

(19)



(11)

EP 2 987 759 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
16.11.2016 Patentblatt 2016/46

(51) Int Cl.:
B66C 13/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14181264.4**

(22) Anmeldetag: **18.08.2014**

(54) **Kran mit definierter Pendelbewegung bei Erreichen eines Zielorts**

Crane with defined oscillating motion when a destination is reached

Grue ayant un mouvement oscillant défini pour atteindre un emplacement cible

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.02.2016 Patentblatt 2016/08

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft 80333 München (DE)**

(72) Erfinder:
• **Hamm, Carsten 91058 Erlangen (DE)**
• **Köpken, Hans-Georg 91056 Erlangen (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1-102007 041 692 US-A- 3 921 818
US-A- 5 490 601 US-A1- 2012 234 787

EP 2 987 759 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung geht aus von einem Verfahren zum Verfahren einer Last mittels eines Krans, wobei die Last über ein Seilsystem des Krans an einem Lastaufhängepunkt des Krans aufgehängt ist,

- wobei eine Steuereinrichtung des Krans durch Ansteuern eines Antriebs den Lastaufhängepunkt zu einem Zielort verfährt,
- wobei die Steuereinrichtung während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts durch Ansteuern eines Hubwerks eine Seillänge des Seilsystems einstellt.

[0002] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Computerprogramm, wobei das Computerprogramm Maschinencode umfasst, der von einer Steuereinrichtung für einen Kran abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung den Kran gemäß einem derartigen Verfahren betreibt.

[0003] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Steuereinrichtung für einen Kran, wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen Computerprogramm programmiert ist.

[0004] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Kran,

- wobei der Kran einen Lastaufhängepunkt aufweist, an dem über ein Seilsystem des Krans eine Last aufgehängt ist,
- wobei der Kran mindestens einen Antrieb aufweist, mittels dessen der Lastaufhängepunkt in einer Verfahrrichtung verfahrbar ist,
- wobei der Kran ein Hubwerk aufweist, mittels dessen eine Seillänge des Seilsystems einstellbar ist,
- wobei der Kran eine derartige Steuereinrichtung aufweist.

[0005] Die genannten Gegenstände sind allgemein bekannt.

[0006] Zum Umschlagen von Lasten - beispielsweise zwischen zwei der Komponenten Schiff, Lastkraftwagen, Eisenbahnwaggon, Container- oder sonstiges Lager usw. werden oftmals Krane eingesetzt.

[0007] Krane weisen oftmals einen im Wesentlichen horizontal orientierten Ausleger auf, auf dem eine Laufkatze linear verfahrbar ist. Die Laufkatze entspricht in diesem Fall dem Lastaufhängepunkt der vorliegenden Erfindung. Es kann ferner oftmals der Kran als Ganzes ebenfalls verfahrbar sein. Die Verfahrrichtung des Kranes als Ganzes verläuft in diesem Fall in der Regel ebenfalls horizontal, jedoch orthogonal zur Verfahrrichtung der Laufkatze. Derartige Krane können insbesondere als Containerbrücken ausgebildet sein.

[0008] Beim Umschlagen der Last treten oftmals Pendelbewegungen der Last auf, deren (vertikale) Pendelebene parallel zur Verfahrrichtung der Laufkatze verläuft. Im Stand der Technik ist bekannt, die Auslenkung der Last (Pendelwinkel) beispielsweise mittels eines Kamerasystems zu erfassen und durch eine geeignete Bewegung des Lastaufhängepunkts (= Laufkatze) dämpfend zu beeinflussen. Eine derartige Vorgehensweise ist eine echte Regelung, welche sowohl Schwingungen aufgrund aktiver Verfahrbewegungen des Krans oder der Laufkatze und als auch Schwingungen aufgrund von einer äußeren Anregung wie beispielsweise Wind dämpft. Sie ist im Stand der Technik als sogenannte sway control bekannt.

[0009] Im Stand der Technik ist weiterhin bekannt, durch eine geeignete Profilgebung von Führungsgrößen insbesondere der Laufkatze die Anregung von Pendelbewegungen zu vermeiden bzw. zumindest zu minimieren. Diese Vorgehensweise ist im Stand der Technik als sogenanntes input shaping bekannt. Eine derartige Vorgehensweise ist eine Steuerung, mittels derer Schwingungen aufgrund aktiver Verfahrbewegungen der Laufkatze gedämpft werden können, nicht aber Schwingungen aufgrund von äußeren Anregungen.

[0010] Eine Pendelbewegung der Last wirkt sich insbesondere dann negativ aus, wenn die Last am Zielort, an dem die Last abgesetzt werden soll, noch pendelt. Denn in diesem Fall muss oftmals abgewartet werden, bis die Pendelbewegung abgeklungen ist. Alternativ muss die Pendelbewegung beispielsweise durch manuelles Eingreifen des Kranführers im Handsteuerbetrieb gedämpft werden. Beides benötigt Zeit und wirkt sich daher negativ auf die Umschlagleistung aus.

[0011] Aus der US 2012/0 234 787 A1 ist ein spezielles Verfahren des Input shaping bekannt. Bei diesem Verfahren wird in Abhängigkeit von der Seillänge und deren Änderung in Verbindung mit einem Auslenkwinkel einer Pendelbewegung der Last und den zeitlichen Ableitungen der Pendelbewegung ein Beschleunigungsverlauf während einer Beschleunigungs- oder Verzögerungsphase ermittelt. Die Ermittlung erfolgt derart, dass am Ende der jeweiligen Beschleunigungs- oder Verzögerungsphase der Auslenkwinkel der Pendelbewegung zu null wird. Bei diesem Verfahren wird implizit vorausgesetzt, dass zu Beginn der jeweiligen Beschleunigungs- oder Verzögerungsphase die Last noch keine Pendelbewegung relativ zum Lastaufhängepunkt ausführt. Bei der US 2012/0 234 787 A1 wird somit insbesondere vorausgesetzt, dass die Last während der Phasen, während derer der Lastaufhängepunkt steht oder mit konstanter Geschwindigkeit bewegt wird, nicht pendelt.

[0012] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer auf zeitoptimale Weise ein Umschlagen von Lasten möglich ist.

[0013] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 10.

5 **[0014]** Erfindungsgemäß wird ein Verfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet,

- dass der Steuereinrichtung eine anfängliche Seillänge, eine am Zielort zu erreichende Ziel-Seillänge sowie ein anfänglicher Auslenkwinkel einer Pendelbewegung, welche die Last während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts zum Zielort in einer den Lastaufhängepunkt enthaltenden vertikalen Ebene um den Lastaufhängepunkt ausführt, und/oder eine anfängliche Ableitung des Auslenkwinkels der Pendelbewegung gegeben sind und
- dass die Steuereinrichtung bei gegebenem zeitlichem Verlauf der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts einen zeitlichen Verlauf der Seillänge derart ermittelt und einstellt, dass am Zielort ein Auslenkwinkel der Pendelbewegung und/oder eine zeitliche Ableitung des Auslenkwinkels der Pendelbewegung einen definierten Endwert annehmen.

15 **[0015]** Erfindungsgemäß wird also weder die Anregung einer Pendelbewegung unterdrückt noch während des Verfahrens der Last zu ihrem Zielort eine angeregte Pendelbewegung gedämpft. Stattdessen wird dafür gesorgt, dass die Last ihren Zielort mit einem definierten Pendelzustand (= definierter Endwert des Auslenkwinkels und/oder der zeitlichen Ableitung des Auslenkwinkels) erreicht.

20 **[0016]** Der definierte Pendelzustand kann nach Bedarf bestimmt sein. In der Regel ist der definierte Endwert des Auslenkwinkels der Pendelbewegung Null. Alternativ oder zusätzlich ist in der Regel der definierte Endwert der zeitlichen Ableitung des Auslenkwinkels der Pendelbewegung Null oder maximal.

25 **[0017]** Beim Verfahren des Lastaufhängepunkts wird in der Regel, ausgehend von einem Anfangsort, der Lastaufhängepunkt mit einer definierten (meist der maximal möglichen) Beschleunigung beschleunigt, bis der Lastaufhängepunkt eine definierte (meist die maximal mögliche) Geschwindigkeit erreicht. Zu Beginn des Beschleunigungsvorgangs ruht die Last, pendelt also nicht. Das Abbremsen des Lastaufhängepunkts am Zielort erfolgt auf inverse Weise. Insbesondere in dem Fall, dass sowohl der definierte Endwert des Auslenkwinkels als auch der definierte Endwert der zeitlichen Ableitung des Auslenkwinkels Null sind, wird daher in diesem Fall dafür gesorgt, dass der Pendelzustand der Last zu Beginn des Abbremsens invers zu demjenigen Pendelzustand ist, den die Last am Ende des Beschleunigungsvorgangs erreicht hat. Dies ist ohne weiteres möglich, da der Zeitpunkt, zu dem mit dem Abbremsen begonnen wird, ohne weiteres

30 vorher berechnet werden kann und weiterhin durch Variieren der Seillänge während des Verfahrens zu einem Grenzort, an dem mit dem Bremsvorgang begonnen wird, die Phasenlage der Pendelbewegung eingestellt werden kann.

[0018] Eine mögliche Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung besteht darin,

- dass der Steuereinrichtung zusätzlich eine Seilgeschwindigkeit, mit der die Seillänge vor dem Zielort erhöht werden soll, gegeben ist,
- dass die Steuereinrichtung anhand des zeitlichen Verlaufs der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts, der anfänglichen Seillänge, der Ziel-Seillänge und der Seilgeschwindigkeit einen Grenzort bestimmt,
- dass die Steuereinrichtung ab dem Erreichen des Grenzorts die Seillänge mit der Seilgeschwindigkeit auf die Ziel-Seillänge erhöht,
- dass die Steuereinrichtung anhand des zeitlichen Verlaufs der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts vom Grenzort zum Zielpunkt, der Seilgeschwindigkeit, der Ziel-Seillänge und des definierten Endwerts des Auslenkwinkels und/oder des definierten Endwerts der zeitlichen Ableitung des Auslenkwinkels für den Grenzort einen Zwischenwert des Auslenkwinkels und/oder der zeitlichen Ableitung des Auslenkwinkels ermittelt und
- dass die Steuereinrichtung anhand des zeitlichen Verlaufs der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts bis zum Grenzort, der anfänglichen Seillänge, des anfänglichen Auslenkwinkels der Pendelbewegung und/oder der anfänglichen Ableitung des Auslenkwinkels der Pendelbewegung den zeitlichen Verlauf der Seillänge bis zum Erreichen des Grenzorts derart bestimmt, dass am Grenzort der Auslenkwinkel der Pendelbewegung und/oder die zeitliche Ableitung des Auslenkwinkels der Pendelbewegung den ermittelten Zwischenwert annehmen.

50 **[0019]** Eine alternative Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung besteht darin,

- dass die Steuereinrichtung anhand des zeitlichen Verlaufs der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts, der anfänglichen Seillänge, der Ziel-Seillänge, des anfänglichen Auslenkwinkels der Pendelbewegung und/oder der anfänglichen zeitlichen Ableitung des Auslenkwinkels der Pendelbewegung einen Grenzort ermittelt,
- dass die Steuereinrichtung ab dem Grenzort die Seillänge entweder mit einer mittleren Seilgeschwindigkeit oder mit einer um die mittlere Seilgeschwindigkeit oszillierenden Seilgeschwindigkeit erhöht,
- dass die mittlere Seilgeschwindigkeit durch die Differenz der Ziel-Seillänge und der anfänglichen Seillänge, dividiert durch die zum Verfahren des Lastaufhängepunkts vom Grenzort zum Zielort benötigte Zeit, gegeben ist und

- dass die Steuereinrichtung den Grenzort derart ermittelt, dass am Zielort der Auslenkwinkel der Pendelbewegung und/oder die zeitliche Ableitung des Auslenkwinkels der Pendelbewegung den definierten Endwert annehmen.

[0020] Wie bereits erwähnt, hängt die Last oftmals zunächst an einem Anfangsort der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts ohne Pendeln unter dem Lastaufhängepunkt, wobei weiterhin die Steuereinrichtung den Lastaufhängepunkt durch Ansteuern des Antriebs ausgehend vom Anfangsort mit einer vorbestimmten Beschleunigung auf den Zielort zu beschleunigt, bis der Lastaufhängepunkt mit einer vorbestimmten Geschwindigkeit verfahren wird, und die Steuereinrichtung sodann die Beschleunigung auf Null reduziert. In diesem Fall ist es insbesondere möglich, dass die Steuereinrichtung den anfänglichen Auslenkwinkel der Pendelbewegung und/oder die anfängliche Ableitung des Auslenkwinkels der Pendelbewegung anhand der vorbestimmten Beschleunigung und der vorbestimmten Geschwindigkeit sowie der Seillänge während der Beschleunigung ermittelt.

[0021] Es ist möglich, dass die Steuereinrichtung während des Beschleunigens des Lastaufhängepunkts durch Ansteuern des Hubwerks die Seillänge auf die anfängliche Seillänge reduziert in diesem Fall berücksichtigt die Steuereinrichtung die Reduzierung der Seillänge bei der Ermittlung des anfänglichen Auslenkwinkels der Pendelbewegung und/oder der anfänglichen Ableitung des Auslenkwinkels der Pendelbewegung.

