

(19)



(11)

EP 3 978 420 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
27.03.2024 Patentblatt 2024/13

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B66F 9/10 ^(2006.01) **B66F 9/14** ^(2006.01)
B66F 17/00 ^(2006.01) **B66F 9/075** ^(2006.01)
B66F 9/08 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21196263.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B66F 17/003; B66F 9/0755; B66F 9/08; B66F 9/10; B66F 9/148

(22) Anmeldetag: **13.09.2021**

(54) **VERFAHREN ZUR DÄMPFUNG VON HUBMAST-TORSIONSSCHWINGUNGEN BEI EINEM FLURFÖRDERZEUG UND FLURFÖRDERZEUG**

METHOD FOR DAMPING MAST TORSIONAL VIBRATION IN AN INDUSTRIAL TRUCK AND INDUSTRIAL TRUCK

PROCÉDÉ D'AMORTISSEMENT DES VIBRATIONS DE TORSION D'UN MÂT DE LEVAGE DANS UN CHARIOT DE MANUTENTION ET CHARIOT DE MANUTENTION

(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

(72) Erfinder:

- **FRANCOIS, Yves-Jocelyn**
63739 Aschaffenburg (DE)
- **BULLERMANN, Björn**
21279 Hollsenstedt (DE)

(30) Priorität: **30.09.2020 DE 102020125529**
16.10.2020 DE 102020127348

(74) Vertreter: **Patentship Patentanwaltgesellschaft**
Schertlinstraße 29
86159 Augsburg (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
06.04.2022 Patentblatt 2022/14

(56) Entgegenhaltungen:

(73) Patentinhaber:

- **STILL GmbH**
22113 Hamburg (DE)
- **Linde Material Handling GmbH**
63743 Aschaffenburg (DE)

EP-A1- 1 203 745 **EP-A1- 3 670 428**
DE-A1-102008 020 592 **DE-A1-102008 020 595**
DE-A1-102015 102 368 **US-A- 4 093 091**
US-A1- 2014 216 853 **US-A1- 2018 170 734**

EP 3 978 420 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 Erfindung betrifft ein Verfahren zur Dämpfung von Hubmast-Torsionsschwingungen bei einem Flurförderzeug, insbesondere einem Schubmaststapler, mit einer einen Hubmast mit mindestens zwei Mastprofilen umfassenden Lasthandhabungsvorrichtung zur Aufnahme einer Last, wobei der Lastschwerpunkt einer aufgenommenen Last mittels einer Seitenschiebereinrichtung lateral verschiebbar ist, welche mittels einer Steuerungseinrichtung gesteuert wird.

[0002] Ferner betrifft die Erfindung ein Flurförderzeug zur Durchführung des Verfahrens.

[0003] Zu den Flurförderzeugen gehören beispielsweise Gabelstapler, insbesondere Gegengewichtsgabelstapler, und Schubmaststapler. Derartige Flurförderzeuge sind mit einer Lasthandhabungsvorrichtung zum Stapeln und Einlagern von Transportgütern ausgestattet. Die Lasthandhabungsvorrichtung umfasst üblicherweise einen Hubmast mit mindestens einem Mastprofil. In der Regel sind zwei parallel zueinander angeordnete und seitlich voneinander beabstandete Mastprofile mit vertikaler Ausrichtung vorgesehen. Der Hubmast kann auch mit einer Neigeinrichtung versehen sein, so dass die Mastprofile gegen die Vertikale neigbar sind. An den Mastprofilen kann ein Lastschlitten, insbesondere Gabelträger, an dem typischerweise Gabelzinken montiert sind, z.B. mittels einer Hubzylindereinrichtung einer Arbeitshydraulik vertikal verschoben und somit angehoben und abgesenkt werden. Auf den Gabelzinken kann eine Last beispielsweise über eine Palette aufgenommen werden. Häufig ist auch eine Seitenschiebereinrichtung vorgesehen, mit der der Lastschwerpunkt der aufgenommenen Last seitlich versetzt werden kann. Hierzu kann beispielsweise der Lastschlitten gegenüber den Mastprofilen des Hubmastes mittels eines Seitenschubzylinders seitlich verschoben werden.

[0004] Beim Aufnehmen oder Abstellen von schweren Lasten in großer Hubhöhe tritt prinzipiell das Problem von Schwingungen des Hubmastes auf. Während dieses Verhalten bei Gegengewichtsgabelstaplern wenig auffällig ist, ist es bei Schubmaststaplern eher vordergründig und störend. Schubmaststapler haben im Vergleich zu Gegengewichtsgabelstaplern in der Regel viel höhere Mastprofile und kaum Komponenten, welche die Schwingungsenergie aufnehmen und dissipieren können. Schubmaststapler weisen üblicherweise beispielsweise keine Gummireifen und eine Mastanbindung ohne Gummipufferung auf.

