

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges

Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum

13. Juni 2013 (13.06.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2013/083344 AI

(51) Internationale Patentklassifikation:
G05B 13/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/071988

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. November 2012 (07. 11.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
11192506.1 8. Dezember 2011 (08. 12.2011) EP

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: KOTZIAN, Daniel; Wehneltstr. 1, 91052
Erlangen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

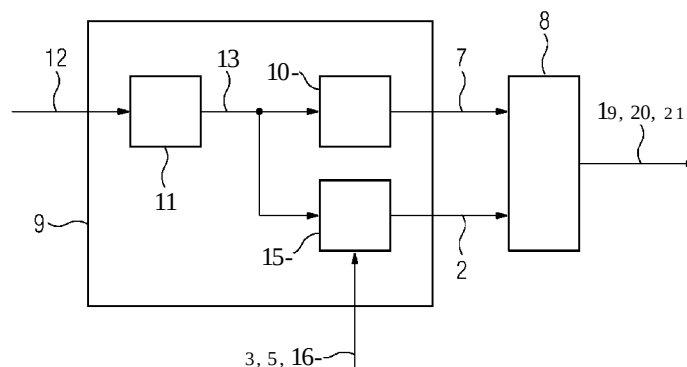
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DETERMINING FRICTION COMPONENTS OF A DRIVE SYSTEM

(54) Bezeichnung : BESTIMMEN VON REIBUNGSKOMPONENTEN EINES ANTRIEBSSYSTEMS

FIG 1



(57) Abstract: The invention relates to a method for determining friction components of a total frictional force of a drive System. The invention further relates to a Controller and a machine comprising at least one drive System. Finally, the invention relates to a Computer program and a Computer program product. The aim of the invention is to improve the method known from the prior art for determining friction components of a drive System. This is achieved by carrying out the following method Steps: - generating a periodic movement of a total mass with a frequency by means of the drive System, - detecting a drive force applied by the drive System in order to achieve the periodic movement of the total mass, - detecting current position values of the moved total mass, - ascertaining the total frictional force and a speed of the moved total mass in order to ascertain a friction/speed function by means of a friction/speed observer such that - the friction/speed observer comprises at least one path model and oscillators, - at least the frequency is fed to each oscillator as an input value, - Output values are Output by the oscillators, - wherein the Output values are a time curve of an acceleration of the moved total mass, and the total frictional force is calculated by means of a conversion process using the total mass, a total mass force that is dependent on the total mass, and the drive force, or the Output values are a time curve of the total frictional force, and - the speed is ascertained using the path model, and - ascertaining the friction components using the ascertained friction/speed function.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/083344 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
V

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen von Reibungskomponenten einer gesamten Reibungskraft eines Antriebssystems. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Steuerung und eine Maschine mit zumindest einem Antriebssystem. Schließlich betrifft die Erfindung ein Computerprogramm und ein Computerprogrammprodukt. Um die im Stand der Technik bekannten Verfahren zum Bestimmen von Reibungskomponenten eines Antriebssystems zu verbessern, wird die Durchführung folgender Verfahrensschritte vorgeschlagen: - Erzeugen einer periodischen Bewegung einer Gesamtmasse mit einer Frequenz mittels des Antriebssystems, - Erfassen einer vom Antriebssystem zur Bewerkstelligung der periodischen Bewegung der Gesamtmasse aufgebrauchten Antriebskraft, - Erfassen von Positionswerten der bewegten Gesamtmasse, - Ermitteln der gesamten Reibungskraft und einer Geschwindigkeit der bewegten Gesamtmasse zur Ermittlung einer Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion mittels eines Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachters derart, dass - der Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachter zumindest ein Streckenmodell und Oszillatoren umfasst, - an die Oszillatoren jeweils zumindest die Frequenz als Eingabewert zugeführt wird, - durch die Oszillatoren Ausgabewerte ausgegeben werden, - wobei die Ausgabewerte ein zeitlicher Verlauf einer Beschleunigung der bewegten Gesamtmasse sind und die gesamte Reibungskraft mittels einer Umrechnung unter Verwendung der Gesamtmasse, einer von der Gesamtmasse abhängenden Gesamtmassekraft und der Antriebskraft berechnet wird, oder wobei die Ausgabewerte ein zeitlicher Verlauf der gesamten Reibungskraft sind, - die Geschwindigkeit mittels des Streckenmodells ermittelt wird, - Bestimmen der Reibungskomponenten anhand der ermittelten Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion.

Beschreibung

Bestimmen von Reibungskomponenten eines Antriebssystems

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen von Reibungskomponenten einer gesamten Reibungskraft eines Antriebs - Systems .

10 Weiterhin betrifft die Erfindung eine Steuerung und eine Maschine mit zumindest einem Antriebssystem. Schließlich betrifft die Erfindung ein Computerprogramm und ein Computerprogrammprodukt .

15 Das Verfahren kann insbesondere dort zum Einsatz kommen, wo Antriebssysteme mit mehreren unterschiedlichen Reibungskomponenten behaftet sind, die bestimmt werden sollen. Reibungskomponenten umfassen beispielsweise Haftreibung und Gleitreibung, die beide geschwindigkeitsunabhängig sind, sowie eine viskose Reibung, die geschwindigkeitsabhängig ist. Bei dem 20 Antriebssystem kann es sich um ein hydraulisches, pneumatisches, elektrisches oder ganz allgemein reibungsbehaftetes Antriebssystem handeln.

25 Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise aus der Veröffentlichung von W.S. Owen, E.A. Croft: The reduction of stick-slip friction in hydraulic actuators, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics , Vol. 8, No. 3, Seiten 362 - 371 für hydraulische Antriebssysteme bekannt. Weiterhin wird in diesem Dokument eine typische Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion, die so genannte Stribeck-Kurve , gezeigt. 30

Aus der Veröffentlichung von De-hu Yuan, Hui-liang Jin, Guo-xiang Meng, Chun-yuan Liu: Global Sliding Mode Variable Structure Control Applied to Pneumatic Servo System, Knowledge Acquisition and Modeling Workshop, 2008, KAM Workshop 35 2008, Seiten 806 - 809 ist ein derartiges Verfahren für pneumatische Antriebssysteme bekannt.

Aus der Veröffentlichung von Amin, J., Friedland, B., Harnoy, A.: Implementation of a friction estimation and compensation technique, Control Systems, IEEE, Volume 17, Issue 4, Seiten 71 - 76 ist ein derartiges Verfahren für elektrische Antriebssysteme bekannt.

Aus der Veröffentlichung von Lischinsky, P., Canudas-de-Wit, C., Morel, G.: Friction compensation for an industrial hydraulic robot, Control Systems, IEEE, Volume 19, Issue 1, Seiten 25 - 32 ist eine Messung der geschwindigkeitsabhängigen Reibung durch das Bewegen eines Antriebssystems mit konstanter Geschwindigkeit bekannt. Wiederholt man die Messung bei unterschiedlichen konstanten Geschwindigkeiten, lassen sich die Ergebnisse in einer Reibungs-Geschwindigkeits-Abbildung darstellen, aus welcher sich die einzelnen Reibungskomponenten ermitteln lassen.

Aus der Veröffentlichung von Tafazoli, S., de Silva, C.W., Lawrence, P.D.: Friction estimation in a planar electro-hydraulic manipulator, Proceedings of the American Control Conference, 1995, Seiten 3294 - 3298 ist bekannt, die geschwindigkeitsabhängige Reibung zu bestimmen, indem ein Antriebssystem mit Hilfe eines Positionsreglers sinusförmig verfahren wird und die Reibung und die Geschwindigkeit mit Hilfe eines Coulombschen Geschwindigkeits-Beobachters geschätzt wird.

Aus der Veröffentlichung von Borsotto, B., Godoy, E., Beauvois, D., Devaud, E.: An identification method for static and dynamic friction coefficients, International Conference on Control, Automation and Systems, 2007, ICCAS 2007, Seiten 933 - 938 ist bekannt, die Gleitreibung und Haftreibung bei einem Antriebssystem durch das Erzwingen einer Oszillation der Position mittels eines PI-Reglers bei Kenntnis der Reglerverstärkung und der Oszillationsperiode zu identifizieren.