[0022] Es ist möglich, das erfindungsgemäße Verfahren rein gesteuert auszuführen. Vorzugsweise jedoch ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts kontinuierlich den Auslenkwinkel der Pendelbewegung und/oder die zeitliche Ableitung des Auslenkwinkels der Pendelbewegung erfasst und den zeitlichen Verlauf der Seillänge kontinuierlich bestimmt.

[0023] In der Regel ist der Lastaufhängepunkt auf einem Ausleger des Krans mittels einer Laufkatze in einer Verfahrrichtung verfahrbar. Die vertikale Ebene, auf welche die Pendelbewegung der Last bezogen ist, kann daher insbesondere parallel zur Verfahrrichtung verlaufen. Falls es zusätzlich zum Verfahren der Laufkatze in Verfahrrichtung möglich ist, den Kran als Ganzes orthogonal zur Verfahrrichtung der Laufkatze zu verfahren, kann alternativ die vertikale Ebene, auf welche die Pendelbewegung der Last bezogen ist, orthogonal zur Verfahrrichtung verlaufen.

[0024] Es ist möglich, dass der zeitliche Verlauf der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts geändert wird. In diesem Fall bestimmt die Steuereinrichtung den zeitlichen Verlauf der Seillänge unter Berücksichtigung der geänderten Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts neu.

[0025] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Computerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Computerprogramms, dass die Steuereinrichtung den Kran gemäß einem erfindungsgemäßen Verfahren betreibt.

[0026] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung für einen Kran mit den Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Computerprogramm programmiert.

[0027] Die Aufgabe wird weiterhin durch einen Kran mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung des Krans erfindungsgemäß ausgebildet.

[0028] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die in Verbindung mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Hierbei zeigen in schematischer Darstellung:

- FIG 1 einen Kran von der Seite,
- FIG 2 den Kran von FIG 1 von vorne,
- FIG 3 den Kran der FIG 1 und 2 schematisch von der Seite,
- FIG 4 eine Steuereinrichtung,
- FIG 5 eine weitere Steuereinrichtung und
- FIG 6 bis 10 Beispiele von Verfahrbewegungen einer Last.

[0029] Gemäß den FIG 1 und 2 weist ein Kran 1 einen Lastaufhängepunkt 2 auf. Der Lastaufhängepunkt 2 kann beispielsweise entsprechend der Darstellung in den FIG 1 und 2 an einer Laufkatze 3 angeordnet sein, die auf einem Ausleger 4 des Krans 1 in einer Verfahrrichtung verfahrbar ist. Das Verfahren der Laufkatze 3 erfolgt mittels eines Katzantriebs 3'. Ausgehend vom Lastaufhängepunkt 2 verläuft ein Seilsystem 5 zu einer Last 6. Die Last 6 ist über das Seilsystem 5 am Lastaufhängepunkt 2 aufgehängt. Durch Einstellen einer Seillänge L des Seilsystems 5 kann die Last 6 angehoben und abgesenkt werden. Das Einstellen der Seillänge L erfolgt mittels eines Hubwerks 5'. In vielen Fällen ist weiterhin der Kran 1 als Ganzes orthogonal zur Verfahrrichtung der Laufkatze 3 verfahrbar.

[0030] Das Verfahren des Krans 1 als Ganzes erfolgt mittels eines Kranantriebs 1'.

[0031] Der Kran 1 wird von einer Steuereinrichtung 7 gesteuert. Die Steuereinrichtung 7 ist in der Regel als softwareprogrammierbare Steuereinrichtung ausgebildet. Die Ausbildung der Steuereinrichtung 7 wird in diesem Fall durch ein Computerprogramm 8 bewirkt, mit dem die Steuereinrichtung 7 programmiert ist. Das Computerprogramm 8 umfasst Maschinencode 9, der von der Steuereinrichtung 7 abarbeitbar ist. Die Abarbeitung des Maschinencodes 9 durch die

Steuereinrichtung 7 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 7 den Kran 1 betreibt.

[0032] Die Abarbeitung des Maschinencodes 9 durch die Steuereinrichtung 7 bewirkt zunächst den normalen Umschlag der Last 6 bzw. den normalen Betrieb des Krans 1, wie im Stand der Technik auch. Weiterhin bewirkt die Abarbeitung des Maschinencodes 9 durch die Steuereinrichtung 7 jedoch zusätzlich, dass die Steuereinrichtung 7 den Kran 1 während des Umschlagens der Last 6 gemäß einem Verfahren zur Beeinflussung einer Pendelbewegung der Last 6 betreibt, das nachstehend näher erläutert wird.

[0033] Das Computerprogramm 8 kann der Steuereinrichtung 7 auf beliebige Weise zugeführt werden. Gemäß der Darstellung in den FIG 1 und 2 erfolgt die Zuführung des Computerprogramms 8 über einen Datenträger 10, auf dem das Computerprogramm 8 in maschinenlesbarer Form - beispielsweise in elektronischer Form - hinterlegt ist. Der Datenträger 10 kann entsprechend der Darstellung in den FIG 1 und 2 beispielsweise als USB-Memorystick ausgebildet sein. Es sind jedoch ebenso andere Ausgestaltungen möglich.

[0034] Bevor auf die vorliegende Erfindung als solche näher eingegangen wird, werden nachstehend zunächst in Verbindung mit FIG 3 die physikalischen Grundlagen näher erläutert. Hierbei wird, soweit es die Bewegung des Lastaufhängepunkts 2 betrifft, der Fall betrachtet, dass die Laufkatze 3 in ihrer Verfahrrichtung verfahren wird und der Kran 1 als Ganzes in seiner Verfahrrichtung nicht verfahren wird. Die entsprechenden Ausführungen sind jedoch in analoger Weise auch auf ein Verfahren des Krans 1 als Ganzes in seiner Verfahrrichtung übertragbar.

[0035] Zur näheren Erläuterung wird zunächst ein Koordinatensystem eingeführt, wobei die Richtung x mit der Verfahrrichtung der Laufkatze 3 übereinstimmt und die Richtung z die Vertikalrichtung ist.

[0036] Wenn in diesem Fall die Verfahrbewegung der Laufkatze 3 - bzw. allgemein die Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts 2 - mit $xK(t)$ gegeben ist und weiterhin die Seillänge L als Funktion der Zeit t durch die Beziehung $L(t)$ gegeben ist und weiterhin mit m die Masse der Last 6 und mit g die Endbeschleunigung bezeichnet sind, so gelten im Falle einer Pendelbewegung der Last 6 um den Lastaufhängepunkt 2 für die Koordinaten x, z der Last 6 die Beziehungen

$$x = xK - L \sin \varphi \quad (1)$$

$$\dot{x} = \dot{x}K - L \sin \varphi - L \dot{\varphi} \cos \varphi \quad (2)$$

$$z = L \cos \varphi \quad (3)$$

$$\dot{z} = L \dot{\varphi} \sin \varphi - L \cos \varphi \quad (4)$$

[0037] φ bezeichnet den Auslenkwinkel der Last 6 aus einer vertikalen Ebene 11, die den Lastaufhängepunkt 2 enthält und innerhalb derer die Last 6 pendelt. Die vertikale Ebene 11 verläuft im skizzierten Fall, in dem die Laufkatze 3 verfahren wird, parallel zur Verfahrrichtung der Laufkatze 3. Diese Ebene ist in FIG 2 gestrichelt eingezeichnet. Alternativ könnte die vertikale Ebene 11 orthogonal zu der Verfahrrichtung der Laufkatze 3 verlaufen. Diese Ebene ist in FIG 1 gestrichelt eingezeichnet.

[0038] Diese Gleichungen lassen sich unter Berücksichtigung des Lagrange-Funktionalis F

$$F = \frac{m}{2} \left(\dot{L}^2 + L^2 \dot{\varphi}^2 + \dot{x}K^2 - 2\dot{L}\dot{x} \sin \varphi - 2L\dot{x}K\dot{\varphi} \cos \varphi \right) + mgL \cos \varphi \quad (5)$$

und der Lagrange-Gleichung

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial F}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial F}{\partial \varphi} = 0 \quad (6)$$

zu einer einzelnen Differenzialgleichung zusammenfassen, welche die Pendelbewegung der Last 6 beschreibt. Diese Gleichung - nachfolgend auch als Bewegungsgleichung bezeichnet - lautet exakt

$$L\ddot{\varphi} - \ddot{x}K \cos \varphi + g \sin \varphi + 2\dot{L}\dot{\varphi} = 0 \quad (7)$$

[0039] Für kleine Winkel φ kann diese Gleichung durch die Beziehung

$$L\ddot{\varphi} - \ddot{x}K + g\varphi + 2\dot{L}\dot{\varphi} = 0 \quad (8)$$

angenähert werden.

[0040] Anhand der Gleichungen 7 und 8 erkennt man zunächst den charakteristischen Eigenwert der Pendelschwingung, also die Pendelfrequenz f . Denn ohne äußere Anregung, d.h. bei unbeschleunigter Bewegung des Lastaufhängepunkts 2 und unveränderter Seillänge L , vereinfacht sich beispielsweise die Gleichung 7 zu

$$L\ddot{\varphi} + g \sin \varphi = 0 \quad (9)$$

[0041] Für die Pendelfrequenz f gilt daher die Beziehung

$$(2\pi f)^2 = g/L \quad (10)$$

[0042] Weiterhin erkennt man die prinzipiellen Möglichkeiten, die Pendelschwingung der Last 6 zu beeinflussen, nämlich durch eine Beschleunigung der Laufkatze 3 bzw. allgemein des Lastaufhängepunkts 2 und durch Einstellen der Seillänge L zu Zeiten, zu denen die Last 6 nicht ruht, die erste zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Pendelwinkels φ also einen von Null verschiedenen Wert aufweist.

[0043] Unabhängig davon, welche Vorgehensweise zur Beeinflussung der Pendelbewegung im Stand der Technik ergriffen wird, besteht das Ziel der Vorgehensweisen des Standes der Technik stets darin, Pendelbewegungen zu unterdrücken bzw. zu dämpfen. Vorliegend wurde jedoch erkannt, dass es auf die Pendelbewegung während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts 2 nicht ankommt. Die Last 6 kann also während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts 2 durchaus pendeln. Entscheidend ist lediglich, dass an einem Zielort, zu dem die Steuereinrichtung 7 den Lastaufhängepunkt 2 und damit auch (soweit es die horizontale Lage betrifft) die Last 6 verfährt, die Pendelbewegung wieder zum Stillstand kommt.

[0044] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung verfährt also - wie im Stand der Technik auch - die Steuereinrichtung 7 durch Ansteuern des Katzantriebs 3' die Laufkatze 3 zu einem Zielort. Während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts 2 stellt die Steuereinrichtung 7 - wie im Stand der Technik auch - durch Ansteuern des Hubwerks 5' die Seillänge L des Seilsystems 5 ein. Im Einzelfall kann dies bedeuten, dass die Steuereinrichtung 7 die einmal eingestellte Seillänge L beibehält. In der Regel wird die Seillänge L von der Steuereinrichtung 7 jedoch während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts 2 variiert. Neuartig und Kern der Erfindung ist jedoch die Art und Weise, auf welche das Verfahren der Laufkatze 3 und das Einstellen der Seillänge L aufeinander abgestimmt werden.

[0045] Im Rahmen des Verfahrens sind der Steuereinrichtung 7 gemäß den FIG 4 und 5 eine anfängliche Seillänge L_0 , eine am Zielort zu erreichende Ziel-Seillänge L_1 sowie ein anfänglicher Auslenkwinkel φ_0 der Pendelbewegung der Last 6 und/oder eine anfängliche Ableitung $\dot{\varphi}_0$ des Auslenkwinkels φ der Pendelbewegung gegeben. Die anfänglichen Werte φ_0 und $\dot{\varphi}_0$ können als absolute Werte gegeben sein. In der Regel sind sie als relative Größen, also bezogen auf Amplituden, gegeben.

[0046] Weiterhin ist der Steuereinrichtung 7 gemäß den FIG 4 und 5 ein Endwert φ_1 bekannt, welchen der Auslenkwinkel φ am Zielort annehmen soll. Alternativ oder zusätzlich - in der Regel zusätzlich - ist der Steuereinrichtung 7 ein Endwert $\dot{\varphi}_1$ bekannt, welchen die zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ am Zielort annehmen soll. Die Endwerte φ_1 , $\dot{\varphi}_1$ können der Steuereinrichtung 7 beispielsweise aufgrund des Computerprogramms 8 als solche bekannt sein. Alternativ können die Endwerte φ_1 , $\dot{\varphi}_1$ der Steuereinrichtung 7 beispielsweise von einem Benutzer 12 des Krans 1 (siehe FIG 1 und 2) vorgegeben werden. Die Endwerte φ_1 und $\dot{\varphi}_1$ können als absolute Werte gegeben sein. In der Regel sind sie analog zu den anfänglichen Werten φ_0 und $\dot{\varphi}_0$ als relative Größen, also bezogen auf Amplituden, gegeben.

[0047] Bei der erfindungsgemäßen Ausgestaltung gemäß FIG 4 ist der Steuereinrichtung 7 weiterhin der zeitliche Verlauf der Verfahrbewegung xK des Lastaufhängepunkts 2 vorgegeben. In diesem Fall ermittelt die Steuereinrichtung 7 den zeitlichen Verlauf der Seillänge L derart, dass am Zielort der Auslenkwinkel φ der Pendelbewegung den definierten Endwert φ_1 annimmt und/oder die zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ den definierten Endwert $\dot{\varphi}_1$ annimmt. Die Steuereinrichtung 7 stellt in diesem Fall während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts 2 die Seillänge L entsprechend dem ermittelten zeitlichen Verlauf der Seillänge L ein.

