



(11)

EP 3 115 331 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
15.05.2019 Patentblatt 2019/20

(51) Int Cl.:
B66C 13/06 (2006.01) B66F 9/07 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16001465.0**

(22) Anmeldetag: **30.06.2016**

(54) **MASCHINENVORRICHTUNG, DIE AUS EINER IMPULSFÖRMIGEN ANTRIEBSBELASTUNG ZU SCHWINGUNGEN NEIGT UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER DERARTIGEN VORRICHTUNG**

MACHINE DEVICE, WITH A TENDENCY TO OSCILLATE UNDER A PULSE-FORMED DRIVE LOAD AND METHOD FOR OPERATING SUCH A DEVICE

DISPOSITIF DE MACHINE INCLINANT A PARTIR DE CHARGE D'ENTRAINEMENT EN FORME D'IMPULSIONS VERS DES OSCILLATIONS ET PROCEDE DE FONCTIONNEMENT D'UN TEL DISPOSITIF

(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**

(30) Priorität: **03.07.2015 DE 102015008506**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
11.01.2017 Patentblatt 2017/02

(73) Patentinhaber: **Gebhardt Fördertechnik GmbH
D-74889 Sinsheim (DE)**

(72) Erfinder:
• **Gebhardt, Marco
D-74889 Sinsheim (DE)**

• **Schindler, Christian
D-41069 Mönchengladbach (DE)**
• **Eder, Jörg
D-67661 Kaiserslautern (DE)**

(74) Vertreter: **Clemens, Gerhard et al
Patentanwaltskanzlei
Müller, Clemens & Hach
Lerchenstrasse 56
74074 Heilbronn (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**DE-B4- 19 907 989 DE-C2- 10 063 722
US-A1- 2011 006 023**

EP 3 115 331 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

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Maschinenvorrichtung, die aus einer impulsförmigen Antriebsbelastung zu Schwingungen neigt, insbesondere Regalbediengerät, Fertigungsmaschine, Roboter, Kran oder dergleichen, mit einer verfahrbaren Einheit, einem mit der verfahrbaren Einheit gekoppelten Aufnahmemittel zur Aufnahme eines Förderguts beziehungsweise einer Last, einem ersten Antriebsaggregat zum Bewegen der verfahrbaren Einheit entlang eines Fahrweges von einer Anfangs- in eine Endposition, einer Steuereinrichtung zum Steuern der Fahrbewegung der verfahrbaren Einheit, wobei das erste Antriebsaggregat durch Vorgabe des zeitlichen Verlaufs einer Führungsgröße, nämlich des zeitlichen Beschleunigungsverlaufs, über die Steuereinrichtung gesteuert wird und die Vorrichtung während des Fahrens zu in Fahrtrichtung auftretenden Schwingungen neigt, und wobei der zeitliche Beschleunigungsverlauf beim Anfahren bis zum Erreichen einer vorgegebenen Fahrgeschwindigkeit einen ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven oder negativen Beschleunigungsänderungsverlauf und einer Beschleunigungsänderungszeit, genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich mit konstanter positiver Beschleunigung aufweist, und beim Abbremsen bis zum Stillstand ein erster und zweiter Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven und negativen Beschleunigungsänderungsverlauf und einer Beschleunigungsänderungszeit, genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich mit konstanter negativer Beschleunigung, aufweist, wobei die Führungsgröße so angepasst ist, dass die Schwingungen möglichst klein sind.

[0002] Die Erfindung betrifft somit alle Maschinen, die zu störenden Schwingungen neigen, welche nicht durch Störgrößen außerhalb der Maschine wie beispielsweise Wind induziert werden.

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Maschinenvorrichtung.