Generell kann ein Regelkreis eines dynamischen Systems einen Regler, eine negative Rückkopplung, einen Sollwert-Istwert-

Vergleich sowie eine Regelstrecke umfassen. Mathematisch wird die Regelstrecke als Übertragungssystem definiert. Sie kann aus einem oder aus mehreren Übertragungssystemen und aus Eingrößen- und Mehrgrößensystemen bestehen, wobei die Übertragungssysteme lineares und nichtlineares Verhalten aufweisen können. Dementsprechend sind die mathematischen Beschreibungen der Regelstrecke unterschiedlich.

Um den Regler wie in der vorliegenden Erfindung für anspruchsvolle Regelaufgaben auslegen zu können, ist es nötig, die Regelstrecke anhand der Erstellung eines mathematischen Modells der Regelstrecke zu identifizieren. Deren zeitliches Verhalten erlaubt die Identifizierung eines Streckenmodells.

Aus der Patentschrift EP 0 170 016 B1 ist ein Verfahren zur Ermittlung und Kompensation des Einflusses von Walzenexzentrizitäten bei der Positions- oder Dickenregelung von Walzgerüsten bekannt. Exzentrizitätsstörungen werden als periodisches Signal mit Hilfe von Oszillatorenpaaren und eines Streckenmodells geschätzt. Unter einem Oszillator wird dabei eine Oszillatorschaltung verstanden, also ein schwingungsfähiges System, dass ein periodisches Signal mit vorgegebener Frequenz erzeugt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die im Stand der Technik bekannten Verfahren zum Bestimmen von Reibungskomponenten eines Antriebssystems zu verbessern.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit folgenden Verfahrensschritten:

- Erzeugen einer periodischen Bewegung einer Gesamtmasse mit einer Frequenz mittels des Antriebssystems,
- Erfassen einer vom Antriebssystem zur Bewerkstelligung der periodischen Bewegung der Gesamtmasse aufgebrachten Antriebskraft,
- Erfassen von Positionswerten der bewegten Gesamtmasse,
- Ermitteln der gesamten Reibungskraft und einer Geschwindigkeit der bewegten Gesamtmasse zur Ermittlung einer Rei-

bungs-Geschwindigkeits-Funktion mittels eines Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachters derart, dass

- der Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachter zumindest ein Streckenmodell und Oszillatoren umfasst,
- 5 - an die Oszillatoren jeweils zumindest die Frequenz als Eingabewert zugeführt wird,
- durch die Oszillatoren Ausgabewerte ausgegeben werden,
- wobei die Ausgabewerte ein zeitlicher Verlauf einer Beschleunigung der bewegten Gesamtmasse sind und die gesamte Reibungskraft mittels einer Umrechnung unter Verwendung der Gesamtmasse, einer von der Gesamtmasse abhängenden Gesamtmassenkraft und der Antriebskraft berechnet wird,

oder

- 15 wobei die Ausgabewerte ein zeitlicher Verlauf der gesamten Reibungskraft sind,
- die Geschwindigkeit mittels des Streckenmodells ermittelt wird,
- Bestimmen der Reibungskomponenten anhand der ermittelten
- 20 Reibungs- Geschwindigkeits-Funktion .

Diese Aufgabe wird weiter gelöst durch eine Steuerung gemäß Anspruch 6, eine Maschine gemäß Anspruch 7, ein Computerprogramm gemäß Anspruch 8 und ein Computerprogrammprodukt gemäß

25 Anspruch 9 .

Erfindungsgemäß wird die Gesamtmasse in eine periodische Bewegung versetzt, wobei die dafür benötigte Antriebskraft durch das Antriebssystem zur Verfügung gestellt wird. Die Gesamtmasse kann beispielsweise zusammengesetzt sein aus der Masse einer bewegten Last sowie der Masse von bewegten Teilen des Antriebssystems selbst. Die periodische Bewegung kann insbesondere sinusförmig sein, was den Vorteil bietet, dass die Geschwindigkeit kontinuierlich zwischen einer maximalen

30 positiven und einer maximalen negativen Geschwindigkeit variiert wird und damit ein Geschwindigkeitsintervall vollständig abgedeckt werden kann. Folglich ist auch die Reibung eine periodische Größe, welche man kontinuierlich in Abhängigkeit

35

der Geschwindigkeit erhält, was die Ermittlung der Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion und somit der Analyse der einzelnen Reibungskomponenten vereinfacht. Dies erlaubt insbesondere die Ermittlung der Haftreibung anhand der Reibungs-Geschwindigkeits-Abbildung im Bereich der Geschwindigkeit Null, wobei das Maximum des Reibkraft-Betrags ausgewertet wird.

Die Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion wird dabei anhand des Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachters ermittelt, welcher zumindest ein Streckenmodell und Oszillatoren umfasst. Die erzwungene periodische Bewegung der Gesamtmasse erlaubt dabei eine besonders zuverlässige Ermittlung der Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion.

Der Begriff des Beobachters wird, wie auch im genannten Stand der Technik, als System verwendet, das aus bekannten Eingangsgößen, zum Beispiel Stellgrößen oder messbaren Störgrößen und Messgrößen eines beobachteten Referenzsystems, unter Verwendung eines Modells des Referenzsystems, nicht messbare Größen rekonstruiert. In der vorliegenden Erfindung wird der Beobachter als Ersatz einer direkten Reibungs- und Geschwindigkeitsmessung eingesetzt. Das System wird insgesamt in einem Modell nachgebildet, wobei die Oszillatoren und das Streckenmodell zum Einsatz kommen. Alle Zustände des Modells werden über die Messgröße abhängig von der Fehlerdynamik nachgeführt, wobei die Fehlerdynamik die Art und Weise der Zustandsnachführung festlegt. Bei der Nachführung der Zustände wird aus der Messgröße und dem dazugehörigen geschätzten Modellzustand eine Abweichung gebildet und mit dem Rückführvektor des Beobachters multipliziert. Das Ergebnis wird zur Nachführung aller Zustände verwendet. Ein Zustand ist hier ein Ausgang eines Integrators. Der Rückführvektor ergibt sich über die Vorgabe der Fehlerdynamik bei der Auslegung des Beobachters.

Unter einem Oszillator wird hierbei, wie im oben erwähnten Stand der Technik auch, ein schwingungsfähiges System verstanden, dass ein periodisches Signal mit vorgegebener Fre-

quenz erzeugt. Dabei lässt sich ein Oszillator in der Regelungstechnik mit zwei hintereinander geschalteten Integratoren realisieren, wobei der Eingang des ersten Integrators mit dem Ausgang des zweiten Integrators und einer Multiplikation mit dem Faktor $(2 \cdot \pi \cdot f)^2$ gegengekoppelt ist. Die Gegenkopplung entspricht in der Regelungstechnik einer Multiplikation mit -1 . Der Parameter f stellt dabei die Frequenz des Oszillators dar und π ist die Kreiszahl.

10 Dabei kann der Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachter, praktisch um eine Fourier-Analyse der periodischen Bewegung durchzuführen, mehrere Oszillatoren umfassen, wobei ein erster Oszillator eine Grundschiwingung durchführt, deren Frequenz gleich der Frequenz der periodischen Bewegung ist. Weitere Oszillatoren können jeweils verschiedene Oberschwingungen mit Vielfachen der Frequenz der periodischen Bewegung durchführen. Prinzipiell gilt dabei, dass die Verwendung einer größeren Anzahl von Oszillatoren genauere Ergebnisse liefert, da damit der tatsächliche zeitliche Verlauf der Reibungskraft anhand der Überlagerung der Grund- und Oberschwingungen der Oszillatoren genauer angenähert werden kann.

Erfindungsgemäß wird den Oszillatoren zumindest die Frequenz der periodischen Bewegung als Eingabewert zugeführt. Daraus
25 ermitteln die Oszillatoren Ausgabewerte.

Die Ausgabewerte der Oszillatoren können in Form eines zeitlichen Verlaufs der Beschleunigung der bewegten Gesamtmasse ausgegeben werden. Anhand der ausgegebenen Beschleunigung
30 kann mittels des Streckenmodells, welches in diesem Fall eine zeitliche Integration umfasst, der zeitliche Verlauf der Geschwindigkeit beziehungsweise der Position der bewegten Gesamtmasse ermittelt werden. Dabei werden gemäß einem Beobachteransatz alle Zustände des Modells über einen Beobachtungsfehler, hier in Form einer Positionsabweichung, abhängig von
35 der Fehlerdynamik, nachgeführt. Weiterhin wird aus der Beschleunigung anhand einer Umrechnung unter Berücksichtigung der beschleunigten Gesamtmasse, der Antriebskraft und der Ge-

samtmassenkraft die gesamte Reibungskraft berechnet. Somit sind, ausgehend vom zeitlichen Verlauf der Beschleunigung als Ausgabewert der Oszillatoren, sowohl die Geschwindigkeit als auch die gesamte Reibungskraft zugänglich, und die Reibungs-
5 Geschwindigkeits-Funktion kann ermittelt werden.