[0048] Bei der Ausgestaltung gemäß FIG 5 ist der Steuereinrichtung 7 der zeitliche Verlauf der Verfahrbewegung xK des Lastaufhängepunkts 2 nicht vorgegeben. Auch in diesem Fall ermittelt die Steuereinrichtung 7 den zeitlichen Verlauf

der Seillänge L . Zusätzlich ermittelt die Steuereinrichtung 7 jedoch auch den zeitlichen Verlauf der Verfahrbewegung x_K des Lastaufhängepunkts 2. Die Steuereinrichtung 7 stimmt die beiden zeitlichen Verläufe derart aufeinander ab, dass am Zielort der Auslenkwinkel φ der Pendelbewegung den definierten Endwert φ_1 annimmt und/oder die zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ den definierten Endwert $\dot{\varphi}_1$ annimmt. Die Steuereinrichtung 7 verfährt in diesem Fall den Lastaufhängepunkt 2 entsprechend dem für den Lastaufhängepunkt 2 ermittelten zeitlichen Verlauf und stellt weiterhin während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts 2 die Seillänge L entsprechend dem ermittelten für die Seillänge L zeitlichen Verlauf ein.

[0049] Konkrete Vorgehensweisen werden nachfolgend anhand mehrerer Beispiele erläutert. Die Beispiele werden in Verbindung damit erläutert, dass die Laufkatze 3 in ihrer Verfahrrichtung verfahren wird. In diesem Fall verläuft die vertikale Ebene 11, auf welche die Pendelbewegung der Last 6 bezogen ist, parallel zur Verfahrrichtung der Laufkatze 3. Es wäre jedoch ebenso möglich, den Kran 1 als Ganzes zu verfahren. In diesem Fall verläuft die vertikale Ebene 11, auf welche die Pendelbewegung der Last 6 bezogen ist, orthogonal zur Verfahrrichtung der Laufkatze 3.

[0050] Weiterhin wird die vorliegende Erfindung unter der Annahme erläutert, dass der definierte Endwert φ_1 des Auslenkwinkels φ der Pendelbewegung Null ist und auch der definierte Endwert $\dot{\varphi}_1$ der zeitlichen Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ der Pendelbewegung Null ist. Die definierten Endwerte φ_1 , $\dot{\varphi}_1$ könnten jedoch ebenso andere Größen aufweisen. Beispielsweise könnte der definierte Endwert φ_1 des Auslenkwinkels φ der Pendelbewegung Null sein und der definierte Endwert $\dot{\varphi}_1$ der zeitlichen Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ der Pendelbewegung maximal sein, d.h. ihren maximalen Wert aufweisen und in die gleiche Richtung zeigen, in welche die Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts 2 gerichtet ist. Auch andere Werte sind möglich.

[0051] Die Last 6 kann nach Bedarf ausgebildet sein. Beispielsweise kann es sich bei der Last 6 um einen Spreader mit oder ohne vom Spreader aufgenommenen Container handeln. Alternativ kann es sich beispielsweise um einen vollen oder leeren Greifer zum Umschlagen von Schüttgut handeln. Auch andere Ausgestaltungen der Last 6 sind möglich.

Beispiel 1 (FIG 6)

[0052] Gemäß Beispiel 1 befindet sich der Lastaufhängepunkt 2 zu dem Zeitpunkt, zu dem das erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt wird, an einem Anfangsort x_0 . Der Lastaufhängepunkt 2 wird bereits mit einer konstanten Geschwindigkeit v verfahren. Die Geschwindigkeit v soll beibehalten werden, bis der Lastaufhängepunkt 2 einen Ort x_1 (nachfolgend als Grenzort bezeichnet) erreicht. Danach soll der Lastaufhängepunkt 2 mit konstanter Verzögerung in den Stillstand abgebremst werden. Bis der Lastaufhängepunkt 2 zum Stillstand gekommen ist, wird er weiter bis zum Zielort x_2 verfahren. Als gewünschte Endwerte φ_1 , $\dot{\varphi}_1$ für den Auslenkwinkel φ und die zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ sei jeweils Null vorgegeben. Am Anfangsort x_0 weist die Pendelbewegung der Last 6 einen anfänglichen Auslenkwinkel φ_0 und eine anfängliche zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}_0$ des Auslenkwinkels φ auf. Die anfängliche Seillänge L_0 am Anfangsort x_0 soll auch am Grenzort x_1 und am Zielort x_2 gegeben sein.

[0053] Aufgrund der Bewegungsgleichung kann zurückgerechnet werden, welche Zwischenwerte der Phasenwinkel φ und die zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Phasenwinkels φ am Grenzort x_1 aufweisen müssen. Aufgrund des Abstands zwischen dem Anfangsort x_0 und dem Grenzort x_1 sowie der konstanten Geschwindigkeit v ist weiterhin bekannt, in welcher Zeit der Lastaufhängepunkt 2 vom Anfangsort x_0 zum Grenzort x_1 verfahren wird. Durch zeitliche Fortschreibung der Pendelbewegung gemäß der Bewegungsgleichung ab dem Anfangsort x_0 kann somit weiterhin ohne weiteres ermittelt werden, welche Werte der Auslenkwinkel φ und die zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ aufweisen, wenn zwischen dem Anfangsort x_0 und dem Grenzort x_1 die Seillänge L nicht geändert wird.

[0054] Im Einzelfall kann es geschehen, dass die sich ergebenden Werte des Auslenkwinkels φ und der zeitlichen Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ mit den zurückgerechneten Zwischenwerten übereinstimmen. In diesem Fall kann die Seillänge L unverändert beibehalten werden. In der Regel wird sich jedoch eine Abweichung ergeben. Je nach Betrag und Vorzeichen der Abweichung kann daher beispielsweise an einem Änderungsort x_3 die Seillänge L von der anfänglichen Seillänge L_0 auf einen Zwischenwert verkürzt werden oder auf einen anderen Zwischenwert verlängert werden, so dass die Last 6 mit größerer oder kleinerer Frequenz als zuvor pendelt. An einem weiteren Änderungsort x_4 wird dann die Seillänge L wieder auf die anfängliche Seillänge L_0 eingestellt. Die Last 6 pendelt ab dem weiteren Änderungsort x_4 wieder mit der gleichen Frequenz wie vor dem Änderungsort x_3 . Aufgrund der geänderten Seillänge L zwischen den Änderungsorten x_3 und x_4 hat sich jedoch die Phasenlage der Pendelbewegung geändert. Durch die Änderung der Seillänge L zwischen den Änderungsorten x_3 und x_4 kann somit erreicht werden, dass am Grenzort x_1 die zurückgerechneten Zwischenwerte und somit am Zielort x_2 die definierten Endwerte φ_1 , $\dot{\varphi}_1$ erreicht werden.

[0055] Die Änderungsorte x_3 und x_4 und die Änderung der Seillänge L können nach Bedarf gewählt werden. In der Regel kommt es nur darauf an, die Phasenlage der Pendelbewegung entsprechend einzustellen. Vorzugsweise werden, soweit möglich, die Änderungsorte x_3 und x_4 so gelegt, dass ein Verringern der Seillänge L erfolgt, während die Last 6 sich in einem Extremum ihrer Pendelbewegung befindet, und dass ein Vergrößern der Seillänge L erfolgt, während die Last 6 sich in einem Nulldurchgang ihrer Pendelbewegung befindet.

Beispiel 2 (FIG 6)

[0056] Beispiel 2 baut auf Beispiel 1 auf. Der Unterschied besteht darin, dass gemäß Beispiel 2 die Last 6 zunächst ohne Pendeln unter dem stillstehenden Lastaufhängepunkt 2 hängt. Sodann soll die Last 6 von der Steuereinrichtung 7 durch Ansteuern des Katzantriebs 3' mit einer vorbestimmten Beschleunigung auf den Zielort x2 zu beschleunigt werden, bis er die konstante Geschwindigkeit v erreicht. Sodann reduziert die Steuereinrichtung 7 die Beschleunigung des Lastaufhängepunkts 2 auf Null.

[0057] Die Lösung ist völlig analog Beispiel 1. Es müssen lediglich anhand der Bewegungsgleichung der anfängliche Auslenkwinkel φ_0 der Pendelbewegung und die anfängliche zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}_0$ des Auslenkwinkels φ der Pendelbewegung ermittelt werden, welche die Last 6 aufweist, wenn die Beschleunigung des Lastaufhängepunkts 2 auf Null reduziert wird. Ferner muss der zugehörige Anfangsort x_0 ermittelt werden.

Beispiel 3 (FIG 7)

[0058] Auch Beispiel 3 baut auf Beispiel 1 auf. Der Unterschied besteht darin, dass gemäß Beispiel 3 der Steuereinrichtung 7 zusätzlich eine Seilgeschwindigkeit gegeben ist, mit der die Seillänge L vor dem Zielort x2 - beispielsweise ab dem Grenzort x1 - auf eine Ziel-Seillänge L1 erhöht werden soll (die Last 6 also abgesenkt werden soll).

[0059] Auch hier ist die Lösung völlig analog Beispiel 1. Denn die Bewegungsgleichung ist universell und deckt auch den Fall mit ab, dass die Seillänge L sich ändert. Insbesondere bestimmt die Steuereinrichtung 7 anhand des zeitlichen Verlaufs der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts 2, der anfänglichen Seillänge L0 und der Ziel-Seillänge L1 einen weiteren Grenzort x1'. Ab dem Erreichen des weiteren Grenzorts x1' erhöht die Steuereinrichtung 7 die Seillänge L mit der Seilgeschwindigkeit auf die Ziel-Seillänge L1.

[0060] Aufgrund der Bewegungsgleichung kann zurückgerechnet werden, welche Zwischenwerte der Phasenwinkel φ und die zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Phasenwinkels φ am Grenzort x1 und am weiteren Grenzort x1' aufweisen müssen. Vor dem zuerst erreichten der beiden Grenzorte x1, x1' erfolgt eine gleichförmige Bewegung des Lastaufhängepunkts 2 mit der Geschwindigkeit v und freier Pendelung der Last 6. Ab dem zuerst erreichten der beiden Grenzorte x1, x1' werden der Lastaufhängepunkt 2 beschleunigt und/oder die Seillänge L geändert, so dass auf die Pendelbewegung Einfluss genommen wird.

[0061] Analog zu Beispiel 1 kann daher aufgrund des Abstands zwischen dem Anfangsort x_0 , dem zuerst erreichten der beiden Grenzorte x1, x1' und der konstanten Geschwindigkeit v ermittelt werden, in welcher Zeit der Lastaufhängepunkt 2 vom Anfangsort x_0 zum zuerst erreichten Grenzort x1, x1' verfahren wird. Durch zeitliche Fortschreibung der Pendelbewegung gemäß der Bewegungsgleichung ab dem Anfangsort x_0 kann somit weiterhin ohne weiteres ermittelt werden, welche Werte der Auslenkwinkel φ und die zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ aufweisen, wenn zwischen dem Anfangsort x_0 und dem zuerst erreichten der beiden Grenzorte x1, x1' die Seillänge L nicht geändert wird. Die Kompensation der Phasenlage der Pendelbewegung kann wie zuvor in Beispiel 1 erfolgen.

Beispiel 4 (FIG 7)

[0062] Beispiel 4 baut auf Beispiel 2 auf. Der Unterschied besteht darin, dass gemäß Beispiel 4 die Steuereinrichtung 7 während des Beschleunigens des Lastaufhängepunkts 2 durch Ansteuern des Hubwerks 5' die Seillänge L auf die anfängliche Seillänge L0 reduziert. In diesem Fall berücksichtigt die Steuereinrichtung 7 die Reduzierung der Seillänge L bei der Ermittlung des anfänglichen Auslenkwinkels φ_0 der Pendelbewegung und/ oder der anfänglichen Ableitung $\dot{\varphi}_0$ des Auslenkwinkels φ der Pendelbewegung. Auch hier ist die Berücksichtigung ohne weiteres möglich, weil die Bewegungsgleichung universell ist.

[0063] Selbstverständlich sind auch Kombinationen der Beispiele 1 bis 4 möglich.

Beispiel 5 (FIG 8)

[0064] Gemäß Beispiel 5 befindet sich der Lastaufhängepunkt 2 zu dem Zeitpunkt, zu dem das erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt wird, am Anfangsort x_0 . Der Lastaufhängepunkt 2 wird bereits mit der konstanten Geschwindigkeit v verfahren. Die Geschwindigkeit v soll beibehalten werden, bis der Lastaufhängepunkt 2 einen noch zu bestimmenden Ort x1 (nachfolgend wieder als Grenzort bezeichnet) erreicht. Danach soll der Lastaufhängepunkt 2 mit konstanter Verzögerung in den Stillstand abgebremst werden. Bis der Lastaufhängepunkt 2 zum Stillstand gekommen ist, wird er weiter bis zum Zielort x2 verfahren. Solange der Lastaufhängepunkt 2 mit konstanter Geschwindigkeit v verfahren wird, soll die Seillänge L auf ihrem ursprünglichen Wert L0 beibehalten werden. Ab dem Grenzort x1 soll die Seillänge L von ihrem ursprünglichen Wert L0 auf eine Ziel-Seillänge L1 vergrößert werden. Das Verlängern der Seillänge L soll zwischen dem Grenzort x1 und dem Zielort x2 mit einer konstanten Seilgeschwindigkeit erfolgen.