STAND DER TECHNIK

[0004] Regalbediengeräte übernehmen automatische Ein- und Auslagerungsvorgänge von Fördergut beispielsweise in Hochregallagern. Dabei werden Lasten bewegt, die ein Gewicht von über 2 Tonnen aufweisen können, wobei Gerätehöhen von beispielsweise über 20 Meter je nach Einsatzfall bewältigt werden müssen. Für einen wirtschaftlichen Einsatz beispielsweise in automatischen Kleinteilelagern sind Beschleunigung, Geschwindigkeit sowie eine kurze Verschleißzeit und Über-

gabezeiten von großer Bedeutung für einen wirtschaftlichen Einsatz. Aufgrund der schlanken Geometrie neigen derartige Regalbediengeräte zu Schwingungen beim Fahrvorgang, insbesondere bei kurzen Verschleißzeiten, die sich jedoch positiv auf den Umsatz auswirken. Auftretende Schwingungen bedeuten eine höhere Materialbeanspruchung, beeinträchtigen somit die Lebensdauer, so dass die Verfügbarkeit sinkt und die Instandhaltungskosten steigen und wirken sich negativ auf einen optimalen Teileumsatz aus, da eine Aufnahme beziehungsweise Abgabe von Lasten im Schwingungszustand nicht möglich ist, da für eine optimale Ein beziehungsweise Auslagerung hohe Positionsgenauigkeiten des Lastaufnahmemittels erforderlich sind. Darüber hinaus muss zur betriebsfesten Auslegung eines Leichtbaumaschinen die Schwingung bei der Dimensionierung berücksichtigt werden, so dass die Wandstärken je nach Ausmaß der Schwingung angepasst werden muss und damit die Masse ansteigt. Eine höhere Masse verursacht neben größeren Antriebsmotoren auch erhöhte Energiekosten und zusätzlich einen erhöhten Verschleiß, beispielsweise an den Laufrollen.

[0005] Aus der DE 35 24 666 A1 ist ein Regalbediengerät mit einem Fahrwerk und einem vertikal daran angeordneten Mast bekannt, wobei das Fahrwerk über zwei Räderpaare abgestützt ist. Innerhalb des Regalsystems ist der Antrieb in einen Grobantrieb und einen Feintrieb unterteilt, wobei der Grobantrieb zum Anfahren der Zielposition und der Feintrieb zum Erreichen der exakten Endposition dient. Bei der Beschleunigung und Abbremsung während des Fahrprogramms kommt es dabei zu Mastschwingungen, insbesondere im oberen freien Mastende und bei einem langen Mast. Diese Schwingungen klingen sehr langsam ab, was insgesamt eine starke dynamische Beanspruchung zur Folge hat. Um die Mastschwingungen zu reduzieren sind Regalbediengeräte bekannt, beispielsweise aus der DE 44 07 862 A, bei denen der Mast in Leichtbauweise zur Verringerung seiner Masse ausgebildet ist, wobei der Mast gleichzeitig eine hohe Steifigkeit aufweist. Allerdings kann auch bei derartigen Konstruktionen eine unerwünschte Mastschwingung nicht allein wirkungsvoll unterdrückt werden.

[0006] Aus der DE 196 41 192 C2 ist ein Regalbediengerät mit einer Fahreinheit und einem daran befestigtem Mast bekannt, bei dem ein Sensor zur Ermittlung der jeweiligen Geschwindigkeit der Fahreinheit vorhanden ist. Im Bereich des freien Mastendes ist ein Messwertnehmer zur Erfassung der jeweiligen Mastgeschwindigkeit des freien Mastendes angeordnet. Dabei ist der Messwertnehmer als Istwertgeber für eine Positionsregelungseinrichtung verbunden. Die Soll-Geschwindigkeitsvorgabe der Positionsregelungseinrichtung wird mit einem Geschwindigkeitskorrekturwert beaufschlagt, der aus der Differenz der jeweiligen Mastgeschwindigkeit des freien Mastendes und der jeweiligen Geschwindigkeit der Fahreinheit gebildet ist. Ziel einer derartigen Ausgestaltung ist die Verminderung des Auftretens von Schwingungen während des Fahrbetriebs, wozu ein ex-

tra Sensor und eine spezielle Regelung benötigt wird.