Um die Geschwindigkeit der bewegten Gesamtmasse ausgehend von der Beschleunigung der bewegten Gesamtmasse mittels der oben genannten zeitlichen Integration zu berechnen, verfügt das
10 Streckenmodell beispielsweise über einen Integrator, welcher durch Integration der Beschleunigung die Geschwindigkeit ausgibt. Das Streckenmodell kann auch über zwei Integratoren verfügen, mittels welchen ausgehend von der Beschleunigung die Position der bewegten Masse berechnet wird und anschlie-
15 ßend auf die Geschwindigkeit zurückgeschlossen wird.

Alternativ können die Oszillatoren die Ausgabewerte in Form eines zeitlichen Verlaufs der gesamten Reibungskraft ausgeben. Damit kann mittels eines Streckenmodells, welches die
20 bewegte Gesamtmasse berücksichtigt und wiederum eine zeitliche Integration umfasst, der zeitliche Verlauf der Geschwindigkeit beziehungsweise der Position der bewegten Gesamtmasse ermittelt werden. Wiederum werden dabei gemäß einem Beobachteransatz alle Zustände des Modells über einen Beobachtungs-
25 fehler, hier in Form einer Positionsabweichung, abhängig von der Fehlerdynamik, nachgeführt. Ausgehend vom zeitlichen Verlauf der gesamten Reibungskraft als Ausgabewert der Oszillatoren kann somit die Geschwindigkeit bestimmt werden, so dass die Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion ermittelt werden kann.

30 Anhand der ermittelten Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion lassen sich dann mit herkömmlichen Methoden die unterschiedlichen im gegebenen Fall vorliegenden Reibungskomponenten, wie beispielsweise die geschwindigkeitsunabhängige Haftreibung, die geschwindigkeitsunabhängige Gleitreibung bezie-
35 hungsweise die geschwindigkeitsabhängige viskose Reibung bestimmen. So ist die Haftreibung, welche nur bei Geschwindigkeit Null definiert ist, mittels der ermittelten Reibungs-

Geschwindigkeits-Funktion durch den Reibungswert einer beginnenden, vom Stillstand ausgehenden Bewegung gegeben. Dagegen ist die Gleitreibung nur für Geschwindigkeiten größer Null definiert .

5

Insbesondere gegenüber dem aus dem Stand der Technik bekannten Coulombschen Geschwindigkeits-Beobachter ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren eine wesentlich genauere Bestimmung der Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion . Dies liegt daran, dass der Coulombsche Geschwindigkeits-Beobachter die momentane Reibung schätzt und dieser zeitverzögert immer hinterherläuft. Dies benötigt immer wieder ein neues Einschwingen. Beim Coulombschen Geschwindigkeits-Beobachter wird die Periodizität der Bewegung nicht ausgenutzt, was bei der vorliegenden Erfindung allerdings getan wird. Damit ist es nämlich möglich, die Dauer des Einschwingens zu verkürzen, so dass beispielsweise mit Durchlaufen von nur zwei Perioden eine Ermittlung der Reibungskomponenten möglich ist. In der Praxis bedeutet dies, dass oft innerhalb von 30 Sekunden die Reibungskomponenten eines Antriebssystems bestimmt sind. Dazu müssen gegebenenfalls noch Massen und Trägheitsmomente bestimmt werden. Die kurze benötigte Zeit bietet viele Vorteile, so zum Beispiel, dass anhand des Verfahrens eine Zustandsüberwachung des Antriebssystems, insbesondere bei der Durchführung während Wartungsarbeiten, möglich ist. Sollte sich die gesamte Reibung oder einzelne Komponenten in bestimmter oder unerwarteter Art ändern, so können daraus Rückschlüsse auf eventuellen Verschleiß oder andere Zustandsdaten gezogen werden.

30

Ein weiterer Vorteil ist, dass das erfindungsgemäße Verfahren unabhängig von der Art des Reglers ist, welcher die gewünschte periodische Bewegung erzwingt. Zusätzlich ist es nicht notwendig, ein Reibmodell vorzugeben, da sich die Oszillatoren an die jeweils vorliegende Reibung anpassen. Dadurch, dass das Verfahren allgemein und auf das Wesentliche reduziert ist, ist das Verfahren zudem nicht streckenspezifisch, so dass es universell eingesetzt werden kann.

35

Selbstverständlich ist das erfindungsgemäße Verfahren nicht nur auf lineare Antriebssysteme anwendbar, sondern auch auf rotatorische Antriebssysteme. Anstatt der Antriebskraft beziehungsweise anstatt der Reibungskraft wird dazu ein Antriebsdrehmoment beziehungsweise ein Reibungsdrehmoment verwendet und anstatt der Gesamtmasse muss ein Gesamtmassenträgheitsmoment berücksichtigt werden. Weiterhin wird der Positionswert durch einen Winkelwert ersetzt und entsprechend die Geschwindigkeit beziehungsweise die Beschleunigung durch eine Winkelgeschwindigkeit beziehungsweise eine Winkelbeschleunigung .

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ermitteln die Oszillatoren die Ausgangswerte mittels jeweils mindestens zwei Integratoren und jeweils einer Rückführung. Integratoren sind in der Regelungstechnik auch als I-Glied bekannt. Dabei werden die Frequenz der periodischen Bewegung und gegebenenfalls die Positionswerte mittels der Rückführung den Oszillatoren zugeführt. Bei einer Ausführung mit zwei Integratoren ist hierfür der Ausgang des zweiten Integrators mit dem Eingang des ersten Integrators verbunden, wobei zusätzlich Eingabewerte in Form einer Frequenz zugeführt werden. Die Verwendung von zwei Integratoren erlaubt hinreichend genaue Präzision. Dennoch ist das Verfahren anhand der relativ simplen Anordnung leicht zu realisieren.

In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung sind die Ausgabewerte der Oszillatoren der zeitliche Verlauf der Beschleunigung der bewegten Gesamtmasse und umfasst der Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachter zur Ermittlung der Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion mindestens zwölf Oszillatoren mit jeweils unterschiedlichem, ungeradem Vielfachen der Frequenz. In der Praxis stellt sich heraus, dass schon zwölf Oszillatoren genügen, um die Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion hinreichend genau zu ermitteln, wenn die Ausgabewerte der Oszillatoren ein zeitlicher Verlauf der Beschleunigung der bewegten Gesamtmasse sind. Beispielsweise kann ein erster Oszilla-

tor die Grundschiwingung durchführen, deren Frequenz gleich der Frequenz der periodischen Bewegung ist. Die weiteren elf Oszillatoren können dann beispielsweise die ersten elf Oberschwingungen mit ungeradem Vielfachen der Frequenz durchführen, womit anhand der Überlagerung der Grund- und Oberschwin-
5 gungen der Oszillatoren der tatsächliche zeitliche Verlauf der Reibungskraft hinreichend genau ermittelt werden kann.

Die Anzahl der Oszillatoren kann auch weiter erhöht werden, falls die Präzision weiter verbessert werden muss. Dabei können die Oszillatoren durchaus auch Oberschwingungen mit geradem Vielfachen der Frequenz durchführen. Besonders gute Ergebnisse lassen sich beispielsweise mit 18 Oszillatoren erzielen .

15 In einer alternativen vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind Ausgabewerte der Oszillatoren der zeitliche Verlauf der gesamten Reibungskraft und umfasst der Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachter zur Ermittlung der Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion mindestens zwölf Oszillatoren mit jeweils unterschiedlichem, ungeradem Vielfachen der Frequenz. Wie sich herausstellt werden zumindest zwölf Oszillatoren benötigt, um
20 genügend gute Resultate für die Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion zu erhalten, falls die Ausgabewerte der zeitliche Verlauf der gesamten Reibungskraft sind.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfassen die Reibungskomponenten eine Gleitreibung und/oder eine viskose Reibung, wobei die Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion
30 für genügend große Geschwindigkeiten, bei denen keine Haftreibung auftritt, durch eine Geradengleichung charakterisiert wird und wobei die Geradengleichung mittels eines Optimierungsverfahrens ermittelt wird.