[0005] Aus diesem Grund wurden für Schubmaststapler Assistenzsysteme entwickelt, welche gelegentliche Mastschwingungen aktiv dämpfen.

[0006] Diese Systeme sind allerdings ausschließlich für die Tilgung von Nickschwingungen des Hubmastes nach Vorne und Hinten konzipiert, die vorwiegend durch das Fahren der Last in das Regal oder aus dem Regal oder das Schieben des Hubmastes in Längsrichtung des Flurförderzeugs entstehen, aber nicht für die Tilgung von

Hubmast-Torsionsschwingungen um die vertikale Achse, die vorwiegend durch die Betätigung der Seitenschiebereinrichtung angeregt werden. Zur Tilgung der Nickschwingungen des Hubmastes erfolgt die Schwingungsdämpfung durch aktiven Eingriff auf die Mastschubfunktion - sprich in Längsrichtung. Eine solche Eingriffsmöglichkeit ist für die Dämpfung von Torsionsschwingungen des Hubmastes ungeeignet.

[0007] Systeme mit aktiver Dämpfung der Hubmast-Torsionsschwingungen in geschlossenem Kreis sind bisher nicht bekannt. Bekannt ist eine vorgesteuerte modellbasierte Ansteuerung der Seitenschiebereinrichtung, basierend auf den wesentlichen Größen Hubhöhe und Lastgewicht, welche für eine Minimierung der Torsionsschwingungen des Hubmastes nach Ende der Betätigung der Seitenschiebereinrichtung ausgelegt ist. Typischerweise wird dafür ein Vorsteuerungsfilter eingesetzt, dessen Übertragungsfunktion sich nach der Umkehrfunktion der Übertragungsfunktion der Regelstrecke richtet, und eine bestmögliche Kompensation in offenem Kreis der Pole- und Nullstellen der Regelstrecke anstrebt.

[0008] Die Nachteile einer solchen vorgesteuerten aktiven Dämpfung der Hubmast-Torsionsschwingungen bestehen in einer schlechten Performance bei geringen Abweichungen zwischen Modell und Realität sowie darin, dass keine Dämpfung von unvorhersehbaren Anregungen möglich ist. Diese können beispielsweise durch Lösen einer Torsions-Vorspannung beim Aufnehmen der Last im Regal sowie durch Kontakt mit dem Regal oder mit anderen Paletten während der Betätigung auftreten.

[0009] Bei Flurförderzeugen mögen Torsionsschwingungen des Hubmastes um die vertikale Achse zwar nicht so vordergründig sein wie Nickschwingungen des Hubmastes nach Vorne und hinten, aber Torsionsschwingungen des Hubmastes um die vertikale Achse sind, wenn sie auftreten, quasi ungedämpft und benötigen daher sehr viel Zeit zum Abklingen.

[0010] Die DE 10 2008 020 595 A1 und die DE 10 2008 020 592 A1 offenbaren jeweils ein Verfahren zur Schwingungsdämpfung von Torsionsschwingungen eines Hubmastes eines Flurförderzeugs. Zur aktiven Dämpfung der Torsionsschwingungen des Hubmastes kann ein Seitenschubzylinder entsprechend angesteuert werden, wobei zur Erfassung der Torsionsschwingungen des Hubmastes ein Sensor offenbart ist, der die Druckschwankungen des Seitenschubzylinders bzw. den Druckverlauf im Seitenschubzylinder bzw. die auf den Anlenkungspunkt des Zylinders wirkende Kraft erfasst.

[0011] Die EP 3 670 428 A1 offenbart ein Verfahren zur Lastbestimmung eines Flurförderzeugs, mit dem die Lastmasse und der Lastschwerpunkt der Last anhand der mittels einer Sensorik erfassten elastischen Verformungen des Mastporfils bestimmt werden.

[0012] Die US 2014/216853 A1 offenbart ein Steuerungssystem, mit dem Torsionsschwingungen des gesamten Flurförderzeugs um eine Hochachse Z verringert

werden können.

[0013] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art sowie ein Flurförderzeug zur Durchführung des Verfahrens so auszugestalten, dass Hubmast-Torsionsschwingungen in allen Betriebssituationen zuverlässig gedämpft werden können.

[0014] Diese Aufgabe wird verfahrensseitig erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass mittels einer Sensorik elastische Verformungen der Mastprofile des Hubmastes ermittelt werden, wobei aus dem Unterschied der elastischen Verformungen der verschiedenen Mastprofile des Hubmastes ein Torsionswert des Hubmastes gebildet wird, der in einem geschlossenen Regelkreis zur Steuerungseinrichtung zurückgeführt und zur aktiven Dämpfung der Hubmast-Torsionsschwingungen durch angepasste Ansteuerung der Seitenschiebereinrichtung verwendet wird.