[0007] Aus der DE 691 19 913 T2 ist ein Verfahren zum Unterdrücken von Schwingungen bei pendelnden Lasten an Kranen bekannt. Zur Schwingungsdetektion ist ebenfalls Mess- und Regelungstechnik notwendig.

[0008] Die DE 197 09 381 A1 offenbart ein Verfahren zur Unterdrückung von Pendelbewegung einer zum Transport an einer Laufkatze hängenden Last im Zielort. Dieses Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass zu einem einzigen beliebigen Zeitpunkt der Beharrungsfahrt aus den ermittelten Momentanwerten der Auslenkung und Auslenkungsgeschwindigkeit der pendelnden Last ein Beschleunigungs-Zeit-Verlauf für die verbleibende Fahrt ermittelt wird, der so beschaffen ist, dass bei Beendigung der Fahrt im vorgegebenen Zielpunkt die Pendelung der Last gleich Null ist. Insgesamt bewirkt dieses Verfahren durch den mindestens zweistufigen Bremsvorgang eine nicht optimale Dynamik, da die verfügbare Motorleistung beim Fördervorgang nicht voll ausgeschöpft wird.

[0009] In der DE 10 2009 051 846 A1 ist ein Mast für ein Regalbediengerät beschrieben. Um das Nachpendeln des Mastes beim Beschleunigen oder Abbremsen zu verringern wird ein Mast vorgeschlagen, der eine hohe Steifigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht aufweist. Der Mast weist eine Tragstrebe und eine mit der Tragstrebe verbundene Verstärkungsstruktur auf, wobei die Tragstrebe wenigstens eine Führungsschiene für das Regalbediengerät aufweist. Es ist somit eine Aufteilung des Mastes in eine Tragstrebe und in eine Verstärkungsstruktur vorgesehen. Die Minimierung der Schwingungen wird somit über eine mechanische Lösung angestrebt, in dem eine steife und leichte Mastkonstruktion gewählt wird. Dieser rein mechanische Ansatz garantiert ohne Betrachtung des Antriebs keine Schwingungsvermeidung.

[0010] In der DE 199 07 989 B4 ist ein Verfahren zur Bahnregelung von Kranen und eine Vorrichtung zum bahngenauen Verfahren einer Last gemäß dem Oberbegriff der Ansprüche 1 und 11 offenbart. Dieser Ansatz beruht auf einem Regelkreis, der als minimale Eingangsgrößen die Katzposition und den Lastwinkel benötigt.

[0011] Die DE 1 531 210 A offenbart eine Anordnung zum Vermindern von Schwingungen einer an einem Kran frei hängenden Last, wobei das Antriebsaggregat mit einer Synchronisierungsvorrichtung versehen ist, die nach jeder Beschleunigungsänderung automatisch eine zweite gleich große und gleich gerichtete Beschleunigungsänderung hervorruft und zwar nach einer Zeit, die der Hälfte der Schwingungsperiode der Last entspricht, um die aufgetretene Schwingung zu löschen. Eine derartige Anordnung ist bezüglich der Dynamik unbefriedigend, da die Geschwindigkeit nur stufenweise und damit langsam variiert werden kann. Außerdem garantiert dieses System nicht durchgehend eine geringe Belastung des Materials, da die Schwingungsvermeidung erst mit der zweiten Stufe beginnt, welche eventuell bereits schädigende Belastungen der ersten Stufe löscht. Damit eignet sich

dieses Verfahren nicht für alle dynamische Leichtbautragwerke. Insbesondere bei Tragwerken mit einer hohen ersten Eigenfrequenz in Belastungsrichtung und einer langen Beschleunigungsphase kann ein Schwingbeiwert von 1 nicht eingehalten werden, obwohl das Geräte am Bewegungsende schwingungsfrei ist.