35 Wie durch die Stribeck-Kurve bekannt ist, tritt bei reibungsbehafteten Systemen ausgehend vom Stillstand zunächst Haftreibung und mit zunehmender Geschwindigkeit dann Grenzreibung und Mischreibung auf. Für genügend große Geschwindigkeiten

kann die Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion schließlich durch eine Geradengleichung beschrieben werden. Dabei charakterisiert die Steigung der Gerade die geschwindigkeitsabhängige viskose Reibung und der y-Achsenabschnitt der Gerade bestimmt die geschwindigkeitsunabhängige Gleitreibung. Da die einzelnen Punkte der Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion mit Störsignalen verrauscht sein können, wird die Geradengleichung mittels Optimierungsverfahren ermittelt. Beispielsweise können Methoden wie die Methode der kleinsten Quadrate, die Maximum-Likelihood-Methode, weitere Fit- und Regressionsmethoden oder dergleichen hierzu eingesetzt werden.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert. Es zeigen:

- FIG 1 ein Flussdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- FIG 2 ein Flussdiagramm einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens
- FIG 3 ein Flussdiagramm eines Oszillators,
- FIG 4 ein Flussdiagramm eines Streckenmodells, einer Umrechnung und zweier Oszillatoren,
- FIG 5 ein Flussdiagramm eines weiteren Streckenmodells und zweier Oszillatoren,
- FIG 6 zeigt eine beispielhafte Reibungskraft in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit,
- FIG 7 einen beispielhaften zeitlichen Verlauf der gesamten Reibungskraft und
- FIG 8 ein Blockschaltbild einer Ausführungsform der Maschine gemäß der vorliegenden Erfindung.

Figur 1 zeigt ein Flussdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Ein Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachter 9 umfasst Oszillatoren 11, wobei der Einfachheit halber nur ein Oszillator in der Figur 1 illustriert ist. Für brauchbare Ergebnisse werden für das Verfahren mehrere Oszillatoren 11 benötigt. Den Oszillatoren 11 wird ein Eingabewert

12 zugeführt und sie geben Ausgabewerte 13 aus. Als Eingabewert 12 wird eine Frequenz verwendet und eine Beschleunigung 14 steht als Ausgabewert 13 zur Verfügung. Der Ausgabewert 13 wird sowohl einem Streckenmodell 10 zugeführt, welches eine
5 Geschwindigkeit 7 ausgibt, als auch einer Umrechnung 15 zugeführt, welche unter Verwendung einer Gesamtmasse 3, einer von der Gesamtmasse 3 abhängenden Gesamtmassenkraft 16 und einer Antriebskraft 5 eine gesamte Reibungskraft 2 ausgibt. Die Geschwindigkeit 7 und die gesamte Reibungskraft 2 werden zu einer
10 Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion 8 kombiniert, aus der die Reibungskomponenten 19, 20, 21 bestimmt werden. Die Ergebnisse lassen sich nötigenfalls dadurch verbessern, dass die Anzahl der verwendeten Oszillatoren 11 erhöht wird. Für
in dieser und den weiteren Figuren nicht dargestellte Bezugs-
15 zeichen siehe die weiteren Figuren.

Figur 2 zeigt ein Flussdiagramm einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Ein Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachter 9 umfasst einen Oszillator 11, welcher
20 ehern ein Eingabewert 12 zugeführt wird und welcher Ausgabewerte 13 ausgibt. Als Eingabewert 12 wird eine Frequenz verwendet und eine gesamte Reibungskraft 2 steht als Ausgabewert 13 zur Verfügung. Der Ausgabewert 13 wird einem Streckenmodell 10 zugeführt, welches unter Berücksichtigung einer Gesamtmasse 3, einer Antriebskraft 5 und einer Gesamtmassenkraft 16 schließlich eine Geschwindigkeit 7 ausgibt. Die Geschwindigkeit 7 und die gesamte Reibungskraft 2 werden zu einer
25 Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion 8 kombiniert, aus der die Reibungskomponenten 19, 20, 21 bestimmt werden. Die Ergebnisse lassen sich nötigenfalls dadurch verbessern, dass die Anzahl der verwendeten Oszillatoren 11 erhöht wird.
30

Figur 3 zeigt ein Flussdiagramm eines Oszillators 11, welcher zwei Integratoren 17 umfasst. Dem Oszillator 11 wird ein Eingabewert 12 zugeführt und er gibt Ausgabewerte 13 aus. Bei
35 dem Oszillator 11 handelt es sich um eine Oszillatorschaltung, welche ein periodisches Signal mit der vorgegebenen Frequenz erzeugt. Dabei ist der Ausgang des zweiten Integra-

tors 17 mit dem Eingang des ersten Integrators 17 verbunden, welche eine Rückführung darstellt, wobei zusätzlich der Eingabewert 12 zugeführt wird. Damit eine periodische Bewegung einer bewegten Gesamtmasse 3 untersucht werden kann, muss zu-

5 mindestens eine Frequenz als Eingabewert 12 den Oszillatoren 11 zugeführt werden, wobei konkret der Faktor $(-2 \cdot \pi \cdot f)^2$ zugeführt wird und f die Frequenz und π die Kreiszahl ist. Der Oszillator 11 führt eine Grundschiwingung der periodischen Bewegung aus, falls ihm die Grundfrequenz der periodischen Bewegung

10 zugeführt wird und er führt eine n -te Oberschiwingung der periodischen Bewegung aus, falls ihm das $(n+1)$ -fache der Grundfrequenz zugeführt wird. Die periodische Bewegung lässt sich daher anhand mehrerer Oszillatoren 11 mit jeweils unterschiedlichem Vielfachen der Frequenz durch Ausführung einer

15 Fourier-Analyse nachbilden, wobei die Präzision mit zunehmender Anzahl von Oszillatoren 11 zunimmt. Hierzu sei auf Figur 7 verwiesen, in welcher ein zeitlicher Verlauf der gesamten Reibungskraft für ein sinusförmig bewegtes System dargestellt wird.

20 Figur 4 zeigt ein Flussdiagramm eines Streckenmodells 10, einer Umrechnung 15 und zweier vorgeschalteter Oszillatoren 11, welchen jeweils ein Eingabewert 12 zugeführt wird. Als Eingabewert 12 wird eine Frequenz verwendet und eine Beschleunigung 14 steht als Ausgabewert 13 zur Verfügung. Beispielsweise führt einer der beiden Oszillatoren 11 eine Grundschiwingung mit einer Frequenz aus, welche der Frequenz der periodischen Bewegung einer Gesamtmasse 3 entspricht, wobei der andere Oszillator 11 eine Oberschiwingung bezüglich der periodischen Bewegung ausführen kann. Die Anzahl der Oszillatoren

30 kann erhöht werden, beispielsweise um die Präzision des Verfahrens zu erhöhen.

Die Ausgabewerte 13 der beiden Oszillatoren 11 werden innerhalb des Streckenmodells 10 in eine Geschwindigkeit 7 der bewegten Gesamtmasse 3 umgerechnet. Beispielsweise verfügt das Streckenmodell 10 über einen Integrator, mittels welchem anhand der oben genannten zeitlichen Integration ausgehend von

35

der Beschleunigung 14 die Geschwindigkeit 7 der bewegten Gesamtmasse 3 berechnet werden kann. Das Streckenmodell 10 kann auch über zwei Integratoren verfügen, mittels welchen ausgehend von der Beschleunigung 14 die Position der bewegten Masse 3 berechnet wird und anschließend auf die Geschwindigkeit 7 zurückgeschlossen wird.

Gleichzeitig wird in einer Umrechnung 15, ausgehend von den Ausgabewerten 13 unter Berücksichtigung der Gesamtmasse 3, einer Antriebskraft 5 und einer Gesamtmassenkraft 16, eine gesamte Reibungskraft 2 ermittelt. Somit stehen schließlich sowohl die gesamte Reibungskraft 2 als auch die Geschwindigkeit 7 der bewegten Gesamtmasse zur Verfügung.

Figur 5 zeigt ein Flussdiagramm eines weiteren Streckenmodells 10 und zweier vorgeschalteter Oszillatoren 11, welchen jeweils ein Eingabewert 12 zugeführt wird. Als Eingabewert 12 wird eine Frequenz verwendet und die Ausgabewerte 13 stehen hier in Form einer gesamten Reibungskraft 2 zur Verfügung.