[0015] Es ist also ein geschlossener Regelkreis vorgesehen, der beim Erkennen von Hubmast-Torsionsschwingungen um die vertikale Achse eine gezielte, aktive Gegenreaktion ermöglicht. Hierzu werden elastische Verformungen in beiden Haupt-Mastprofilen des Hubmastes gemessen. Üblicherweise umfasst der Hubmast zwei, parallel ausgerichtete und seitlich voneinander beabstandete Mastprofile. In diesem Fall werden in beiden Mastprofilen jeweils die elastischen Verformungen gemessen. Aus einem Unterschied der elastischen Verformungen in den verschiedenen Mastprofilen kann auf eine Torsion des Hubmastes um die vertikale Achse geschlossen werden. Beispielsweise kann aus der Differenz der mittels der Sensorik erfassten Biegemomente der Mastprofile ein Torsionswert gebildet werden.

[0016] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird als Torsionswert ein lateraler Torsionsversatz verwendet. Dabei wird anstelle eines Torsionswinkels und seiner ersten und zweiten Ableitung der daraus resultierende laterale Torsionsversatz benutzt.

[0017] Zweckmäßigerweise gibt die Steuerungseinrichtung einen Seitenschubgeschwindigkeits-Sollwert für eine Seitenschub-Geschwindigkeit vor.

[0018] Dabei ist in einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass der Torsionswert in einem geschlossenen Regelkreis proportional mit invertiertem Vorzeichen auf den Seitenschubgeschwindigkeits-Sollwert zurückgeführt wird. Wird als Torsionswert ein lateraler Torsionsversatz verwendet, so kann somit bereits bei einem geringen Versatz mit der Seitenschiebereinrichtung aktiv gegengesteuert werden, wodurch Torsionsschwingungen des Hubmastes von Anfang an effektiv gedämpft werden können.

[0019] Zum Erkennen der elastischen Verformungen der Mastprofile werden als Sensorik vorzugsweise Dehnungssensoren verwendet, wobei an jedem Mastprofil mindestens ein Dehnungssensor vorgesehen ist.

[0020] Dabei werden als Dehnungssensoren zweckmäßigerweise Dehnungsmessstreifen, sogenannte

Dehnungsmessstreifen, verwendet. Die Verwendung von Dehnungsmessstreifen ist an sich eine bewährte Methode zur Spannungs- und Dehnungsmessung. Dehnungsmessstreifen kommen in den verschiedensten Anwendungsfällen zum Einsatz, um über die Dehnungsmessung indirekt Kräfte zu ermitteln.

[0021] Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der Torsionswert aus der Differenz von Signalen der Dehnungssensoren an den verschiedenen Mastprofilen ermittelt wird.

[0022] Dabei erfolgt die Messung bevorzugt kontinuierlich, so dass zu jedem Zeitpunkt der aktuelle Torsionswert bestimmt werden kann.

[0023] Mit Vorteil wird zur Bildung des Torsionswerts ein Hochpassfilter verwendet.

[0024] Bei der Rückführung des Torsionswerts im geschlossenen Regelkreis zur Steuerungseinrichtung wird bevorzugt ein vorgegebener Verstärkungsfaktor angewendet. Dabei beziehen sich die resultierenden Verstärkungen auf den momentan betrachteten Arbeitspunkt insbesondere bei einem gegebenen Hubmast, einer gegebenen Hubhöhe und einem gegebenen Lastschwerpunkt.

[0025] Die Erfindung betrifft außerdem ein Flurförderzeug, insbesondere einen Schubmaststapler, zur Durchführung des Verfahrens mit einer einen Hubmast mit mindestens zwei Mastprofilen umfassenden Lasthandhabungsvorrichtung zur Aufnahme einer Last, und einer, mit einer Steuerungseinrichtung in Wirkverbindung stehenden, Seitenschiebereinrichtung zum lateralen Verschieben des Lastschwerpunkts einer aufgenommenen Last.

[0026] Beim Flurförderzeug wird die gestellte Aufgabe dadurch gelöst, dass eine Sensorik vorgesehen ist, die dazu ausgebildet ist, elastische Verformungen der Mastprofile des Hubmastes zu ermitteln und aus dem Unterschied der elastischen Verformungen der verschiedenen Mastprofile des Hubmastes einen Torsionswert des Hubmastes zu bilden, und ein geschlossener Regelkreis vorgesehen ist, der eine Rückführung des Torsionswertes des Hubmastes zur Steuerungseinrichtung umfasst, und die Steuerungseinrichtung dazu eingerichtet ist, zur aktiven Dämpfung der Hubmast-Torsionsschwingungen die Ansteuerung der Seitenschiebereinrichtung an den Torsionswert des Hubmastes anzupassen.