[0012] In der DE 10 2005 005 358 A1 ist ein Bediengerät für ein Regallager, insbesondere ein Regalbediengerät für ein Hochregallager, beschrieben mit einem verfahrenbaren Element, das einen Antrieb zum Anfahren einer vorgegebenen Regalposition aufweist, wobei der Antrieb einen Antriebsmotor umfasst, der durch Vorgabe des zeitlichen Verlaufs einer Führungsgröße gesteuert wird und wobei das Element während des Verfahrens zu in Fahrtrichtung verlaufenden Eigenschwingungen neigt. Die Schwingungen werden dadurch minimiert, dass der zeitliche Verlauf der Führungsgröße so an das verfahrenbare Element angepasst ist, dass im Frequenzspektrum des zeitlichen Verlaufs die Grundfrequenz der Eigenschwingung fehlt oder zumindest unterhalb eines vorgegebenen Grenzwertes liegt, so dass von der Führungsgröße keine Eigenschwingungen des verfahrenbaren Elements angeregt werden beziehungsweise deren Schwingungsamplituden im Vergleich zu den nicht angepassten Verlauf wesentlich verringert sind. Für die Führungsgrößen werden Soll-Verläufe angenommen, die in der Praxis von den Ist-Verläufen abweichen und damit wesentlich die Schwingung erhöhen. Die Sollverläufe werden nach diesem Ansatz auf Basis eines maximalen Rucks ermittelt, was für die Schwingungsvermeidung nicht zielführend ist. Ein Mast mit einer beispielhaften Eigenperiodendauer von 1 s benötigt bei linearen Beschleunigungsänderungsverlauf eine Verschleißzeit von 1 s um schwingungsfrei zu sein. Falls sich die Beschleunigung von 5 m/s^2 auf $2,5 \text{ m/s}^2$ reduziert und sich die Verschleißzeit aus dem maximalen Ruck von 5 m/s^3 errechnet, ergibt sich eine Verschleißzeit von nur 0,5 s und damit erhebliche Schwingungen. Speziell bei kurzen Distanzen wird die maximalen Beschleunigung häufig nicht erreicht.

[0013] Aus der DE 100 63 722 C2 ist ein Steuerungsverfahren zur ruckbegrenzten Geschwindigkeitsführung bekannt, die eine Abstimmung der zulässigen Ruckzeit (wird hier Verschleißzeit genannt) auf der Periodendauer des Systems erfolgt. Dabei wird ein linearer Beschleunigungsanstiegsverlauf unterstellt, der in Realität nur als Soll vorgegeben wird, aber nicht als Ist eingehalten wird, so dass dieser Ansatz Schwingungen nur reduziert aber nicht gänzlich vermeidet.

[0014] Aus der EP 0 685 779A1 ist eine Steuerung bekannt, die den Ruck auf die Eigenfrequenzen des Systems abstimmt, welche durch Messung der Schwingungen der Antriebsspannung bei elektrischen Motoren ermittelt werden. Es erfolgt keine Berücksichtigung der Abweichung zwischen Soll- und Ist- Beschleunigungsverläufen.

[0015] Aus der WO 1996/012992 A1 ist die Führung einer Bahngeschwindigkeit bekannt, die in mehreren

Schritten abhängig vom maximal zulässigen Ruck, angefahren wird. Die beschriebene Reduzierung der Ruckänderung sowie die Begrenzung des maximal zulässigen Rucks, erlauben keine maximal dynamische und zugleich schwingungsfreie Führung.

[0016] Aus der WO 2000/042479 A1 ist ein Steuerungsverfahren bekannt, das Beschleunigungsprofile, die nahe einer kritischen Eigenfrequenz liegen, mit einer reduzierten Beschleunigung ausführt. Der Ruck, also die Ableitung der Beschleunigung nach der Zeit, findet keine Beachtung, sondern vielmehr die einmalige harmonische Anregung, die nicht in der Eigenfrequenz erfolgen soll. Dieser Ansatz stellt nicht durchwegs eine Reduktion des Lastfalles sicher. Es wird von einem unrealistischen Anstieg der Beschleunigung mit einer Verschleißzeit von 0 s, also einem unendlich hohen Ruck ausgegangen.