Die Ausgabewerte 13 der beiden Oszillatoren 11 werden unter Berücksichtigung einer Antriebskraft 5, einer Gesamtmassenkraft 16 sowie der Gesamtmasse 3 innerhalb des Streckenmodells 10 in eine Geschwindigkeit 7 der bewegten Gesamtmasse 3 umgerechnet. Somit stehen schließlich sowohl die gesamte Reibungskraft 2 als auch die Geschwindigkeit 7 der bewegten Gesamtmasse zur Verfügung.

Figur 6 zeigt eine beispielhafte Reibungskraft 2 in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit 7, wobei auf der y-Achse Kräfte und auf der x-Achse die Geschwindigkeit 7 jeweils in willkürlichen Einheiten aufgetragen sind. Die Reibungskraft 2 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit 7 bildet eine Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion 8, bekannt als Stribeck-Kurve. Diese beispielhafte Kurve kann bei einer reibungsbehafteten Bewegung einer bewegten Gesamtmasse 3 beobachtet werden, wobei die gesamte Reibungskraft 2 sich aus verschiedenen Reibungskomponenten zusammensetzt. Für betragsmäßig sehr kleine Ge-

schwindigkeiten 7, bei denen sich die bewegte Gesamtmasse 3 im Wesentlichen nicht bewegt, wird die Reibung durch eine vergleichsweise große Haftreibung 21 bestimmt. Sobald sich die bewegte Gesamtmasse 3 bewegt und der Bereich mit Grenz-
5 reibung und Mischreibung verlassen wurde, tritt nur noch eine geschwindigkeitsabhängige viskose Reibung 20 und eine geschwindigkeitsunabhängige Gleitreibung 19 auf.

Figur 7 zeigt einen beispielhaften zeitlichen Verlauf der gesamten Reibungskraft 2. Vor der Umkehrung des Vorzeichens der gesamten Reibungskraft 2 bewegt sich eine Gesamtmasse 3 in die eine Richtung, wird abgebremst und immer langsamer bis die Gesamtmasse ruht. Nach der Umkehrung des Vorzeichens der gesamten Reibungskraft 2 bewegt sich die Gesamtmasse 3 in die
15 entgegengesetzte Richtung. Bei der Umkehr der Bewegungsrichtung lässt sich eine besonders große gesamte Reibungskraft 2 beobachten, welche auf die Haftreibung 21 zurückgeht. Sobald sich die Gesamtmasse 3 bewegt und den Stribeck-Bereich verlassen hat, wird die gesamte Reibungskraft 2 durch eine geschwindigkeitsabhängige viskose Reibung 20 und eine geschwin-
20 digkeitsunabhängige Gleitreibung 19 charakterisiert.

Das erfindungsgemäße Verfahren hat zum Ziel, diese Reibungskomponenten 19, 20, 21 der gesamten Reibungskraft 2 zu ermitteln, wozu zunächst die gesamte Reibungskraft 2 möglichst genau erfasst werden muss. Eine mit dem erfindungsgemäßen Verfahren berechnete gesamte Reibungskraft 2 bildet die tatsächliche gesamte Reibungskraft 27, welche zum Vergleich eingetragen ist, relativ genau ab. Im Bereich der Spitzen der tatsächlichen gesamten Reibungskraft 27 weist die berechnete gesamte Reibungskraft 2 die größten Abweichungen auf. Dieser Bereich stellt eine Herausforderung dar, welcher mit einer genügenden Anzahl von Oszillatoren 11 begegnet werden kann. So wurde die berechnete gesamte Reibungskraft 2 anhand eines
35 Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachters 9 mit zwölf Oszillatoren 11 ermittelt, wobei einer der Oszillatoren 11 eine Grundschwingung der periodischen Bewegung und die weiteren Oszillatoren 11 jeweils unterschiedliche Oberschwingungen mit un-

geradem Vielfachen der Frequenz der periodischen Bewegung ausgeführt haben. Mit zunehmender Zahl der berücksichtigten Oberschwingungen können dabei die Spitzen der gesamten Reibungskraft 2 präziser nachgebildet werden.

5

Figur 8 zeigt ein Blockschaltbild einer Ausführungsform der Maschine gemäß der vorliegenden Erfindung. Eine Last 33 wird dabei mittels eines Zylinders 32 eines Hydrauliksystems bewegt, wobei sich eine bewegte Gesamtmasse 3 aus der Masse der Last 33 und gegebenenfalls aus der Masse von bewegten Teilen der Maschine zusammensetzt. Eine Steuerung 22 steuert die Bewegung und bestimmt Reibungskomponenten des Antriebssystems durch Ablauf eines Computerprogramms 18, welches auf einem Computerprogrammprodukt 26 gespeichert ist. Die Steuerung 22 gibt eine Stellgröße 30 an einen Steuerkolben 29 aus, welcher einen Volumenstrom 31 von Hydrauliköl in den Zylinder 32 bewirkt, der schließlich eine Antriebskraft 5 zur Bewegung der Last 33 erzeugt.

20 Zusammenfassend betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Bestimmen von Reibungskomponenten einer gesamten Reibungskraft eines Antriebssystems. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Steuerung und eine Maschine mit zumindest einem Antriebssystem. Schließlich betrifft die Erfindung ein Computerprogramm und ein Computerprogrammprodukt.

Um die im Stand der Technik bekannten Verfahren zum Bestimmen von Reibungskomponenten eines Antriebssystems zu verbessern, wird die Durchführung folgender Verfahrensschritte vorgeschlagen:

30

- Erzeugen einer periodischen Bewegung einer Gesamtmasse mit einer Frequenz mittels des Antriebssystems,
- Erfassen einer vom Antriebssystem zur Bewerkstelligung der periodischen Bewegung der Gesamtmasse aufgebrauchten Antriebskraft,
- 35 - Erfassen von Positionswerten der bewegten Gesamtmasse,
- Ermitteln der gesamten Reibungskraft und einer Geschwindigkeit der bewegten Gesamtmasse zur Ermittlung einer Rei-

bungs-Geschwindigkeits-Funktion mittels eines Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachters derart, dass

- der Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachter zumindest ein Streckenmodell und Oszillatoren umfasst,
- 5 - an die Oszillatoren jeweils zumindest die Frequenz als Eingabewert zugeführt wird,
- durch die Oszillatoren Ausgabewerte ausgegeben werden,
- wobei die Ausgabewerte ein zeitlicher Verlauf einer Beschleunigung der bewegten Gesamtmasse sind und die gesamte Reibungskraft mittels einer Umrechnung unter Verwendung der Gesamtmasse, einer von der Gesamtmasse abhängenden Gesamtmassenkraft und der Antriebskraft berechnet wird,

oder

- 15 wobei die Ausgabewerte ein zeitlicher Verlauf der gesamten Reibungskraft sind,
- die Geschwindigkeit mittels des Streckenmodells ermittelt wird,
- Bestimmen der Reibungskomponenten anhand der ermittelten
- 20 Reibungs- Geschwindigkeits-Funktion .

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Reibungskomponenten einer gesamten Reibungskraft (2) eines Antriebssystems mit folgenden
5 Verfahrensschritten:

- Erzeugen einer periodischen Bewegung einer Gesamtmasse (3) mit einer Frequenz mittels des Antriebssystems,
- Erfassen einer vom Antriebssystem zur Bewerkstelligung der periodischen Bewegung der Gesamtmasse (3) aufgebrachten Antriebskraft (5) ,
10
- Erfassen von Positionswerten (6) der bewegten Gesamtmasse (3) ,
- Ermitteln der gesamten Reibungskraft (2) und einer Geschwindigkeit (7) der bewegten Gesamtmasse (3) zur Ermittlung einer Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion (8) mittels
15 eines Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachters (9) derart, dass
 - der Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachter (9) zumindest ein Streckenmodell (10) und Oszillatoren (11) umfasst,
20
 - an die Oszillatoren (11) jeweils zumindest die Frequenz als Eingabewert (12) zugeführt wird,
 - durch die Oszillatoren (11) Ausgabewerte (13) ausgegeben werden,
 - wobei die Ausgabewerte (13) ein zeitlicher Verlauf einer Beschleunigung (14) der bewegten Gesamtmasse (3) sind und
25 die gesamte Reibungskraft (2) mittels einer Umrechnung (15) unter Verwendung der Gesamtmasse (3), einer von der Gesamtmasse (3) abhängenden Gesamtmassenkraft (16) und der Antriebskraft (5) berechnet wird,
- 30 oder
wobei die Ausgabewerte (13) ein zeitlicher Verlauf der gesamten Reibungskraft (2) sind,
 - die Geschwindigkeit (7) mittels des Streckenmodells (10) ermittelt wird,
- 35 - Bestimmen der Reibungskomponenten anhand der ermittelten Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion (8) .