[0065] Die Steuereinrichtung 7 ist daher in der Lage, vorläufig den Grenzort x1 festzulegen und ausgehend von dem

Anfangsort x_0 und dem dort gegebenen Pendelzustand den Pendelzustand am Grenzort x_1 zu ermitteln. Die vorläufige Festlegung des Grenzorts x_1 kann mehr oder minder willkürlich sein. Beispielsweise kann beim Ansetzen des Grenzorts x_1 davon ausgegangen werden, dass die Verzögerung des Lastaufhängepunkts 2 und/oder die Seilgeschwindigkeit v_L ihre Maximalwerte annehmen.

[0066] Sodann kann die Steuereinrichtung 7, ausgehend vom Grenzort x_1 unter Berücksichtigung der (negativen) Beschleunigung des Lastaufhängepunkts 2 und der (positiven) Änderung der Seillänge L den Pendelzustand am Zielort x_2 zu ermitteln.

[0067] In der Regel wird der sich ergebende Pendelzustand der Last 6 - also dessen Auslenkwinkel φ und dessen zeitliche Änderung $\dot{\varphi}$ - am Zielort x_2 von den vorgegebenen, definierten Endwerten φ_1 , $\dot{\varphi}_1$ verschieden sein. Die Steuereinrichtung 7 kann daher aufgrund der sich ergebenden Abweichungen den Grenzort x_1 neu bestimmen und für den neu bestimmten Grenzort x_1 erneut ermitteln, welcher Pendelzustand der Last 6 sich am Zielort x_2 ergibt. Dadurch kann durch einige wenige Iterationen schnell der korrekte Grenzort x_1 ermittelt werden.

Beispiel 6 (FIG 8)

[0068] Beispiel 6 baut auf Beispiel 5 auf. Der Unterschied besteht darin, dass gemäß Beispiel 6 die Last 6 zunächst ohne Pendeln unter dem stillstehenden Lastaufhängepunkt 2 hängt. Sodann soll die Last 6 von der Steuereinrichtung 7 durch Ansteuern des Katzantriebs 3' mit einer vorbestimmten Beschleunigung auf den Zielort x_2 zu beschleunigt werden, bis er die konstante Geschwindigkeit v erreicht. Sodann reduziert die Steuereinrichtung 7 die Beschleunigung des Lastaufhängepunkts 2 auf Null.

[0069] Die Lösung ist völlig analog Beispiel 5. Es müssen lediglich anhand der Bewegungsgleichung der anfängliche Auslenkwinkel φ der Pendelbewegung und die anfängliche zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ der Pendelbewegung ermittelt werden, welche die Last 6 aufweist, wenn die Beschleunigung des Lastaufhängepunkts 2 auf Null reduziert wird. Ferner muss der zugehörige Anfangsort x_0 ermittelt werden.

Beispiel 7 (FIG 9)

[0070] Beispiel 7 baut auf Beispiel 6 auf. Der Unterschied zu Beispiel 6 besteht darin, dass gemäß Beispiel 7 die Steuereinrichtung 7 während des Beschleunigens des Lastaufhängepunkts 2 durch Ansteuern des Hubwerks 5' die Seillänge L auf die anfängliche Seillänge L_0 reduziert. In diesem Fall berücksichtigt die Steuereinrichtung 7 die Reduzierung der Seillänge L bei der Ermittlung des anfänglichen Auslenkwinkels φ_0 der Pendelbewegung und/oder der anfänglichen Ableitung $\dot{\varphi}_0$ des Auslenkwinkels φ der Pendelbewegung. Auch hier ist die Berücksichtigung ohne weiteres möglich, weil die Bewegungsgleichung universell ist.

[0071] Selbstverständlich sind auch Variationen der Beispiele 5 bis 7 möglich. Insbesondere (Beispiele 8 bis 10 - FIG 10) ist es möglich, dass die Seilgeschwindigkeit zwischen dem Grenzort x_1 und dem Zielort x_2 nicht konstant gehalten wird, sondern um eine mittlere Seilgeschwindigkeit oszilliert. Die zugehörige Oszillationsfrequenz sollte jedoch derart bestimmt sein, dass in dem Zeitraum, welchen der Lastaufhängepunkt 2 zum Verfahren vom Grenzort x_1 zum Zielort x_2 benötigt, mindestens drei vollständige Oszillationen der Seilgeschwindigkeit ausgeführt werden.

[0072] Es ist möglich, die erfindungsgemäße Vorgehensweise rein gesteuert auszuführen. Beispielsweise kann in manchen Fällen (beispielsweise beim Umschlagen von Containern) ohne weiteres davon ausgegangen werden, dass beim Aufnehmen eines Containers mittels eines Spreaders (in diesem Fall ist die Last 6 der Spreader mit dem Container) und beim Abheben des Spreaders von einem abgesetzten Container (in diesem Fall ist die Last 6 der Spreader allein) der Pendelzustand zunächst ruhend ist. Alternativ zu einer Steuerung ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 7 eine Regelung realisiert. In diesem Fall erfasst die Steuereinrichtung 7 während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts 2 kontinuierlich den Auslenkwinkel φ der Pendelbewegung und/oder die zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ der Pendelbewegung. Dadurch ist die Steuereinrichtung 7 in der Lage, in dem Fall, dass der zeitliche Verlauf der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts 2 gegeben ist, den zeitlichen Verlauf der Seillänge L kontinuierlich - also in Echtzeit - zu bestimmen. Ebenso ist die Steuereinrichtung 7 in dem Fall, dass der zeitliche Verlauf der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts 2 nicht gegeben ist, in der Lage den zeitlichen Verlauf der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts 2 und den zeitlichen Verlauf der Seillänge L kontinuierlich - also in Echtzeit - zu bestimmen. Eine Regelung ist insbesondere dann sinnvoll, wenn das Anfahren des Lastaufhängepunkts 2 aus dem Stillstand manuell erfolgt und sodann in ein automatisiertes Verfahren zum Zielort x_2 übergegangen wird.

[0073] Die Verfahrbewegungen des Lastaufhängepunkts 2 und die Bestimmung der Seillänge L können unter Verwendung der Bewegungsgleichung ebenso mittels Verfahren der mathematischen Optimierung berechnet werden. In diesem Fall sucht ein numerischer Algorithmus nach einem vorgegebenen Optimierungskriterium (beispielsweise zeitoptimal oder energieoptimal) und unter Berücksichtigung von Randbedingungen wie beispielsweise maximal möglichen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, zu umfahrenden Hindernissen und dergleichen mehr die beste Lösung.

[0074] Die entsprechende Erfassungseinrichtung 13 zur Erfassung des Pendelzustands der Last 6, also von Daten,

die für den Auslenkwinkel φ des Seilsystems 5 und/oder mindestens eine zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ - beispielsweise die Winkelgeschwindigkeit oder die Winkelbeschleunigung - charakteristisch sind, kann nach Bedarf ausgebildet sein. Beispielsweise können gemäß der Darstellung in den FIG 1 und 2 mittels ortsfester Kameras Bilder erfasst werden, durch deren Auswertung der Auslenkwinkel φ und/oder dessen zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ ermittelt werden können. Alternativ ist es möglich, mittels einer auf der Laufkatze 3 angeordneten Kamera ein nach unten gerichtetes Bild zu erfassen und durch dessen Auswertung den Auslenkwinkel φ und/oder dessen zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ zu ermitteln. Weiterhin ist es möglich, eine Kraft zu erfassen, die auf die Laufkatze 3 wirkt, und diese Kraft im Sinne einer entsprechenden Auswertung zu verarbeiten. Die letztgenannte Vorgehensweise ist insbesondere dann möglich, wenn die vertikale Ebene 11 parallel zur Verfahrrichtung der Laufkatze 3 verläuft. Welche Vorgehensweise konkret ergriffen wird, ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung von untergeordneter Bedeutung. Entscheidend ist lediglich, dass anhand der erfassten Daten der Auslenkwinkel φ und/oder dessen zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ ermittelt werden können.

[0075] In dem Fall, dass der Steuereinrichtung 7 der zeitliche Verlauf der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts 2 vorgegeben ist, ist es möglich, dass ein einmal vorgegebener zeitlicher Verlauf nicht mehr geändert werden kann. Alternativ ist es möglich, dass der zeitliche Verlauf - beispielsweise aufgrund einer entsprechenden Eingabe durch den Benutzer 12 (siehe ebenfalls FIG 1 und 2) - während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts 2 geändert wird. In diesem Fall bestimmt die Steuereinrichtung 7 den zeitlichen Verlauf der Seillänge L unter Berücksichtigung der geänderten Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts 2 neu.

[0076] Je nach Zeitpunkt und Ausmaß einer Änderung der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts 2 kann es im Einzelfall geschehen, dass im Rahmen der Möglichkeiten (beispielsweise der maximal möglichen Seilgeschwindigkeit und der verbleibenden Zeit) das erfindungsgemäße Verfahren nicht mehr ausgeführt werden kann. In diesem Fall bestimmt die Steuereinrichtung 7 den zeitlichen Verlauf der Seillänge L derart, dass der definierte Endwert φ_1 , $\dot{\varphi}_1$ des Auslenkwinkels φ und der zeitlichen Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ so weit wie möglich angenähert werden. Insbesondere für den Fall, dass sowohl der definierte Endwert φ_1 des Auslenkwinkels φ als auch der definierte Endwert $\dot{\varphi}_1$ der zeitlichen Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ Null sind, bestimmt die Steuereinrichtung 7 in einem derartigen Fall den zeitlichen Verlauf der Seillänge L derart, dass die Energie der nicht mehr zu vermeidenden Restpendelbewegung möglichst gering ist.

[0077] Zusammengefasst betrifft die vorliegende Erfindung somit folgenden Sachverhalt:

Eine Last 6 ist über ein Seilsystem 5 eines Krans 1 an einem Lastaufhängepunkt 2 aufgehängt. Eine Steuereinrichtung 7 verfährt durch Ansteuern eines Antriebs 3', 5' den Lastaufhängepunkt 2 zu einem Zielort x2. Die Steuereinrichtung 7 stellt während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts 2 durch Ansteuern eines Hubwerks 5' eine Seillänge L des Seilsystems 5 ein.

[0078] Der Steuereinrichtung 7 sind eine anfängliche Seillänge L_0 , eine am Zielort x2 zu erreichende Ziel-Seillänge L_1 sowie ein anfänglicher Auslenkwinkel φ_0 einer Pendelbewegung, welche die Last 6 während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts 2 zum Zielort x2 in einer den Lastaufhängepunkt 2 enthaltenden vertikalen Ebene 11 um den Lastaufhängepunkt 2 ausführt, und/oder eine anfängliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ der Pendelbewegung gegeben. Die Steuereinrichtung 7 ermittelt bei gegebenem zeitlichem Verlauf der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts 2 einen zeitlichen Verlauf der Seillänge L und stellt die Seillänge L entsprechend dem ermittelten zeitlichen Verlauf ein. Die Ermittlung erfolgt derart, dass am Zielort x2 der Auslenkwinkel φ der Pendelbewegung und/oder die zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ des Auslenkwinkels φ der Pendelbewegung einen definierten Endwert φ_1 , $\dot{\varphi}_1$ annehmen.

[0079] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere kann das erfindungsgemäße Verfahren direkt in die Kransteuerung integriert werden. In der Kransteuerung sind alle erforderlichen Anlagenparameter und Sensorinformationen bekannt. Vor allem aber kann die Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts 2 in erheblichem Umfang unabhängig von einer dadurch bewirkten Pendelbewegung der Last 6 bestimmt werden. Ein Pendeln der Last 6 während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts 2 kann hingenommen werden. Es muss lediglich dafür gesorgt werden, dass am Endpunkt der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts 2, also am Zielort x2, der gewünschte Pendelzustand erreicht wird. Dies kann durch Einstellen der Seillänge L während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts 2 erreicht werden.