[0017] Die US 2011/0006023 A1 offenbart ein Verfahren zur Ansteuerung eines Antriebs eines Kranes, wobei eine Soll-Bewegung der Auslegerspitze als Eingangsgröße dient, auf deren Grundlage eine Steuergröße zur Ansteuerung des Antriebs berechnet wird. Bei der Steuergröße wird die Schwingungs-Dynamik des Systems aus Antrieb und der Kranstruktur berücksichtigt, um Eigenschwingungen zu reduzieren. Dabei wird die dämpfende Wirkung eines hydraulischen oder elektrischen Antriebs berücksichtigt. Nicht berücksichtigt wird, dass die Soll-Vorgaben an das Antriebssystem nicht dem realen Ist-Verlauf entsprechen.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0018] Ausgehend von dem genannten Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung das technische Problem beziehungsweise die Aufgabe zugrunde, eine Maschinenvorrichtung zum Transportieren von Gegenständen, insbesondere Regalbediengerät, Fertigungsmaschine, Roboter, Kran oder dergleichen und ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Vorrichtung anzugeben, die eine nahezu vollständige und durchgehende Schwingungsvermeidung ermöglicht, eine einfache Umsetzung ohne zwingend notwendige zusätzliche Sensoren oder Regelungstechnik aufweist, eine dauerhaft zuverlässige Funktion gewährleistet, die Beanspruchung aller Komponenten, wie beispielsweise vom Mast über den Fahrschenkel bis zu den Rollen, reduziert und eine Anpassung an die unterschiedlichen Vorrichtungssysteme ermöglicht.

[0019] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs 1 gegeben. Das erfindungsgemäße Verfahren ist durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs 11 gegeben. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind Gegenstand der von dem unabhängigen Anspruch 1 beziehungsweise 11 direkt oder indirekt abhängigen Ansprüche.

[0020] Die erfindungsgemäße Maschinenvorrichtung, die aus einer impulsförmigen Antriebsbelastung zu Schwingungen neigt, insbesondere Regalbediengerät,

Fertigungsmaschine, Roboter, Kran oder dergleichen mit einer verfahrbaren Einheit, einem mit der verfahrbaren Einheit gekoppelten Aufnahmemittel zur Aufnahme eines Förderguts beziehungsweise einer Last, einem ersten Antriebsaggregat zum Bewegen der verfahrbaren Einheit entlang eines Fahrweges von einer Anfangs- in eine Endposition, einer Steuereinrichtung zum Steuern der Fahrbewegung der verfahrbaren Einheit, wobei das erste Antriebsaggregat durch Vorgabe des zeitlichen Verlaufs einer Führungsgröße, insbesondere des zeitlichen Beschleunigungsverlaufs, über die Steuereinrichtung gesteuert wird und Vorrichtung während des Verfahrens zu in Fahrtrichtung verlaufenden Schwingungen neigt, und wobei der zeitliche Beschleunigungsverlauf beim Anfahren bis zum Erreichen einer vorgegebenen Fahrtrichtungs- und Geschwindigkeitsänderung mit einem positiven oder negativen Beschleunigungsänderungsverlauf und einer Beschleunigungsänderungszeit, genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich mit konstanter positiver Beschleunigung aufweist, und beim Abbremsen bis zum Stillstand ein erster und zweiter Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven und negativen Beschleunigungsänderungsverlauf und einer Beschleunigungsänderungszeit, genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich mit konstanter negativer Beschleunigung aufweist, wobei die Führungsgröße so angepasst ist, dass die Schwingungen möglichst klein sind, zeichnet sich demgemäß dadurch aus, dass eine Speichereinrichtung vorhanden ist, auf die die Steuereinrichtung zugreift, wobei in der Speichereinrichtung Führungsgrößenwerte abgespeichert sind, die schwingungsminimierte Werte für den Beschleunigungsänderungsverlauf und/oder der Beschleunigungsänderungszeit bereit stellt, die vorab durch Simulationsberechnungen und/oder durch Messungen an der jeweils konkret konstruktiv ausgebildeten Vorrichtung ermittelt worden sind, wobei die abgespeicherten Werte neben den simulierten Eigenfrequenzen auch antriebspezifische Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Beschleunigungsverlauf des Antriebes berücksichtigen, so dass alle die Schwingungen verursachenden Parameter erfasst sind, um eine Schwingungsvermeidung zu realisieren.