[0027] Dabei umfasst die Sensorik zweckmäßigerweise Dehnungssensoren, wobei an jedem Mastprofil mindestens ein Dehnungssensor angeordnet ist.

[0028] Die Dehnungssensoren sind bevorzugt als Dehnungsmessstreifen ausgebildet.

[0029] Zu den Vorteilen der erfindungsgemäßen aktiven Dämpfung von Hubmast-Torsionsschwingungen gehören folgende Punkte:

- Eine bessere und einfachere Bedienung beim Abnehmen und Absetzen der Last in großer Hubhöhe. Die Folgen sind

- a) eine Entlastung der Bedienperson und
- b) eine höhere Umschlagsleistung des Flurförderzeugs.

- Mehr Sicherheit, weil schwingende Lasten in großer Hubhöhe über eine längere Zeit ein gewisses Gefährdungspotential implizieren.
- Eine Entlastung von Komponenten, beispielsweise der Mastrollen und der Mastprofile, da die Belastungen durch die Hubmasttorsion viel schneller abklingen.

[0030] Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden anhand der in den schematischen Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Hierbei zeigen

Figur 1 ein Signal-Flussdiagramm zur Modellierung der Seitenschub-Funktion und

Figur 2 ein Signal-Flussdiagramm zur Modellierung der Seitenschub-Funktion mit der erfindungsgemäßen, aktiven Schwingungsdämpfung.

[0031] In der Figur 1 ist ein Signal-Flussdiagramm zur Modellierung der Seitenschub-Funktion einer Seitenschiebereinrichtung eines Flurförderzugs dargestellt. Von einer Steuerungseinrichtung (Controller) C wird ein Seitenschubgeschwindigkeits-Sollwert für eine Seitenschub-Geschwindigkeit y'_{des} (desired shift speed) der Seitenschiebereinrichtung (Plant) P vorgegeben. In einem Aktuator A der Seitenschiebereinrichtung wird der Seitenschub-Sollwert in einen Sollwert für eine Zylindergeschwindigkeit y'_{cyl} für einen Seitenschubzylinder umgesetzt. Aus der Torsionsgeschwindigkeit $\dot{\delta}y$ und dem lateralen Torsionsversatz δy (elastic deflection) des Hubmastes ergeben sich bei einem statischen Verstärkungsfaktor k_{st} und der Masse m die zweite Ableitung y'' und die erste Ableitung y' der lateralen Position des Lastschwerpunkts einer aufgenommenen Last im Raum und somit die resultierende Seitenschub-Geschwindigkeit y' (resulting shift speed).

[0032] Dabei werden anstelle des Torsionswinkels und seiner ersten und zweiten Ableitungen der daraus resultierende laterale Torsionsversatz δy (elastic deflection) und die ersten und zweiten Ableitungen y' und y'' der lateralen Position des Lastschwerpunkts im Raum benutzt. Es besteht ein quasi-linearer Zusammenhang zwischen Winkel kleiner Amplitude und lateralem Versatz. Die resultierenden Verstärkungen beziehen sich auf den momentan betrachteten Arbeitspunkt insbesondere bei einem gegebenen Hubmast, einer gegebenen Hubhöhe und einem gegebenen Lastschwerpunkt.

[0033] Die Regelstrecke kann als typisches Massenfeder-System zweiter Ordnung vereinfacht werden, dessen Dämpfung von der Torsionsgeschwindigkeit $\dot{\delta}y$ direkt über die Verstärkung mit dem Verstärkungsfaktor k_{dp} (passive damping) abhängig ist. Das Problem ist hier,

dass die Verstärkung k_{dp} sehr niedrig ist und eine sehr schwache Dämpfung des Systems bewirkt (extremely weak).

[0034] Die Figur 2 zeigt das Signal-Flussdiagramm zur Modellierung der Seitenschub-Funktion aus der Figur 1 mit der erfindungsgemäßen aktiven Schwingungsdämpfung.

[0035] Dabei geht die Erfindung von folgender Überlegung aus:

Häufig werden hydraulische Systeme, wie zum Beispiel mit Hydrauliköl arbeitende Hydrostate von Gabelstaplern, durch Leakage-Effekte gedämpft. Die Dämpfung bringende Wirkung entsteht durch eine gewisse Proportionalität zwischen der Kraft aufbauenden Größe, zum Beispiel einem Öl-Hochdruck, und einer (parasitären) Reduzierung der Geschwindigkeits-Anforderung, zum Beispiel einem Öl-Durchfluss.