2. Verfahren nach Anspruch 1 ,

wobei die Oszillatoren (11) die Ausgangswerte (13) mittels jeweils mindestens zwei Integratoren (17) und jeweils einer Rückführung ermitteln.

5 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
- wobei die Ausgabewerte (13) der zeitliche Verlauf der Beschleunigung (14) der bewegten Gesamtmasse (3) sind und
- wobei der Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachter (9) zur Ermittlung der Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion (8) mindestens zwölf Oszillatoren (11) mit jeweils unterschiedlichem,
10 ungeradem Vielfachen der Frequenz, umfasst.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
- wobei die Ausgabewerte (13) der zeitliche Verlauf der gesamten Reibungskraft (2) sind und
15 - wobei der Reibungs-Geschwindigkeits-Beobachter (9) zur Ermittlung der Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion (8) mindestens zwölf Oszillatoren (11) mit jeweils unterschiedlichem, ungeradem Vielfachen der Frequenz, umfasst.

20 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
- wobei die Reibungskomponenten eine Gleitreibung (19) und/oder eine viskose Reibung (20) umfassen und die Reibungs-Geschwindigkeits-Funktion (8) für genügend große Geschwindigkeiten (7), bei denen keine Haftreibung (21) auftritt, durch eine Geradengleichung charakterisiert werden kann,
25 - wobei die Geradengleichung mittels eines Optimierungsverfahrens ermittelt wird.

30 6. Steuerung (22) für eine Maschine mit zumindest einem Antriebssystem, welches eine Bewegung einer Gesamtmasse (3) ausführt,
wobei die Steuerung (22) Mittel zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 aufweist.
35

7. Maschine mit

- zumindest einem Antriebssystem, welches eine bewegliche Gesamtmasse (3) antreibt
- einer Steuerung (22), welche nach Anspruch 6 ausgebildet ist.

5

8. Computerprogramm (18) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 bei Ablauf in einer Steuerung (22) nach Anspruch 6.

- 10 9. Computerprogrammprodukt (26), auf dem ein Computerprogramm (18) nach Anspruch 8 gespeichert ist.