[0080] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung, gemäß den Ansprüchen, zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verfahren einer Last (6) mittels eines Krans (1), wobei die Last (6) über ein Seilsystem (5) des Krans (1) an einem Lastaufhängepunkt (2) des Krans (1) aufgehängt ist,

- wobei eine Steuereinrichtung (7) des Krans (1) durch Ansteuern eines Antriebs (3', 1') den Lastaufhängepunkt (2) zu einem Zielort (x2) verfährt,
- wobei die Steuereinrichtung (7) während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts (2) durch Ansteuern eines Hubwerks (5') eine Seillänge (L) des Seilsystems (5) einstellt,
- wobei der Steuereinrichtung (7) eine anfängliche Seillänge (L0), eine am Zielort (x2) zu erreichende Ziel-Seillänge (L1) sowie ein anfänglicher Auslenkwinkel (φ_0) einer Pendelbewegung, welche die Last (6) während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts (2) zum Zielort (x2) in einer den Lastaufhängepunkt (2) enthaltenden vertikalen Ebene (11) um den Lastaufhängepunkt (2) ausführt, und/oder eine anfängliche Ableitung ($\dot{\varphi}_0$) des Auslenkwinkels (φ) der Pendelbewegung gegeben sind und
- wobei die Steuereinrichtung (7) bei gegebenem zeitlichem Verlauf der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts (2) einen zeitlichen Verlauf der Seillänge (L) derart ermittelt und einstellt, dass am Zielort (x2) der Auslenkwinkel (φ) der Pendelbewegung und/oder eine zeitliche Ableitung ($\dot{\varphi}$) des Auslenkwinkels (φ) der Pendelbewegung einen definierten Endwert (φ_1 , $\dot{\varphi}_1$) annehmen.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass der definierte Endwert (φ_1) des Auslenkwinkels (φ) der Pendelbewegung Null ist und/oder dass der definierte Endwert ($\dot{\varphi}_1$) der zeitlichen Ableitung ($\dot{\varphi}$) des Auslenkwinkels (φ) der Pendelbewegung Null oder maximal ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** der Steuereinrichtung (7) zusätzlich eine Seilgeschwindigkeit, mit der die Seillänge (L) vor dem Zielort (x2) erhöht werden soll, gegeben ist,
- **dass** die Steuereinrichtung (7) anhand des zeitlichen Verlaufs der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts (2), der anfänglichen Seillänge (L0), der Ziel-Seillänge (L1) und der Seilgeschwindigkeit einen Grenzort (x1) bestimmt,
- **dass** die Steuereinrichtung (7) ab dem Erreichen des Grenzorts (x1) die Seillänge (L) mit der Seilgeschwindigkeit auf die Ziel-Seillänge (L1) erhöht,
- **dass** die Steuereinrichtung (7) anhand des zeitlichen Verlaufs der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts (2) vom Grenzort (x1) zum Zielpunkt (x2), der Seilgeschwindigkeit, der Ziel-Seillänge (L1) und des definierten Endwerts (φ_1) des Auslenkwinkels (φ) und/oder des definierten Endwerts ($\dot{\varphi}_1$) der zeitlichen Ableitung ($\dot{\varphi}$) des Auslenkwinkels (φ) für den Grenzort (x1) einen Zwischenwert des Auslenkwinkels (φ) und/oder der zeitlichen Ableitung ($\dot{\varphi}$) des Auslenkwinkels (φ) ermittelt und
- **dass** die Steuereinrichtung (7) anhand des zeitlichen Verlaufs der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts (2) bis zum Grenzort (x1), der anfänglichen Seillänge (L0), des anfänglichen Auslenkwinkels (φ_0) der Pendelbewegung und/oder der anfänglichen Ableitung ($\dot{\varphi}_0$) des Auslenkwinkels (φ) der Pendelbewegung den zeitlichen Verlauf der Seillänge (L) bis zum Erreichen des Grenzorts (x1) derart bestimmt, dass am Grenzort (x1) der Auslenkwinkel (φ) der Pendelbewegung und/oder die zeitliche Ableitung ($\dot{\varphi}$) des Auslenkwinkels (φ) der Pendelbewegung den ermittelten Zwischenwert annehmen.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die Steuereinrichtung (7) anhand des zeitlichen Verlaufs der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts (2), der anfänglichen Seillänge (L0), der Ziel-Seillänge (L1), des anfänglichen Auslenkwinkels (φ_0) der Pendelbewegung und/oder der anfänglichen zeitlichen Ableitung ($\dot{\varphi}_0$) des Auslenkwinkels (φ) der Pendelbewegung einen Grenzort (x1) ermittelt,
- **dass** die Steuereinrichtung (7) ab dem Grenzort (x1) die Seillänge (L) entweder mit einer mittleren Seilgeschwindigkeit oder mit einer um die mittlere Seilgeschwindigkeit oszillierenden Seilgeschwindigkeit erhöht,
- **dass** die mittlere Seilgeschwindigkeit durch die Differenz der Ziel-Seillänge (L1) und der anfänglichen Seillänge (L0), dividiert durch die zum Verfahren des Lastaufhängepunkts (2) vom Grenzort (x1) zum Zielort (x2) benötigte Zeit gegeben ist und
- **dass** die Steuereinrichtung (7) den Grenzort (x1) derart ermittelt, dass am Zielort (x2) der Auslenkwinkel (φ) der Pendelbewegung und/oder die zeitliche Ableitung ($\dot{\varphi}$) des Auslenkwinkels (φ) der Pendelbewegung den definierten Endwert (φ_1 , $\dot{\varphi}_1$) annehmen.

5. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Last (6) zunächst an einem Anfangsort (x_0) der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts (2) ohne Pendeln unter dem Lastaufhängepunkt (2) hängt, dass die Steuereinrichtung (7) den Lastaufhängepunkt (2) durch Ansteuern des Antriebs ($3'$, $1'$) ausgehend vom Anfangsort (x_0) mit einer vorbestimmten Beschleunigung auf den Zielort (x_2) zu beschleunigt, bis der Lastaufhängepunkt (2) mit einer vorbestimmten Geschwindigkeit (v) verfahren wird, dass die Steuereinrichtung (7) sodann die Beschleunigung auf Null reduziert und dass die Steuereinrichtung (7) den anfänglichen Auslenkwinkel (φ_0) der Pendelbewegung und/oder die anfängliche Ableitung ($\dot{\varphi}_0$) des Auslenkwinkels (φ) der Pendelbewegung anhand der vorbestimmten Beschleunigung und der vorbestimmten Geschwindigkeit sowie der Seillänge (L) während der Beschleunigung ermittelt.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Steuereinrichtung (7) während des Beschleunigens des Lastaufhängepunkts (2) durch Ansteuern des Hubwerks ($5'$) die Seillänge (L) auf die anfängliche Seillänge (L_0) reduziert und dass die Steuereinrichtung (7) die Reduzierung der Seillänge (L) bei der Ermittlung des anfänglichen Auslenkwinkels (φ_0) der Pendelbewegung und/oder der anfänglichen Ableitung ($\dot{\varphi}_0$) des Auslenkwinkels (φ) der Pendelbewegung berücksichtigt.

7. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Steuereinrichtung (7) während des Verfahrens des Lastaufhängepunkts (2) kontinuierlich den Auslenkwinkel (φ) der Pendelbewegung und/oder die zeitliche Ableitung ($\dot{\varphi}$) des Auslenkwinkels (φ) der Pendelbewegung erfasst und dass die Steuereinrichtung (7) den zeitlichen Verlauf der Seillänge (L) kontinuierlich bestimmt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Lastaufhängepunkt (2) auf einem Ausleger (4) des Krans (1) mittels einer Laufkatze (3) in einer Verfahr- richtung verfahrbar ist und dass die vertikale Ebene (11), auf welche die Pendelbewegung der Last (6) bezogen ist, parallel zur Verfahr- richtung verläuft.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Lastaufhängepunkt (2) auf einem Ausleger (4) des Krans (1) mittels einer Laufkatze (3) in einer Verfahr- richtung verfahrbar, dass zusätzlich der Kran (1) als Ganzes orthogonal zur Verfahr- richtung der Laufkatze (3) verfahrbar ist und dass die vertikale Ebene (11), auf welche die Pendelbewegung der Last (6) bezogen ist, orthogonal zur Verfahr- richtung verläuft.

10. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass der zeitliche Verlauf der Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts (2) während des Verfahrens des Lastauf- hängepunkts (2) geändert wird und dass die Steuereinrichtung (7) den zeitlichen Verlauf der Seillänge (L) unter Berücksichtigung der geänderten Verfahrbewegung des Lastaufhängepunkts (2) neu bestimmt.

11. Computerprogramm, wobei das Computerprogramm Maschinencode (9) umfasst, der von einer Steuereinrichtung (7) für einen Kran (1) abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (9) durch die Steuereinrichtung (7) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (7) den Kran (1) gemäß einem Verfahren nach einem der obigen Ansprüche betreibt.

12. Steuereinrichtung für einen Kran (1), wobei die Steuereinrichtung mit einem Computerprogramm (8) nach Anspruch 11 programmiert ist.

13. Kran,

- wobei der Kran einen Lastaufhängepunkt (2) aufweist, an dem über ein Seilsystem (5) des Krans eine Last (6) aufgehängt ist,

- wobei der Kran mindestens einen Antrieb ($3'$, $1'$) aufweist, mittels dessen der Lastaufhängepunkt (2) in einer Verfahr- richtung verfahrbar ist,

- wobei der Kran ein Hubwerk ($5'$) aufweist, mittels dessen eine Seillänge (L) des Seilsystems (5) einstellbar ist,

- wobei der Kran eine Steuereinrichtung (7) aufweist, die gemäß Anspruch 12 ausgebildet ist.

Claims

1. Method of moving a load (6) by means of a crane (1), wherein the load (6) is suspended at a load suspension point (2) of the crane (1) via a cable system (5) of the crane (1),

- wherein a control device (7) of the crane (1) moves the load suspension point (2) to a destination (x2) by actuating a drive (3', 1'),

- wherein during the travel of the load suspension point (2) the control device (7) adjusts a cable length (L) of the cable system (5) by actuating a hoisting mechanism (5'),

- wherein the control device (7) is given an initial cable length (L0), a target cable length (L1) to be achieved at the destination (x2) and an initial deflection angle (φ_0) of an oscillating motion which the load (6) executes about the load suspension point (2) during the travel of the load suspension point (2) to the destination (x2) on a vertical plane (11) containing the load suspension point (2), and/or an initial derivative ($\dot{\varphi}_0$) of the deflection angle (φ) of the oscillating motion and

- wherein for a given time characteristic of the travel of the load suspension point (2) the control device (7) determines and adjusts a time characteristic of the cable length (L) such that at the destination (x2) the deflection angle (φ) of the oscillating motion and/or a time derivative ($\dot{\varphi}$) of the deflection angle (φ) of the oscillating motion assume a defined final value (φ_1 , $\dot{\varphi}_1$).

2. Method according to claim 1,

characterised in that

the defined final value (φ_1) of the deflection angle (φ) of the oscillating motion is zero and/or the defined final value ($\dot{\varphi}_1$) of the time derivative ($\dot{\varphi}$) of the deflection angle (φ) of the oscillating motion is zero or the maximum.

3. Method according to claim 1 or 2,

characterised in that

- the control device (7) is additionally given a cable velocity at which the cable length (L) is to be increased upstream of the destination (x2),

- on the basis of the time characteristic of the travel of the load suspension point (2), the initial cable length (L0), the target cable length (L1) and the cable velocity the control device (7) determines a limit point (x1),

- on reaching the limit point (x1) the control device (7) increases the cable length (L) at the cable velocity to the target cable length (L1),

- on the basis of the time characteristic of the travel of the load suspension point (2) from the limit point (x1) to the destination (x2), the cable velocity, the target cable length (L1) and the defined final value (φ_1) of the deflection angle (φ) and/or of the defined final value ($\dot{\varphi}_1$) of the time derivative ($\dot{\varphi}$) of the deflection angle (φ) for the limit point (x1) the control device (7) determines an intermediate value of the deflection angle (φ) and/or the time derivative ($\dot{\varphi}$) of the deflection angle (φ) and

- on the basis of the time characteristic of the travel of the load suspension point (2) up to the limit point (x1), the initial cable length (L0), the initial deflection angle (φ_0) of the oscillating motion and/or the initial derivative ($\dot{\varphi}_0$) of the deflection angle (φ) of the oscillating motion the control device (7) determines the time characteristic of the cable length (L) until reaching the limit point (x1), such that at the limit point (x1) the deflection angle (φ) of the oscillating motion and/or the time derivative ($\dot{\varphi}$) of the deflection angle (φ) of the oscillating motion assume the intermediate value determined.

4. Method according to claim 1 or 2,

characterised in that

- on the basis of the time characteristic of the travel of the load suspension point (2), the initial cable length (L0), the target cable length (L1), the initial deflection angle (φ_0) of the oscillating motion and/or the initial time derivative ($\dot{\varphi}_0$) of the deflection angle (φ) of the oscillating motion the control device (7) determines a limit point (x1),

- the control device (7), as from the limit point (x1), increases the cable length (L) either at an average cable velocity or at a cable velocity oscillating around the average cable velocity,

- the average cable velocity is given by the difference between the target cable length (L1) and the initial cable length (L0), divided by the time required to move the load suspension point (2) from the limit point (x1) to the destination (x2) and

- the control device (7) determines the limit point (x1) such that at the destination (x2) the deflection angle (φ)

of the oscillating motion and/or the time derivative ($\dot{\varphi}$) of the deflection angle (φ) of the oscillating motion assume the defined final value ($\varphi_1, \dot{\varphi}_1$).