[0036] Würde nun der Seitenschubzylinder unter der Torsions-Belastung ebenfalls durch Leakage-Effekte in der Verstellung nachgeben, dann würde eine dämpfende Wirkung entstehen. Da dieser parasitäre stabilisierende Effekt vom Seitenschieber selbst nicht gegeben ist, liegt der Erfindung der Gedanke zu Grunde, ihn elektronisch nachzubilden.

[0037] Hierzu ist gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel der Erfindung vorgesehen, dass die Torsion des Hubmastes aufgrund der Torsionsschwingung als Torsionsversatz δy (elastic deflection) mittels einer Sensorik S aus der Differenz der Signale von zwei Dehnungssensoren erfasst wird, von denen jeweils einer an einem Mastprofil des Hubmastes angebracht ist. Der Wert des Torsionsversatzes δy (elastic deflection) wird proportional mit invertiertem Vorzeichen auf den Seitenschubgeschwindigkeits-Sollwert für die Seitenschub-Geschwindigkeit y'_{des} (desired shift speed) zurückgeführt. Dabei wird ein aktiver Verstärkungsfaktor k_{da} (active damping) angewendet.

40 Patentansprüche

1. Verfahren zur Dämpfung von Hubmast-Torsionsschwingungen bei einem Flurförderzeug, insbesondere einem Schubmaststapler, mit einer einen Hubmast mit mindestens zwei Mastprofilen umfassenden Lasthandhabungsvorrichtung zur Aufnahme einer Last, wobei der Lastschwerpunkt einer aufgenommenen Last mittels einer Seitenschiebereinrichtung (P) lateral verschiebbar ist, welche mittels einer Steuerungseinrichtung (C) gesteuert wird, wobei mittels einer Sensorik (S) elastische Verformungen der Mastprofile ermittelt werden, wobei aus dem Unterschied der elastischen Verformungen der verschiedenen Mastprofile ein Torsionswert gebildet wird, der in einem geschlossenen Regelkreis zur Steuerungseinrichtung (C) zurückgeführt und zur aktiven Dämpfung der Hubmast-Torsionsschwingungen durch angepasste Ansteuerung der Seiten-

- schiebereinrichtung (P) verwendet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Torsionswert ein lateraler Torsionsversatz (δy) verwendet wird. 5
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerungseinrichtung (C) einen Seitenschubgeschwindigkeits-Sollwert für eine Seitenschub-Geschwindigkeit (y'_{des}) vorgibt. 10
 4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Torsionswert in einem geschlossenen Regelkreis proportional mit invertiertem Vorzeichen auf den Seitenschubgeschwindigkeits-Sollwert für die Seitenschub-Geschwindigkeit (y'_{des}) zurückgeführt wird. 15
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Sensorik (S) Dehnungssensoren verwendet werden, wobei an jedem Mastprofil mindestens ein Dehnungssensor vorgesehen ist. 20
 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Dehnungssensoren Dehnungsmessstreifen verwendet werden. 25
 7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Torsionswert aus der Differenz von Signalen der Dehnungssensoren an den verschiedenen Mastprofilen ermittelt wird. 30
 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Bildung des Torsionswerts ein Hochpassfilter verwendet wird. 35
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Rückführung des Torsionswerts im geschlossenen Regelkreis zur Steuerungseinrichtung (C) ein vorgegebener Verstärkungsfaktor (k_{da}) angewendet wird. 40
 10. Flurförderzeug, insbesondere Schubmaststapler, eingerichtet zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, mit einer einen Hubmast mit mindestens zwei Mastprofilen umfassenden Lasthandhabungsvorrichtung zur Aufnahme einer Last, und einer, mit einer Steuerungseinrichtung (C) in Wirkverbindung stehenden, Seitenschiebereinrichtung (P) zum lateralen Verschieben des Lastschwerpunkts einer aufgenommenen Last, wobei eine Sensorik (S) vorgesehen ist, die dazu ausgebildet ist, elastische Verformungen der Mastprofile zu ermitteln und aus dem Unterschied der elastischen Verformungen der verschiedenen Mastprofile einen Torsionswert zu bilden, und ein geschlossener Regelkreis vorgesehen ist, der eine Rückführung des

Torsionswertes zur Steuerungseinrichtung (C) umfasst, und die Steuerungseinrichtung (C) dazu eingerichtet ist, zur aktiven Dämpfung der Hubmast-Torsionsschwingungen die Ansteuerung der Seitenschiebereinrichtung (P) an den Torsionswert anzupassen.