FIG 1

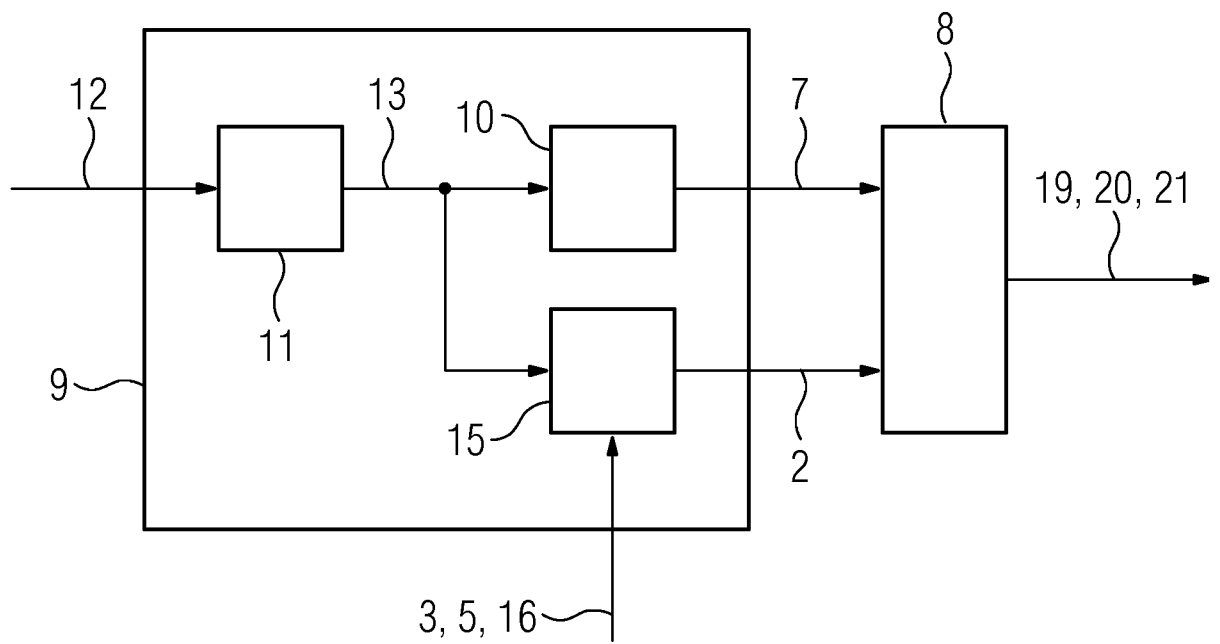


FIG 2

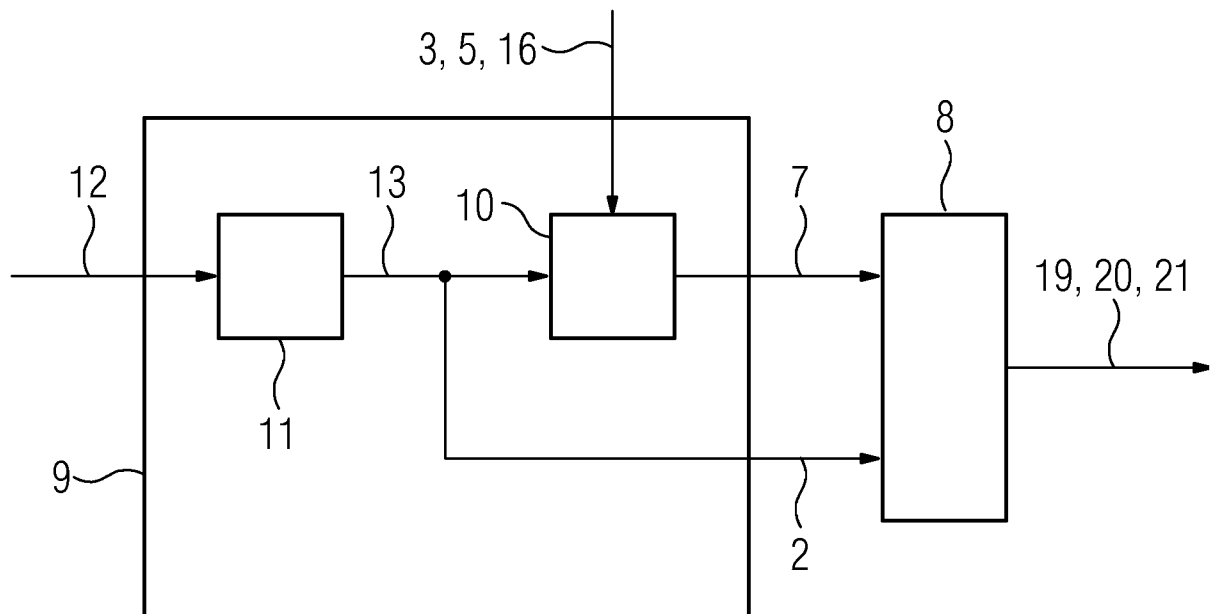


FIG 3

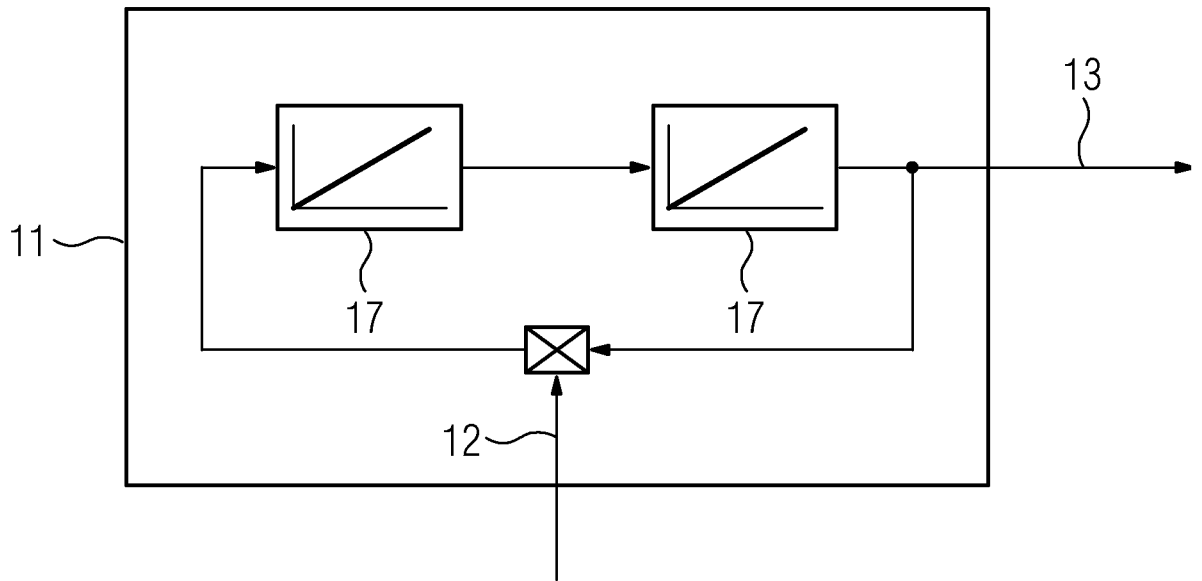


FIG 4

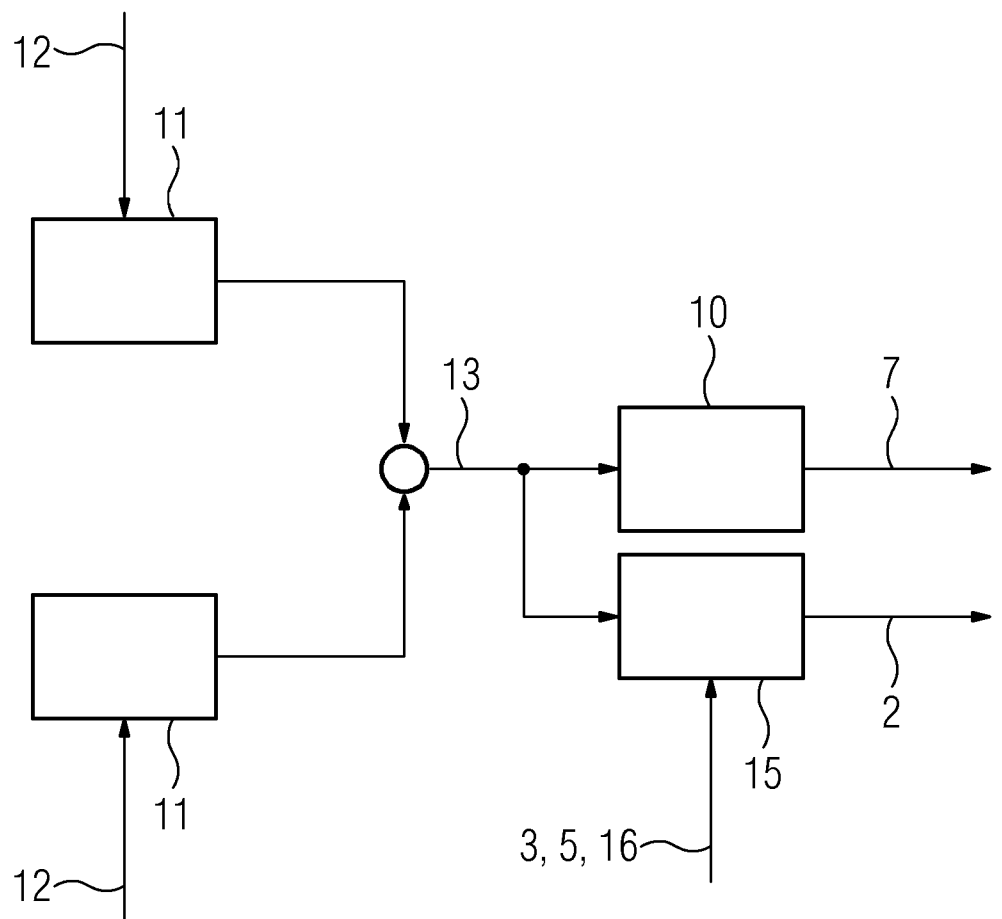


FIG 5

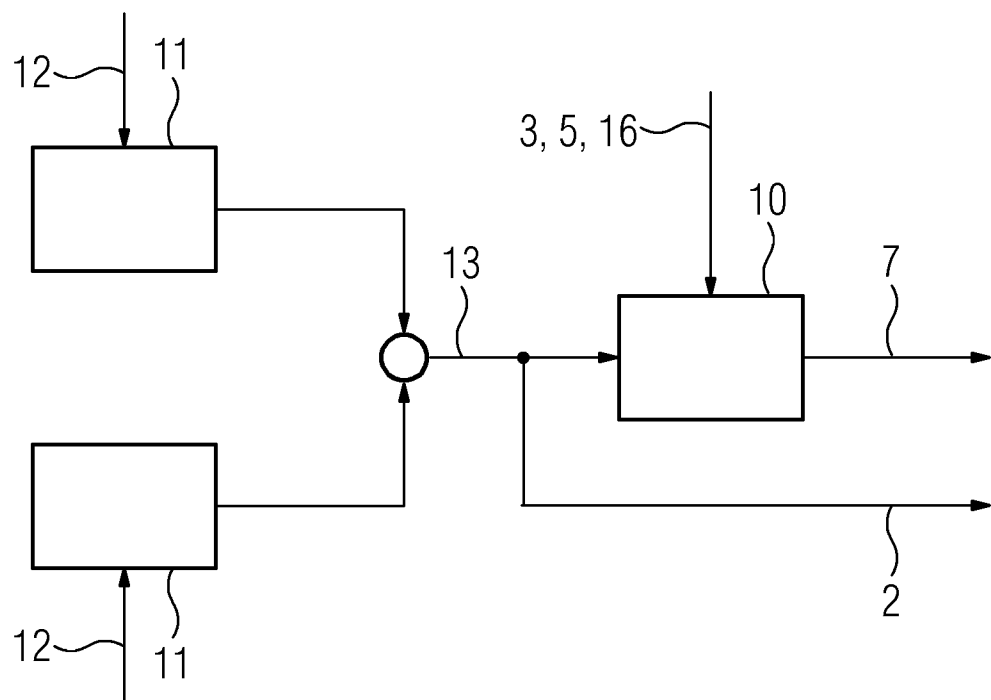


FIG 6

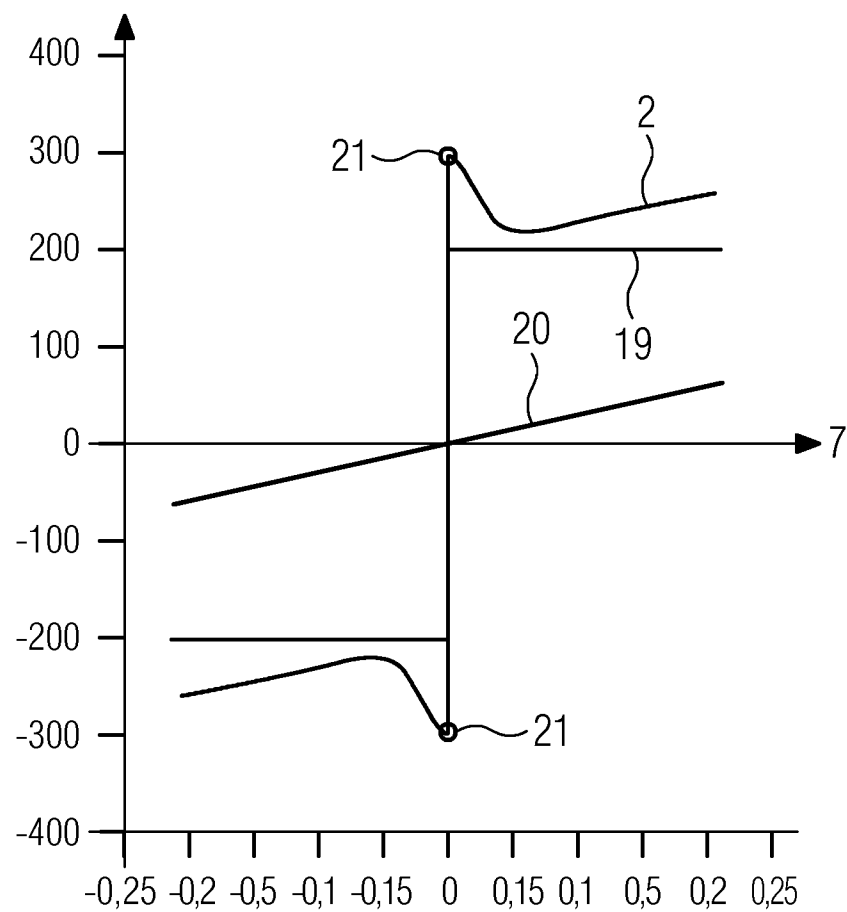


FIG 7

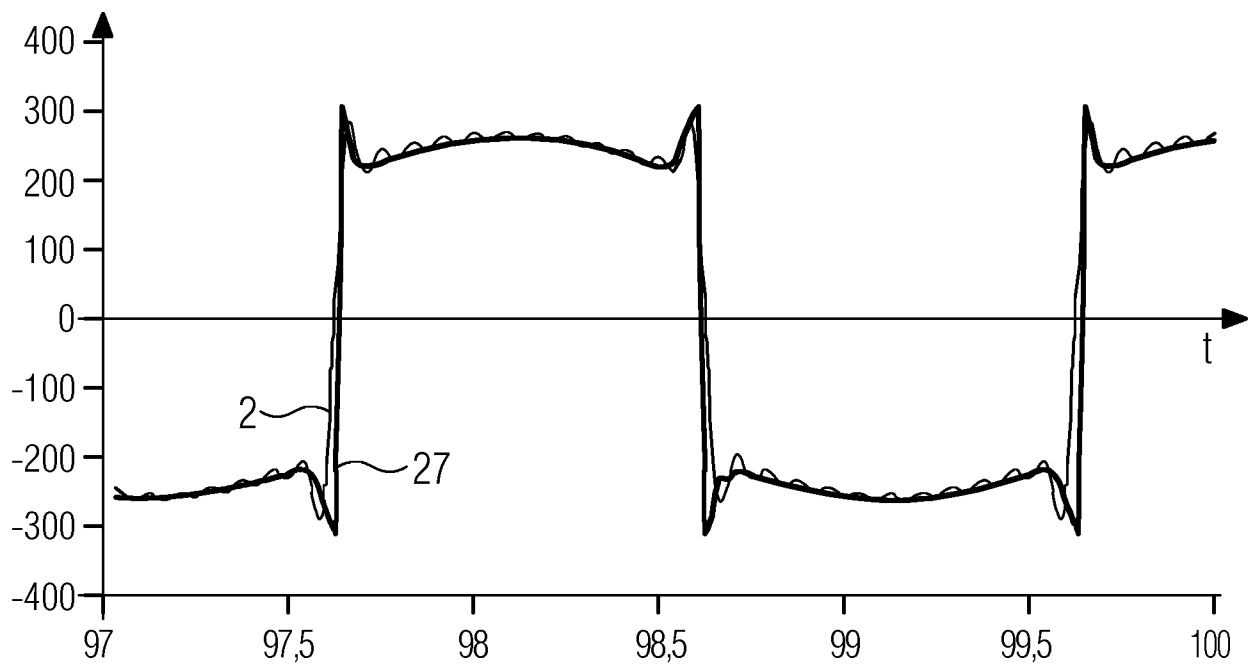
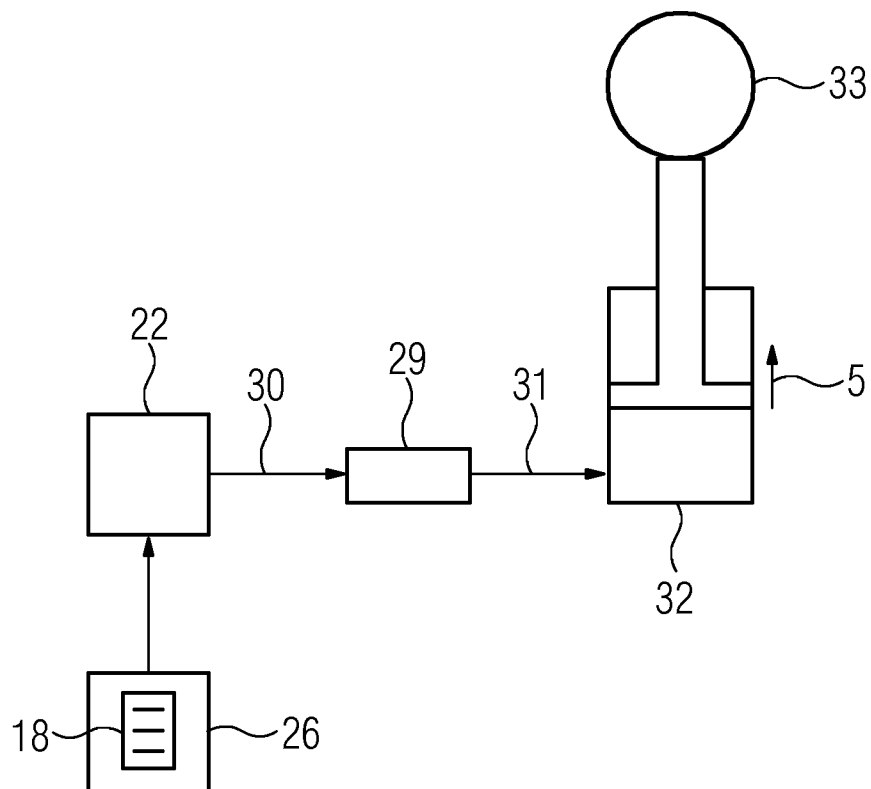


FIG 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2012/071988

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G05B13/04

ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national Classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (Classification System followed by Classification Symbols)

G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
A	wo 2011/083034 AI (BOSCH GMBH ROBERT [DE] ; SILBERBAUER MARTIN [AT] ; NEUBURGER ROBERT [AT]) 14 July 2011 (2011-07-14) the whole document -----	1,6-9
A	EP 1 818 744 AI (HEIDENHAIN GMBH DR JOHANNES [DE]) 15 August 2007 (2007-08-15) the whole document -----	1,6-9
A	US 2007/112466 AI (OHNISHI KOUHEI [JP] ET AL) 17 May 2007 (2007-05-17) the whole document -----	1,6-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general State of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

4 March 2013

Date of mailing of the international search report

11/03/2013

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Cîrîc, George

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/071988

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2011083034	AI	14-07-2011	CN 102686856 A 19-09-2012
			DE 102010000744 AI 14-07-2011
			EP 2521850 AI 14-11-2012
			US 2013018502 AI 17-01-2013
			WO 2011083034 AI 14-07-2011

EP 1818744	AI	15-08-2007	AT 422071 T 15-02-2009
			CN 101017367 A 15-08-2007
			DE 102006006162 AI 16-08-2007
			EP 1818744 AI 15-08-2007