- 5
5. Method according to one of the above claims, characterised in that
the load (6) initially hangs beneath the load suspension point (2) at an initial location (x_0) of the travel of the load suspension point (2) without oscillation, the control device (7) accelerates the load suspension point (2) by actuating the drive (3', 1') starting from the initial location (x_0) at a predetermined acceleration to the destination (x_2) until the load suspension point (2) is travelling at a predetermined velocity (v), the control device (7) then reduces the acceleration to zero, and the control device (7) determines the initial deflection angle (φ_0) of the oscillating motion and/or the initial derivative ($\dot{\varphi}_0$) of the deflection angle (φ) of the oscillating motion on the basis of the predetermined acceleration and the predetermined velocity as well as the cable length (L) during the acceleration.
- 10
- 15
6. Method according to claim 5, characterised in that
the control device (7) reduces the cable length (L) to the initial cable length (L_0) during the acceleration of the load suspension point (2) by actuating the hoisting mechanism (5'), and the control device (7) takes account of the reduction of the cable length (L) when determining the initial deflection angle (φ_0) of the oscillating motion and/or the initial derivative ($\dot{\varphi}_0$) of the deflection angle (φ) of the oscillating motion.
- 20
- 25
7. Method according to one of the above claims, characterised in that
the control device (7) continuously records, during the travel of the load suspension point (2), the deflection angle (φ) of the oscillating motion and/or the time derivative ($\dot{\varphi}$) of the deflection angle (φ) of the oscillating motion, and the control device (7) continuously determines the time characteristic of the cable length (L).
- 30
- 35
8. Method according to one of claims 1 to 7, characterised in that
the load suspension point (2) can travel in a direction of travel on a jib (4) of the crane (1) by means of a trolley (3), and the vertical plane (11) to which the oscillating motion of the load (6) relates extends parallel to the direction of travel.
- 40
- 45
9. Method according to one of claims 1 to 7, characterised in that
the load suspension point (2) can travel in a direction of travel on a jib (4) of the crane (1) by means of a trolley (3), in addition the crane (1) as a whole can travel orthogonally to the direction of travel of the trolley (3), and the vertical plane (11) to which the oscillating motion of the load (6) relates extends orthogonally to the direction of travel.
- 50
- 55
10. Method according to one of the above claims, characterised in that
the time characteristic of the travel of the load suspension point (2) is modified during the travel of the load suspension point (2), and the control device (7) determines the time characteristic of the cable length (L) afresh, taking into account the modified travel of the load suspension point (2).
- 55
11. Computer program, wherein the computer program comprises machine code (9) which can be executed by a control device (7) for a crane (1), wherein the execution of the machine code (9) by the control device (7) causes the control device (7) to operate the crane (1) in accordance with a method according to one of the above claims.
- 50
12. Control device for a crane (1), wherein the control device is programmed with a computer program (8) according to claim 11.
- 55
13. Crane,
- wherein the crane has a load suspension point (2) at which a load (6) is suspended via a cable system (5) of the crane,
 - wherein the crane has at least one drive (3', 1'), by means of which the load suspension point (2) can travel in a direction of travel,
 - wherein the crane has a hoisting mechanism (5'), by means of which a cable length (L) of the cable system

- (5) can be adjusted,
 - wherein the crane has a control device (7) which is embodied in accordance with claim 12.

5 **Revendications**

1. Procédé de déplacement d'une charge (6) au moyen d'une grue (1), la charge (6) étant suspendue par un système (5) à câble de la grue (1) à un point (2) de suspension de la charge de la grue (1),

- 10 - dans lequel un dispositif (7) de commande de la grue (1) déplace, en commandant un entraînement (3', 1'), le point (2) de suspension de la charge vers un emplacement (x2) cible,
 - dans lequel le dispositif (7) de commande règle pendant le déplacement du point (2) de suspension de la charge, une longueur (L) de câble du système (5) à câble en commandant un dispositif (5') de levage,
 15 - dans lequel on donne au dispositif (7) de commande une longueur (L0) initiale de câble, une longueur (L1) cible de câble à atteindre à l'emplacement (x2) cible ainsi qu'un angle (φ_0) initial de déviation d'un mouvement oscillant que la charge exécute autour du point (2) de suspension de la charge dans un plan (11) vertical contenant le point (2) de suspension de la charge pendant le déplacement du point (2) de suspension de la charge vers l'emplacement (x2) cible et/ou une dérivée ($\varphi'0$) de l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant et
 20 - dans lequel le dispositif (7) de commande détermine et règle, pour une variation en fonction du temps donné du mouvement de déplacement du point (2) de suspension de charge, une variation en fonction du temps de la longueur (L) du câble de manière à ce qu'à l'emplacement (x2) cible, l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant et/ou une dérivée (φ') en fonction du temps de l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant, prenne une valeur (φ_1 , $\varphi'1$) finale définie.

- 25 2. Procédé suivant la revendication 1,
caractérisé en ce que la valeur (φ_1) finale définie de l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant est nulle et/ou **en ce que** la valeur ($\varphi'1$) finale définie de la dérivée (φ') en fonction du temps de l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant est nulle ou maximale.

- 30 3. Procédé suivant la revendication 1 ou 2,
caractérisé

- **en ce qu'il** est donné au dispositif (7) de commande, en outre, une vitesse du câble à laquelle la longueur (L) du câble doit être augmentée avant l'emplacement (x2) cible,
 35 - **en ce que** le dispositif (7) de commande détermine un emplacement (x1) limite à l'aide de la courbe en fonction du temps du mouvement de déplacement du point (2) de suspension de la charge, de la longueur (L0) initiale du câble, de la longueur (L1) cible du câble et de la vitesse du câble,
 - **en ce que** le dispositif (7) de commande augmente jusqu'à la longueur (L1) cible du câble, à la vitesse du câble, la longueur (L) du câble, à partir du moment où l'emplacement (x1) limite est atteint,
 40 - dans lequel le dispositif (7) de commande détermine, pour l'emplacement (x1) limite, une valeur intermédiaire de l'angle (φ) de déviation et/ou de la dérivée (φ') en fonction du temps de l'angle (φ) de déviation à l'aide de la variation en fonction du temps du mouvement de déplacement du point (2) de suspension de la charge de l'emplacement (x1) limite au point (x2) cible, de la vitesse du câble, de la longueur (L1) cible du câble et de la valeur ($\varphi'1$) finale définie de l'angle (φ) de déviation et/ou de la valeur ($\varphi'1$) finale définie de la dérivée (φ') en
 45 fonction du temps de l'angle (φ) de déviation, et- en ce que le dispositif (7) de commande détermine la courbe en fonction du temps de la longueur (L) du câble jusqu'à ce que l'emplacement (x1) limite soit atteint à l'aide de la courbe en fonction du temps du mouvement de déplacement du point (2) de suspension de charge jusqu'à l'emplacement (x1) limite, de la longueur (L0) initiale du câble, de l'angle (φ_0) initial de déviation du mouvement oscillant et/ou de la dérivée ($\varphi'0$) initiale de l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant, la courbe en
 50 fonction du temps de la longueur (L) du câble jusqu'à ce que l'emplacement (x1) limite soit atteint, de manière à ce que, à l'emplacement (x1) limite, l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant et/ou la dérivée (φ') en fonction du temps de l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant prenne la valeur intermédiaire déterminée.

- 55 4. Procédé suivant la revendication 1 ou 2,
caractérisé

- **en ce que** le dispositif (7) de commande détermine un emplacement (x1) limite à l'aide de la courbe en fonction du temps du mouvement de déplacement du point (2) de suspension de la charge, de la longueur (L0) initiale

du câble, de la longueur (L1) cible du câble, de l'angle (φ_0) initial de déplacement du mouvement oscillant et/ou de la dérivée la dérivée ($\varphi'0$) initiale en fonction du temps de l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant,
 - **en ce que** le dispositif (7) de commande augmente, à partir de l'emplacement (x1) limite, la longueur (L) du câble soit à une vitesse moyenne du câble, soit à une vitesse du câble oscillant autour de la vitesse moyenne du câble,

- **en ce que** la vitesse moyenne du câble est donnée par la différence entre la longueur (L1) cible du câble et la longueur (L0) initiale du câble, divisée par le temps nécessaire pour que le point (2) de suspension de charge se déplace de l'emplacement (x1) limite à l'emplacement (x2) cible,

- **en ce que** le dispositif (7) de commande détermine l'emplacement (x1) limite de manière à ce qu'à l'emplacement (x2) cible, l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant et/ou la dérivée (φ') en fonction du temps de l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant prenne la valeur (φ_1 , φ'_1) finale définie.

5. Procédé suivant l'une des revendications précédentes,
caractérisé

en ce que la charge (6) pend d'abord en un emplacement (x0) initial du mouvement de déplacement du point (2) de suspension de la charge sans osciller sous le point (2) de suspension de la charge, en ce que le dispositif (7) de commande accélère le point (2) de suspension de la charge par commande de l'entraînement (3', 1') à partir de l'emplacement (x0) initial à une accélération déterminée à l'avance jusqu'à l'emplacement (x2) cible, jusqu'à ce que le point (2) de suspension de la charge se déplace à une vitesse (v) déterminée à l'avance, en ce que le dispositif (7) de commande, réduit alors à zéro l'accélération et en ce que le dispositif (7) de commande détermine l'angle (φ_0) initial de déviation du mouvement oscillant et/ou la dérivée ($\varphi'0$) initiale de l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant, à l'aide de l'accélération déterminée auparavant et de la vitesse déterminée auparavant ainsi que de la longueur (L) du câble pendant l'accélération.

6. Procédé suivant la revendication 5,
caractérisé en ce que

le dispositif (7) de commande réduit pendant l'accélération du point (2) de suspension de la charge en commandant le dispositif (5') de levage, la longueur (L) du câble à la longueur (L0) initiale du câble et **en ce que** le dispositif (7) de commande prend en compte la réduction de la longueur (L) du câble lors de la détermination de l'angle (φ_0) initial de déviation du mouvement oscillant et/ou la dérivée ($\varphi'0$) initiale de l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant.

7. Procédé suivant l'une des revendications précédentes,
caractérisé

en ce que le dispositif (7) de commande détecte, pendant le déplacement du point (2) de suspension de la charge en continu, l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant et/ou la dérivée (φ') en fonction du temps de l'angle (φ) de déviation du mouvement oscillant et en ce que le dispositif (7) de commande détermine, en continu, la courbe en fonction du temps de la longueur (L) du câble.

8. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 7,
caractérisé en ce que

le point (2) de suspension de la charge peut être déplacé dans une direction de déplacement sur une flèche (4) de la grue (1) au moyen d'un pont roulant (3) et **en ce que** le plan (11) vertical, auquel est rapporté le mouvement oscillant de la charge (5), est parallèle à la direction de déplacement.

9. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 7,
caractérisé en ce que

le point (2) de suspension de la charge peut être déplacé dans une direction de déplacement sur une flèche (4) de la grue (1) au moyen d'un pont roulant (3) **en ce qu'**en outre, la grue (1) peut être déplacée dans son ensemble orthogonalement à la direction de déplacement du pont roulant (3) et **en ce que** le plan (11) vertical, auquel est rapporté le mouvement oscillant de la charge (6), est orthogonal à la direction de déplacement.

10. Procédé suivant l'une des revendications précédentes,
caractérisé en ce que

la courbe en fonction du temps de mouvement de déplacement du point (2) de suspension de la charge est modifiée pendant le déplacement du point (2) de suspension de la charge et **en ce que** le dispositif (7) de commande redétermine la courbe en fonction du temps de la longueur (L) du câble en tenant compte de la modification du

EP 2 987 759 B1

mouvement de déplacement du point (2) de suspension de la charge.

5 11. Programme d'ordinateur, le programme d'ordinateur comprenant un code (9) machine qui peut être exploité par un dispositif (7) de commande d'une grue (1), l'exploitation du code (9) machine par le dispositif (7) de commande faisant que le dispositif (7) de commande fait fonctionner la grue (1) selon un procédé suivant l'une des revendications précédentes.

10 12. Dispositif de commande d'une grue (1), le dispositif de commande étant programmé par un programme (8) d'ordinateur suivant la revendication 11.

13. Grue

dans laquelle la grue a un point (2) de suspension d'une charge auquel une charge (6) est suspendue par un système (5) de câble de la grue,

15 - dans laquelle la grue a au moins un entraînement (3', 1') à l'aide duquel le point (2) de suspension de la charge peut être déplacé dans une direction de déplacement,

- dans laquelle la grue a un dispositif (5') de levage à l'aide duquel une longueur (L) de câble du système (5) de câble peut être réglée,

20 - dans laquelle la grue a un dispositif (7) de commande constitué suivant la revendication 12.