11. Flurförderzeug nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensorik (S) Dehnungssensoren umfasst, wobei an jedem Mastprofil mindestens ein Dehnungssensor angeordnet ist.
12. Flurförderzeug nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dehnungssensoren als Dehnungsmessstreifen ausgebildet sind.

Claims

1. Method for damping lift mast torsional vibrations in an industrial truck, in particular a reach truck, having a load handling apparatus, which comprises a lift mast having at least two mast profiles, for receiving a load, wherein the load centre of a received load can be shifted laterally by means of a lateral shift device (P) which is controlled by means of a control device (C), wherein elastic deformations of the mast profiles are determined by means of a sensor system (S), wherein a torsion value is formed from the difference in the elastic deformations of the various mast profiles, said torsion value being fed back to the control device (C) in a closed control loop and being used to actively damp the lift mast torsional vibrations by way of adjusted actuation of the lateral shift device (P).
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** a lateral torsion offset (δy) is used as the torsion value.
3. Method according to Claim 1 or 2 **characterized in that** the control device (C) specifies a lateral shift speed setpoint value for a lateral shift speed (y'_{des}).
4. Method according to Claim 3, **characterized in that** the torsion value is fed back in a closed control loop proportionally to the inverted sign of the lateral shift speed setpoint value for the lateral shift speed (y'_{des}).
5. Method according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** strain sensors are used as the sensor system (S), wherein at least one strain sensor is provided for each mast profile.
6. Method according to Claim 5, **characterized in that** strain gauges are used as strain sensors.
7. Method according to Claim 5 or 6, **characterized in**

that the torsion value is ascertained from the difference in signals of the strain sensors on the various mast profiles.

8. Method according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** a high-pass filter is used to form the torsion value. 5
9. Method according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that** a predetermined gain (k_{da}) is applied during feedback of the torsion value in the closed control loop to the control device (C). 10
10. Industrial truck, in particular reach truck, configured to carry out a method according to one of Claims 1 to 9, having a load handling apparatus, which comprises a lift mast having at least two mast profiles, for receiving a load, and a lateral shift device (P), which is operatively connected to a control device (C), for laterally shifting the load centre of a received load, wherein provision is made of a sensor system (S) which is designed to determine elastic deformations of the mast profiles and to form a torsion value from the difference in the elastic deformations of the various mast profiles, and provision is made of a closed control loop which comprises feedback of the torsion value to the control device (C), and the control device (C) is configured to adjust the actuation of the lateral shift device (P) to the torsion value in order to actively damp the lift mast torsional vibrations. 15 20 25 30
11. Industrial truck according to Claim 10, **characterized in that** the sensor system (S) comprises strain sensors, wherein at least one strain sensor is arranged for each mast profile. 35
12. Industrial truck according to Claim 11, **characterized in that** the strain sensors are designed as strain gauges. 40

Revendications

1. Procédé permettant d'amortir des vibrations de torsion d'un mât de levage sur un chariot de manutention, en particulier un gerbeur à fourche rétractable, comprenant un dispositif de manutention pourvu d'un mât de levage avec au moins deux profilés de mât et destiné à recevoir une charge, dans lequel le centre d'application de charge d'une charge reçue peut être décalé latéralement à l'aide d'un moyen de gerbeur latéral (P) qui est commandé à l'aide d'un moyen de commande (C), dans lequel des déformations élastiques des profilés de mât sont déterminées à l'aide d'un système de capteurs (S), dans lequel une valeur de torsion est formée à partir de la différence des déformations élastiques des différents profilés de mât, ladite valeur est ramenée au 45 50 55

moyen de commande (C) dans une boucle d'asservissement fermée et est utilisée pour l'amortissement actif des vibrations de torsion de mât de levage par un pilotage adapté du moyen de gerbeur latéral (P).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'un** décalage de torsion latéral (δy) est utilisé comme valeur de torsion.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le moyen de commande (C) spécifie une valeur de consigne de vitesse de poussée latérale pour une vitesse de poussée latérale (y'_{des}).
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la valeur de torsion est ramenée dans une boucle d'asservissement fermée proportionnellement avec un signe inversé à la valeur de consigne de vitesse de poussée latérale pour la vitesse de poussée latérale (y'_{des}).
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** des capteurs de contrainte sont utilisés comme système de capteurs (S), dans lequel au moins un capteur de contrainte est prévu au niveau de chaque profilé de mât.
6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** des extensomètres sont utilisés comme capteurs de contrainte.
7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, **caractérisé en ce que** la valeur de torsion est déterminée à partir de la différence de signaux des capteurs de contrainte au niveau des différents profilés de mât.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce qu'un** filtre passe-haut est utilisé pour former la valeur de torsion.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce qu'un** facteur d'amplification (k_{da}) prédéfini est appliqué lorsque la valeur de torsion est ramenée au moyen de commande (C) dans une boucle d'asservissement fermée.
10. Chariot de manutention, en particulier gerbeur à fourche rétractable, aménagé pour exécuter le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, comprenant un dispositif de manutention pourvu d'un mât de levage avec au moins deux profilés de mât et destiné à recevoir une charge, et un moyen de gerbeur latéral (P), en relation active avec le moyen de commande (C), pour le décalage latéral du centre d'application de charge d'une charge reçue, dans lequel un système de capteurs (S) est prévu qui est réalisé pour déterminer des déformations