			ES 2320371 T3 21-05-2009

US 2007112466	AI	17-05-2007	JP 4696307 B2 08-06-2011
			US 2007112466 AI 17-05-2007
			WO 2005109139 AI 17-11-2005

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/071988

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G05B13/04

ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G05B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	wo 2011/083034 AI (BOSCH GMBH ROBERT [DE] ; SILBERBAUER MARTIN [AT] ; NEUBURGER ROBERT [AT]) 14. Juli 2011 (2011-07-14) das ganze Dokument -----	1,6-9
A	EP 1 818 744 AI (HEIDENHAIN GMBH DR JOHANNES [DE]) 15. August 2007 (2007-08-15) das ganze Dokument -----	1,6-9
A	US 2007/112466 AI (OHNISHI KOUHEI [JP] ET AL) 17. Mai 2007 (2007-05-17) das ganze Dokument -----	1,6-9



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :	"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist	"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)	"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht	
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist	

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

4. März 2013

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/03/2013

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Cîrîc, George

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/071988

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2011083034 AI	14-07-2011	CN 102686856 A	19-09-2012
		DE 102010000744 AI	14-07-2011
		EP 2521850 AI	14-11-2012
		US 2013018502 AI	17-01-2013
		WO 2011083034 AI	14-07-2011

EP 1818744 AI	15-08-2007	AT 422071 T	15-02-2009
		CN 101017367 A	15-08-2007
		DE 102006006162 AI	16-08-2007
		EP 1818744 AI	15-08-2007
		ES 2320371 T3	21-05-2009

US 2007112466 AI	17-05-2007	JP 4696307 B2	08-06-2011
		US 2007112466 AI	17-05-2007
		WO 2005109139 AI	17-11-2005