[0021] Die Besonderheit der Erfindung besteht darin, dass alle relevanten Parameter für die Schwingungsentstehung bereits im Vorfeld durch Simulation und/oder Messung erfasst werden. Die in der Realität bedeutenden und bisher vernachlässigten Abweichungen zwischen dem Soll- und Ist-Verlauf des Beschleunigungsanstieges wird durch einmalige Korrekturfaktoren für jede Antriebskonfiguration in der Berechnung erfasst und kann somit übertragen werden. Damit sind Schwingungen einfach und zuverlässig präventiv vermeidbar und alle damit verbundenen Belastungen an der Maschine

entfallen. Zudem entfällt der Aufwand für aufwendige und fehleranfällige Mess- und Regelungstechnik. Damit ist dieses System der Schwingungsvermeidung für alle Maschinen sinnvoll, bei denen keine unvorhersehbaren Schwingungsanregungen, wie zum Beispiel Wind, auftreten. Die Erfindung ermöglicht eine einfache Vermeidung aller Schwingungen, die aus einer impulsförmigen Belastung der Maschinenvorrichtung durch Antriebe entstehen.

[0022] Die Erfindung basiert auf der Erfassung der Antriebsregelungsfehler. Da der Stand der Technik davon ausgeht, dass Ist- und Soll-Beschleunigungsverlauf eines Antriebes identisch sind, kann keine verlässliche Vermeidung der Schwingungen ohne zusätzlichen Mess- und Regelungstechnik erfolgen. Die Erfindung erfasst diesen nach dem Stand der Technik fehlenden Parameter um Schwingungen ohne zusätzliche Mess- und Regelungstechnik an jeder einzelnen Maschinenvorrichtung vollständig zu unterdrücken.

[0023] Dabei werden die Werte bevorzugt in der Speichereinrichtung in Form von Tabellen oder Kennkurven, in Abhängigkeit der jeweiligen Position des/der aufgenommenen Förderguts/Last oder Kennfeldern, in Abhängigkeit der jeweiligen Position des/der aufgenommenen Förderguts/Last und in Abhängigkeit der Masse des/der aufgenommenen Förderguts/ Last, abgelegt. Aufeinander abgestimmt werden damit die beiden für die Schwingung bestimmenden Bestandteile, das Tragwerk und die Anregung. Das Tragwerk kann über die Eigenfrequenz charakterisiert werden. Bei einem Regalbediengerät hat neben der Bauweise des Tragwerks die Position und Eigenmasse des Lastaufnahmemittels sowie die Masse der Zuladung darauf einen großen Einfluss. Die Anregung, beziehungsweise der Impuls, kann über den zeitlichen Beschleunigungsänderungsverlauf charakterisiert werden. Der an der Maschine messbare und für die Schwingung entscheidende Ist- Beschleunigungsänderungsverlauf weicht dabei von der Soll-Vorgabe ab. Neben diesen Regelungsfehlern haben mechanische Komponenten wie beispielsweise ein Riemen, der sich unter Belastung durch einen Antrieb erst vorspannt und damit nachgibt einen erheblichen Einfluss auf den Ist-Beschleunigungsänderungsverlauf der Maschine. Zudem führt ein höheres Gewicht wie durch die Aufnahme eines Fördergutes zu einer veränderten Abweichung zwischen Soll- und Ist- Beschleunigungsänderungsverlauf.