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

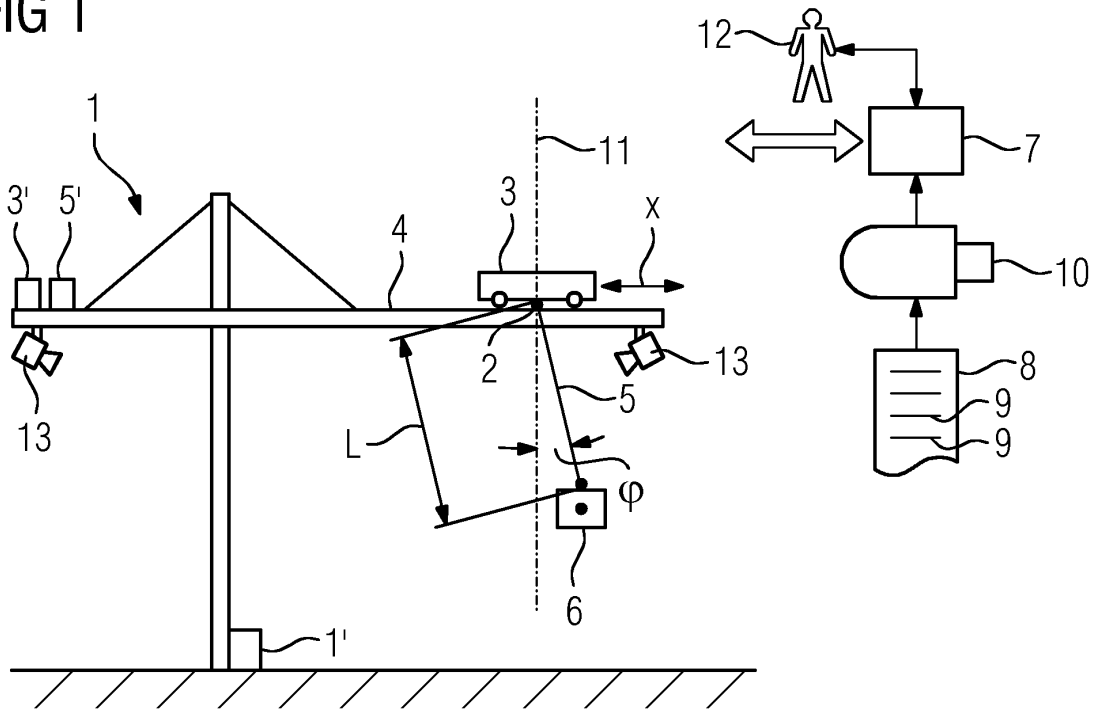


FIG 2

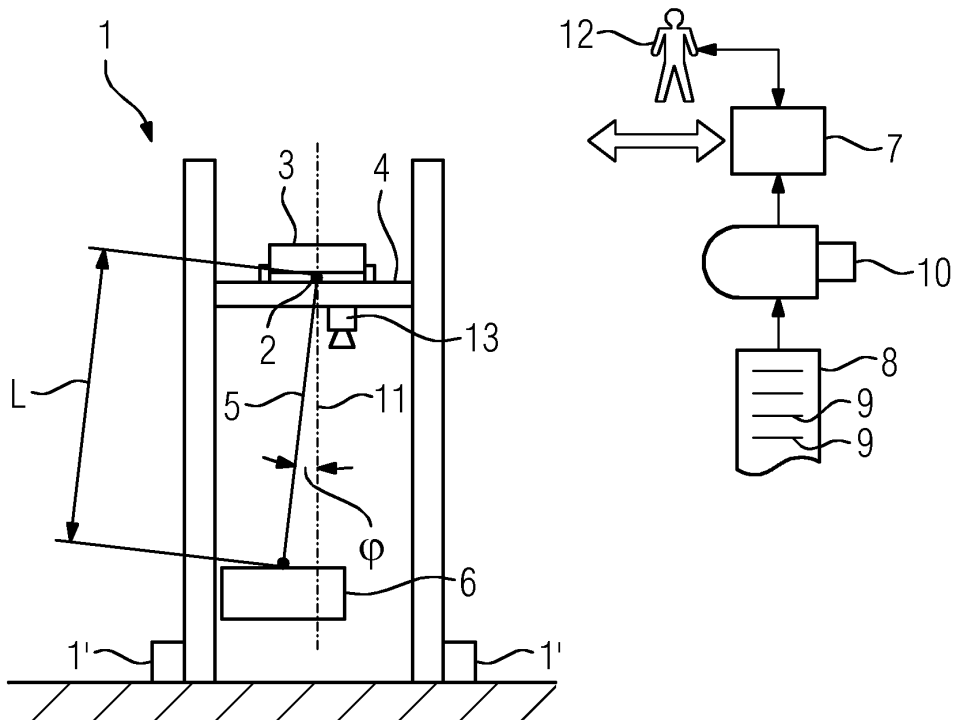


FIG 3

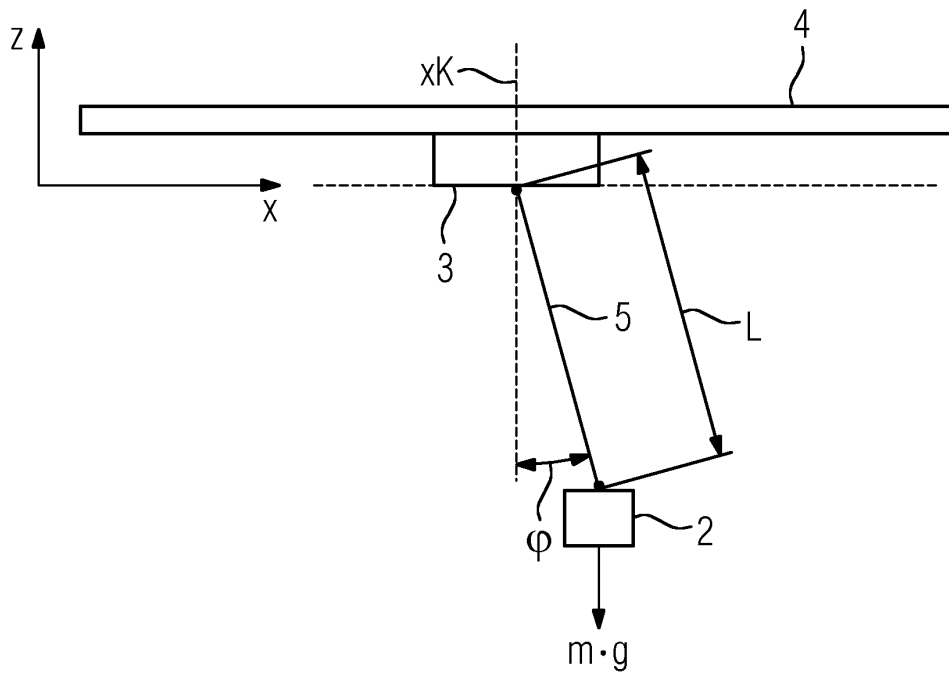


FIG 4

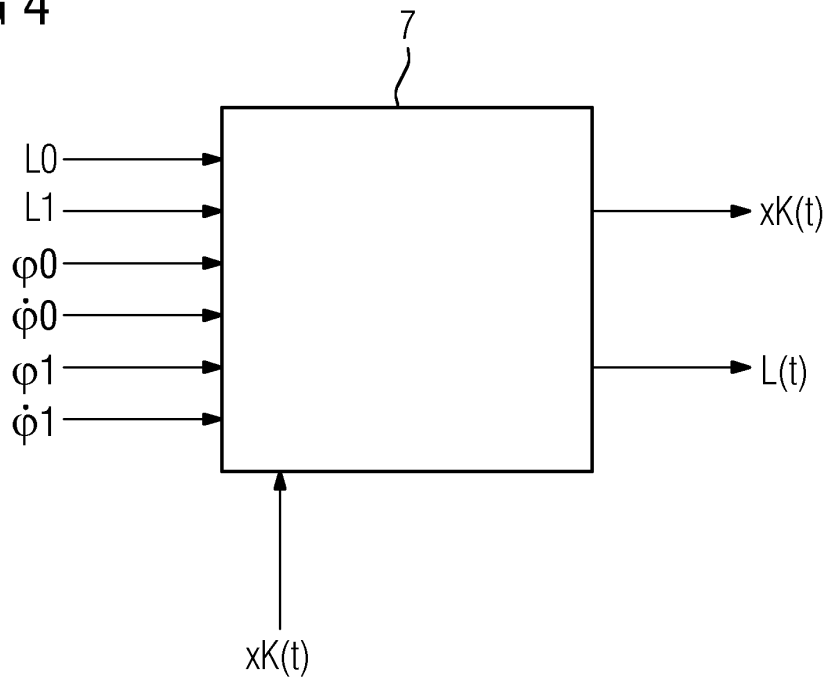


FIG 5

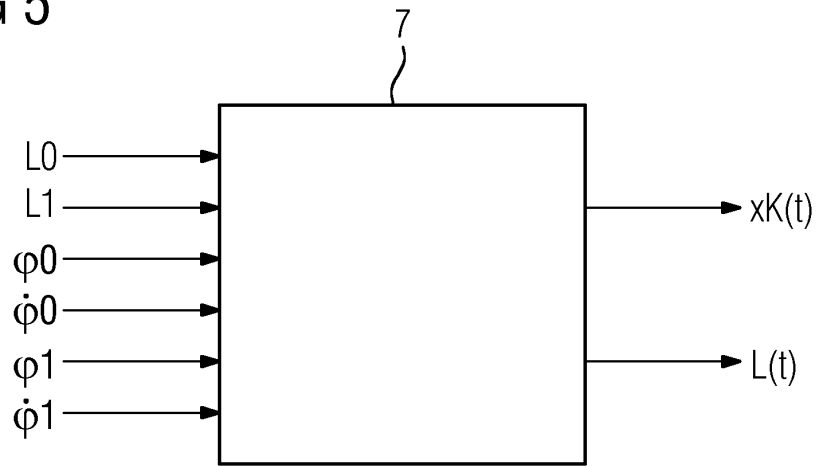


FIG 6