élastiques des profilés de mât et pour former une valeur de torsion à partir de la différence des déformations élastiques des différents profilés de mât, et une boucle d'asservissement fermée est prévu qui comprend un retour de la valeur de torsion au moyen de commande (C), et le dispositif de commande (C) est aménagé, en vue d'un amortissement actif des vibrations de torsion de mât de levage, pour adapter le pilotage du moyen de gerbeur latéral (P) à la valeur de torsion.

- 5
10
11. Chariot de manutention selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le système de capteurs (S) comprend des capteurs de contrainte, dans lequel au moins un capteur de contrainte est associé à chaque profilé de mât.
- 15
12. Chariot de manutention selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** les capteurs de contrainte sont réalisés sous forme d'extensomètres.
- 20

25

30

35

40

45

50

55

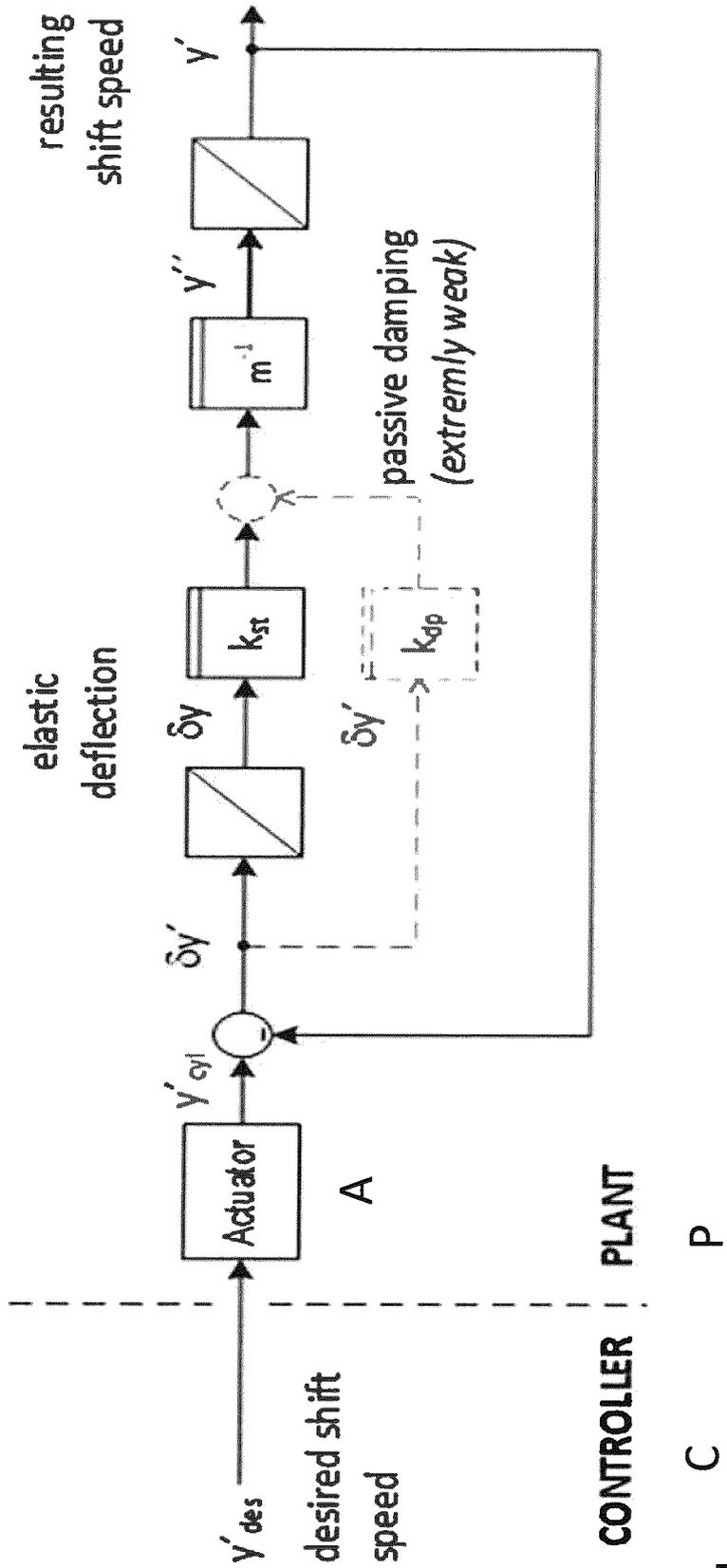


Fig. 1

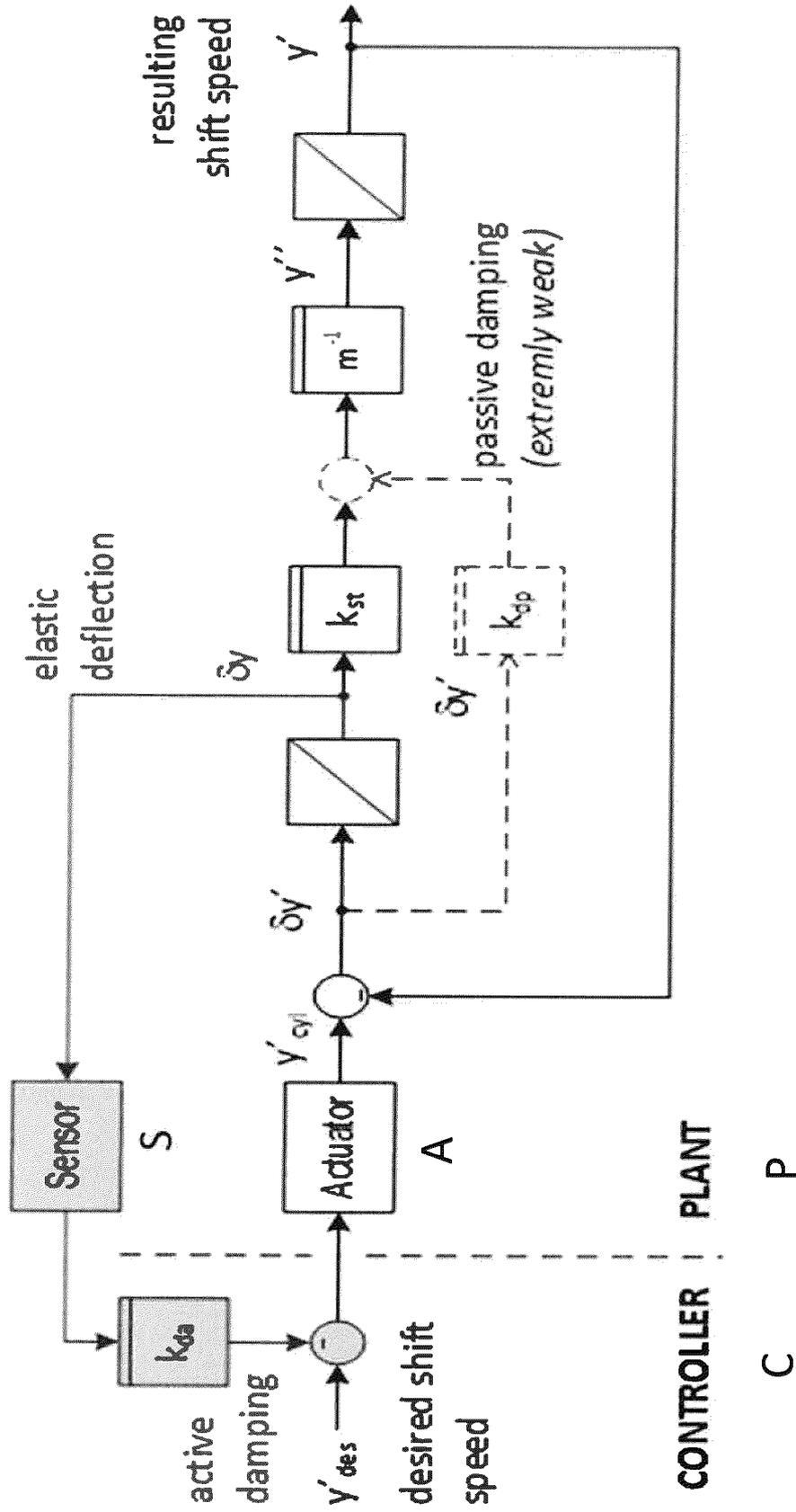


Fig. 2

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

- DE 102008020595 A1 **[0010]**
- DE 102008020592 A1 **[0010]**
- EP 3670428 A1 **[0011]**
- US 2014216853 A1 **[0012]**