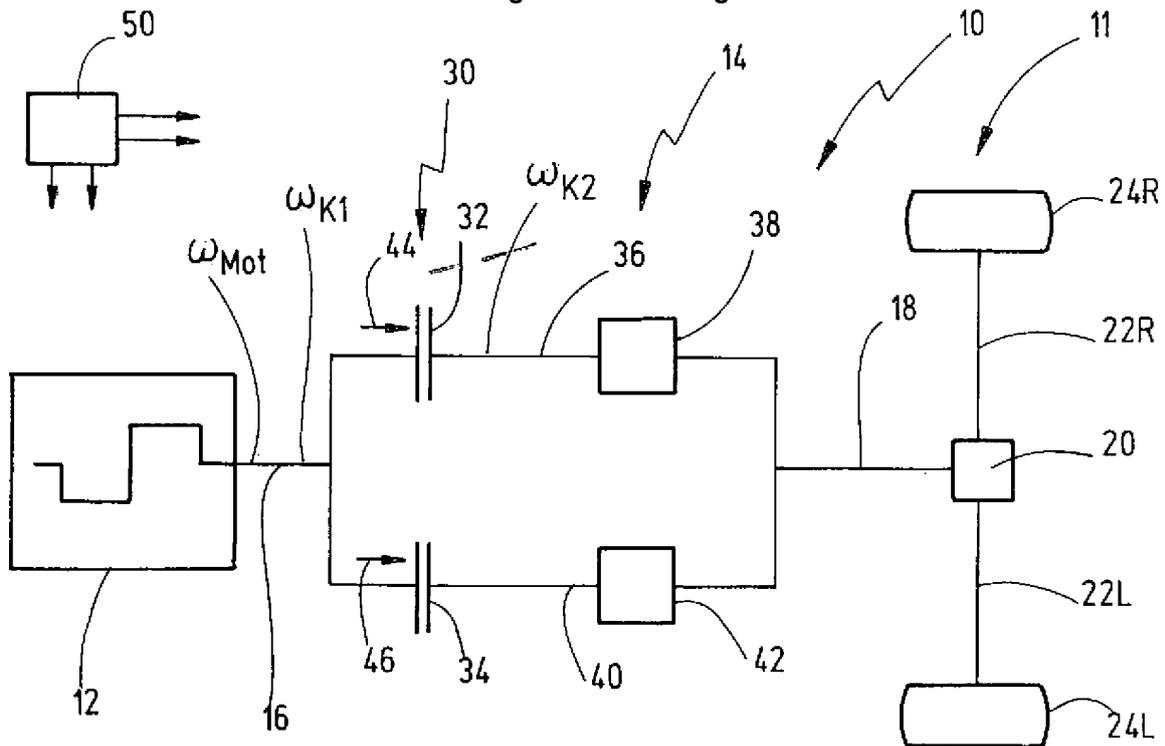


Fig.1

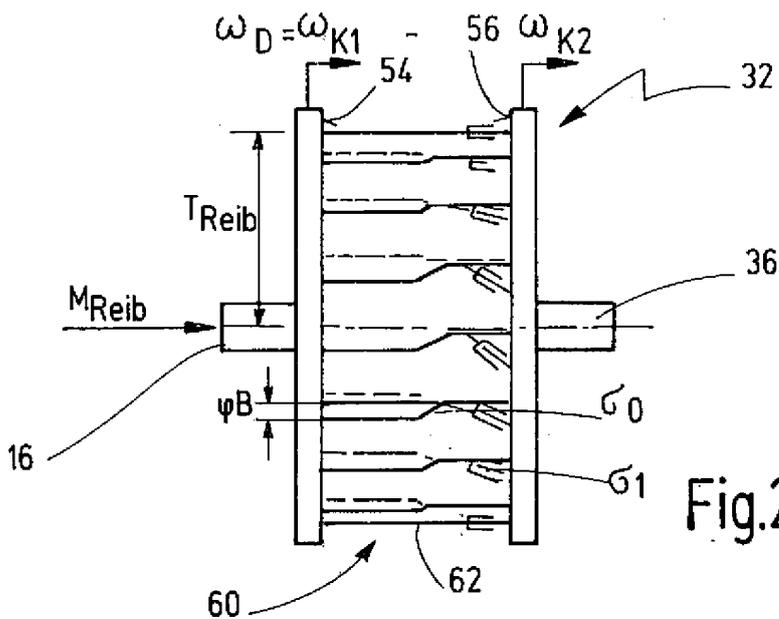


Fig.2

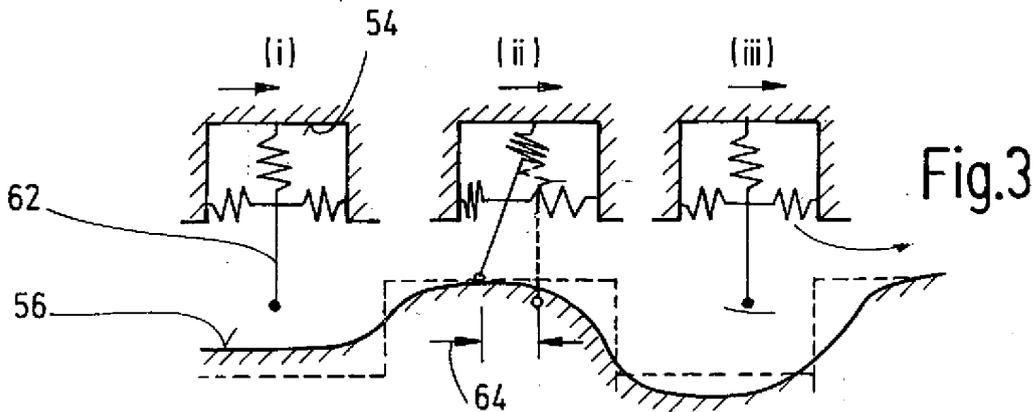


Fig.3