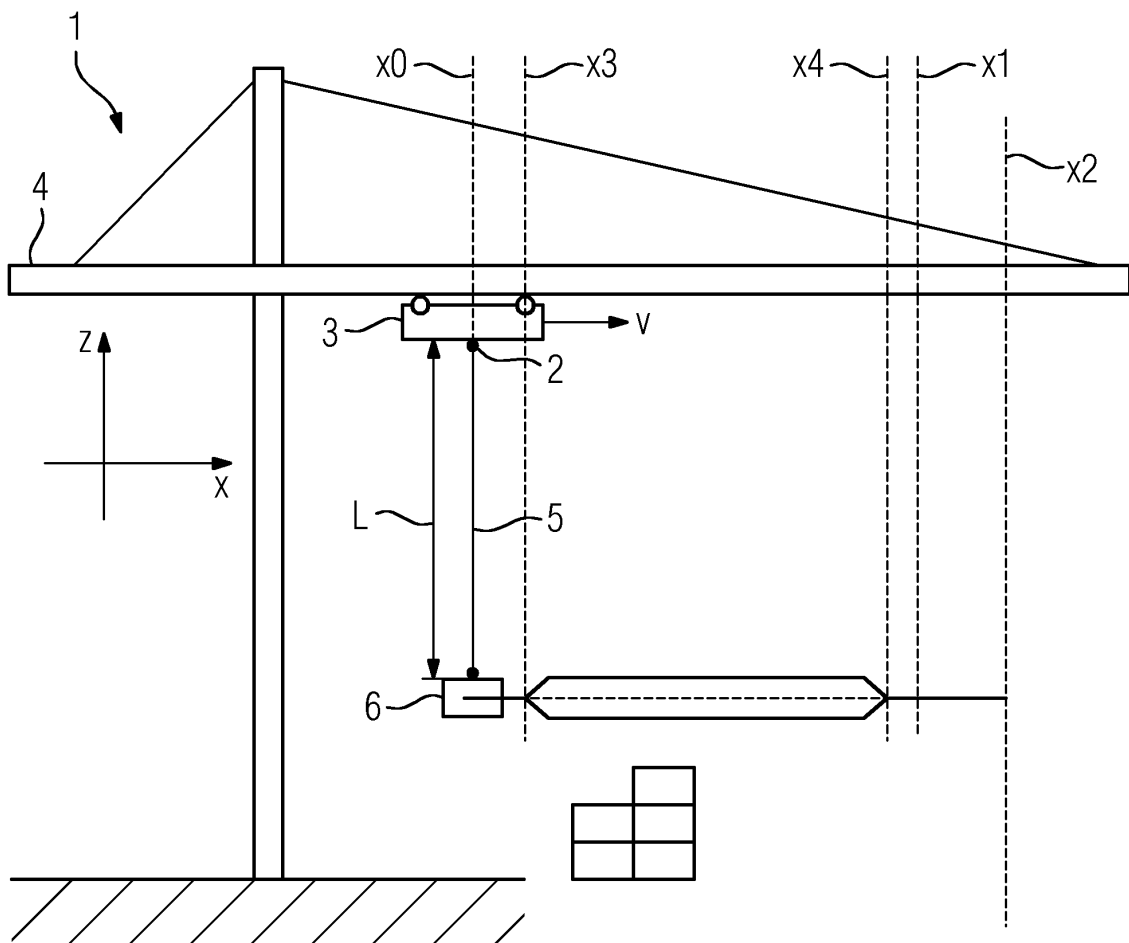


FIG 7

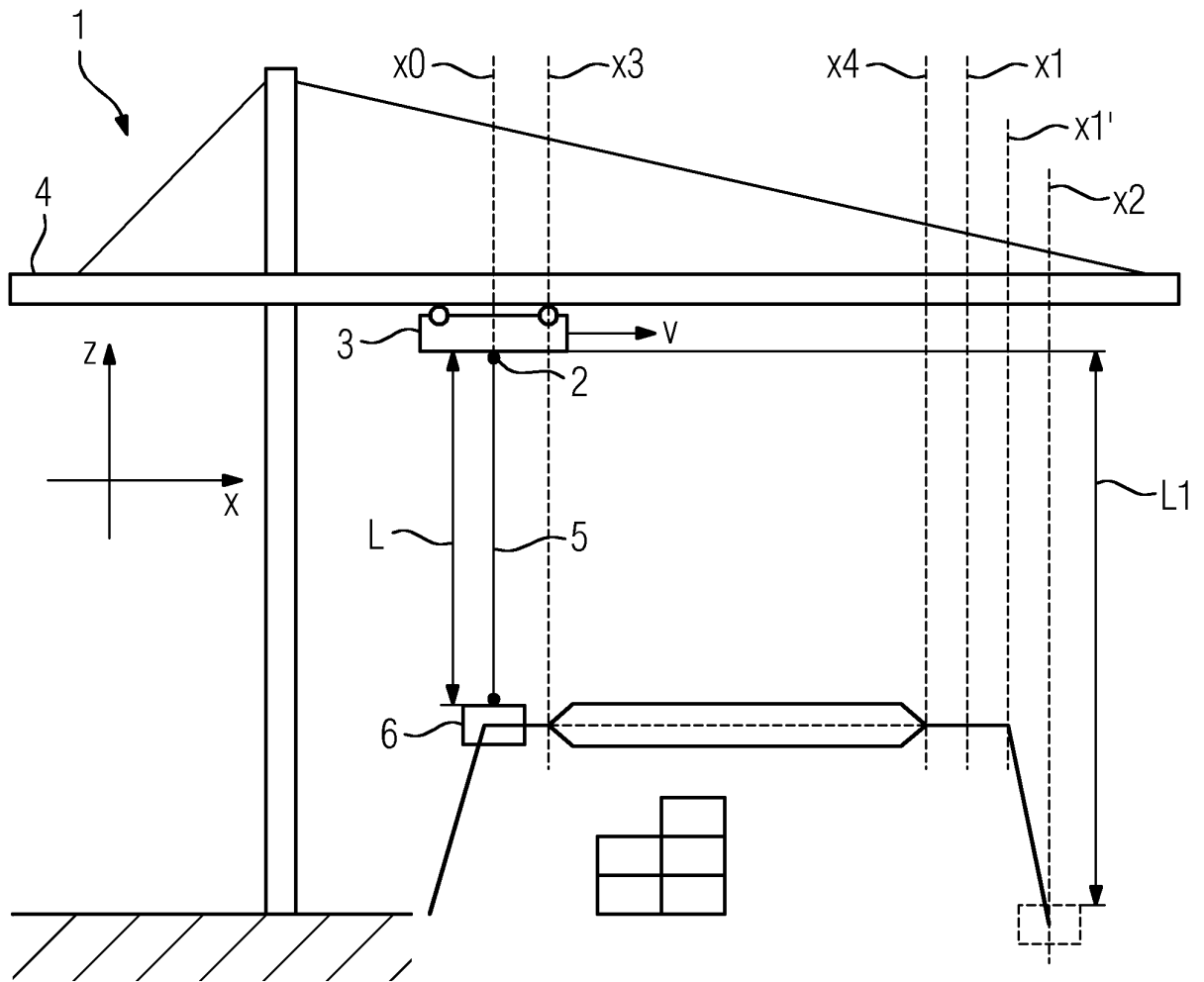


FIG 8

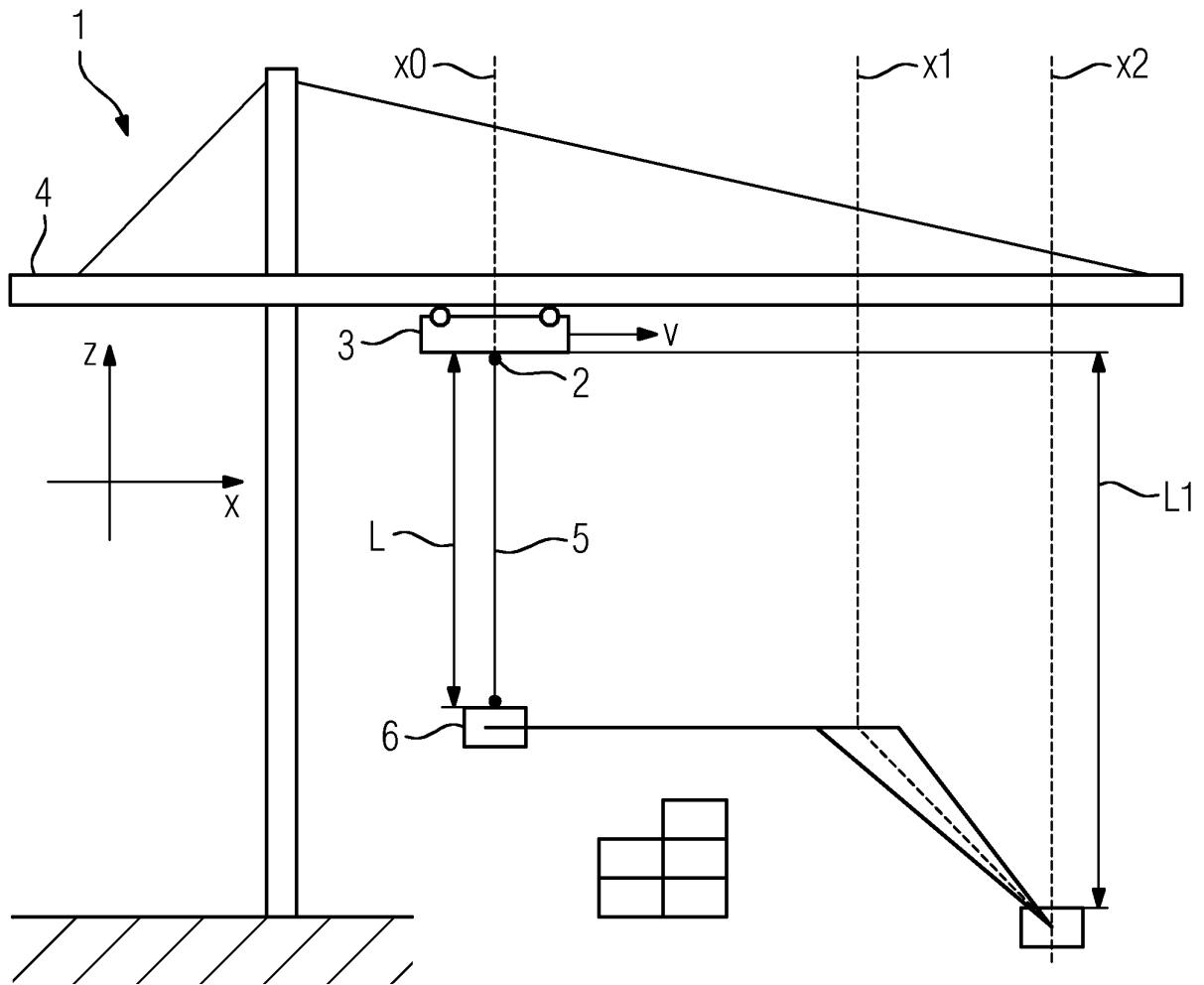


FIG 9

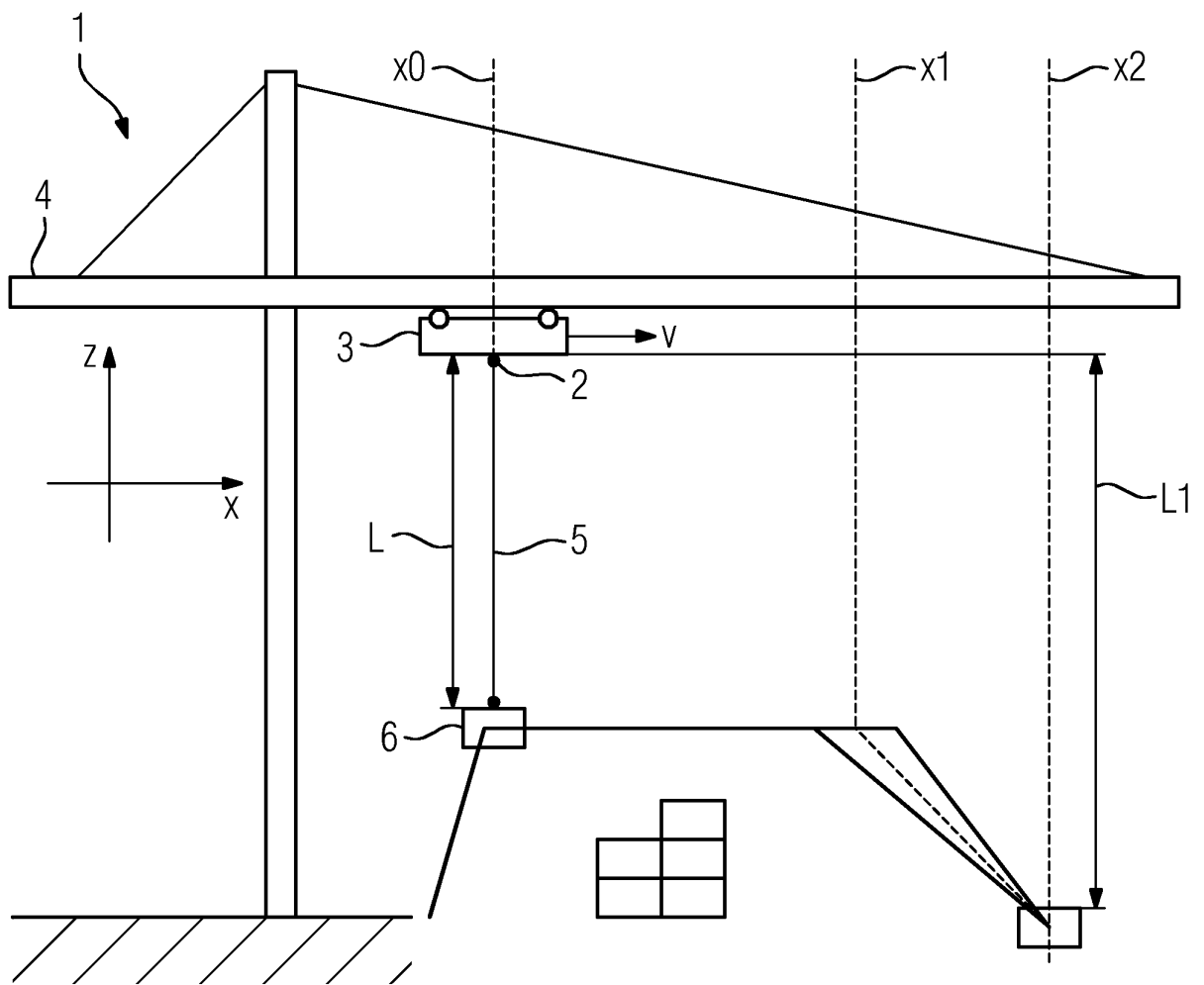
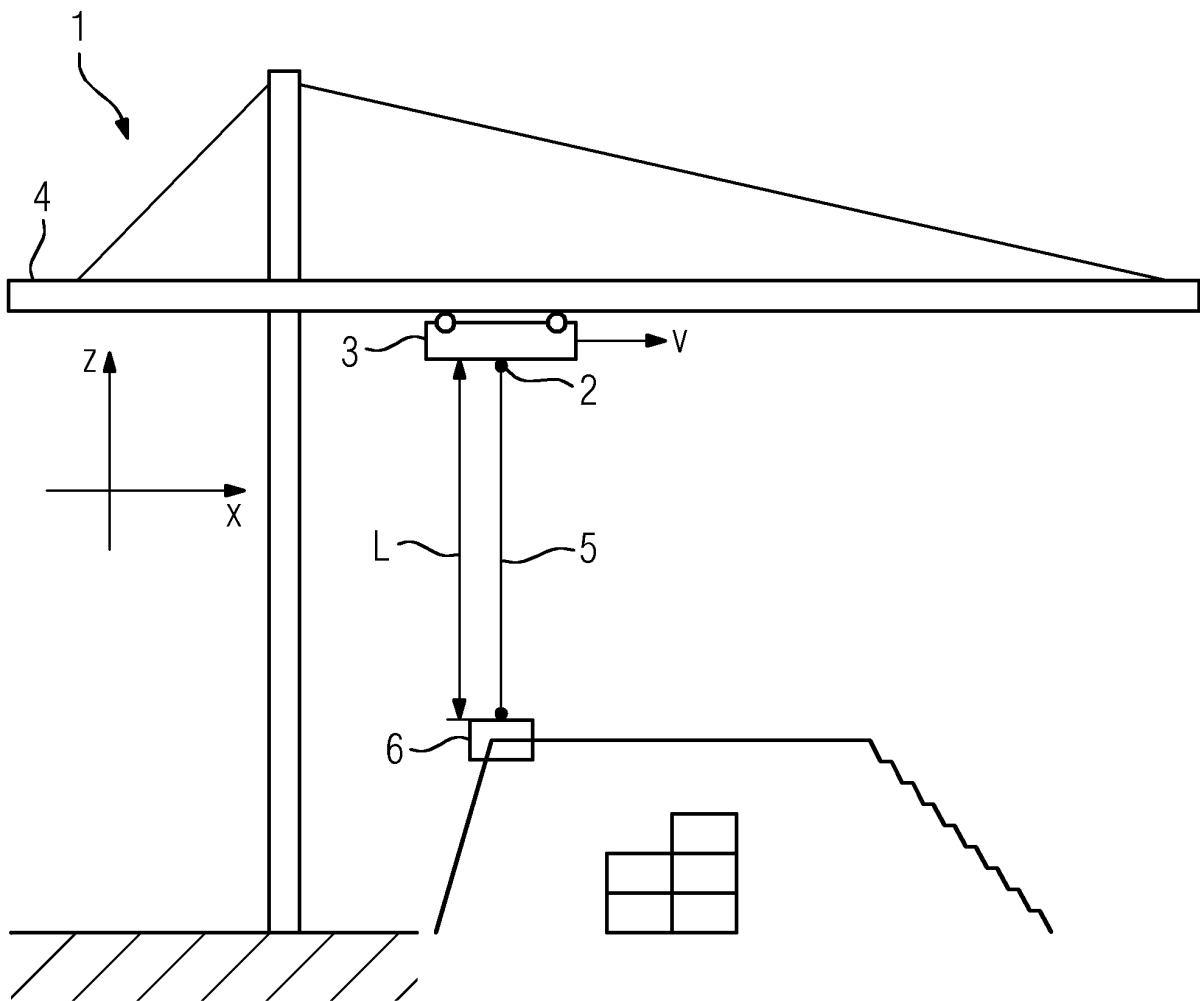


FIG 10



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 20120234787 A1 [0011]