[0024] Die Simulationsberechnung kann gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung als finite Elementberechnung oder als Mehrkörpersimulation mit flexiblen Körpern durchgeführt werden. Die finite Elementberechnung kann sowohl zur Berechnung der Eigenfrequenzen als auch zur transienten Simulation der Schwingung des Tragwerkes bei unterschiedlichen Impulsen eingesetzt werden. Dabei kann auch die Dämpfung berücksichtigt werden.

[0025] Dabei werden gemäß einer besonders bevorzugten Ausgestaltung die Führungsgrößenwerte im Rah-

men der Simulationsberechnung unter Berücksichtigung aller Eigenformen und den damit verbundenen Eigenfrequenzen der Vorrichtung berechnet.

[0026] Eine besonders bevorzugte Ausgestaltung, die auch das Verfahren der Last beim Bremsvorgang berücksichtigt, zeichnet sich dadurch aus, dass eine mit der Steuereinrichtung kommunizierende erste Sensoreinheit vorhanden ist, die die aktuelle Höhe des Aufnahmemittels ermittelt und/oder eine zweite Sensoreinheit vorhanden ist, die die Masse des jeweils durch die Aufnahmemittel aufgenommenen Förderguts beziehungsweise Last ermittelt, wobei die Funktionsgrößenwerte in Abhängigkeit der Höhe des Aufnahmemittels und/ oder der jeweiligen Masse des aufgenommenen Förderguts beziehungsweise Last abgespeichert sind und die Steuereinrichtung aus der Speichereinrichtung in Abhängigkeit der jeweils von der ersten beziehungsweise zweiten Sensoreinheit ermittelten Werte die Führungsgrößenwerte abgreift und dem ersten Antriebsaggregat zuführt.

[0027] Um die Genauigkeit zu verbessern zeichnet sich eine vorteilhafte Ausgestaltung dadurch aus, dass an der verfahrbaren Einheit ein Beschleunigungssensor vorhanden ist, mittels dem die Soll-/Ist-Abweichung erfassbar ist und die Steuereinrichtung aufgrund der Soll-/Ist-Abweichung die Führungsgrößenwerte korrigiert.

[0028] In der Praxis zeichnet sich eine bevorzugte Ausführungsform dadurch aus, dass die Maschinenvorrichtung als Regalbediengerät für ein Regallager ausgebildet ist, die verfahrbare Einheit über einen Regalmast mit einem Lastaufnahmemittel gekoppelt ist und das Lastaufnahmemittel entlang des Regalmastes über das zweite Antriebsaggregat höhenmäßig verfahrbar ist oder dass die Maschinenvorrichtung als Kraneinrichtung ausgebildet ist, die verfahrbare Einheit über ein Seil beziehungsweise Zahnriemen mit dem Lastaufnahmemittel gekoppelt ist und das Lastaufnahmemittel durch Auf- oder Abrollen des Seiles mittels des zweiten Antriebsaggregats höhenmäßig verfahrbar ist oder die Maschinenvorrichtung als Roboter oder Fertigungsmaschine mit entsprechenden Antrieben zum Bewegen von Gegenständen ausgebildet ist.

[0029] Um die Schwingungen weiter zu reduzieren beziehungsweise zu unterdrücken, zeichnet sich eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung dadurch aus, dass bei der Simulation zur Berechnung minimierter Schwingbeiwerte ein linearer oder ein antriebspezifischer und einmalig gemessener nicht linearer Beschleunigungsänderungsverlauf angesetzt wird.

[0030] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben einer Maschinenvorrichtung der vorgenannten Art, zeichnet sich dadurch aus, dass dem ersten Antriebsaggregat Führungsgrößenwerte aus einer Speichereinrichtung zugeführt werden, die schwingungsminimierte Werte für den Beschleunigungsänderungsverlauf und/oder die Beschleunigungsänderungszeit darstellen, die vorab durch Simulationsberechnung und/oder durch Messung an der jeweils konkret konstruktiv ausgebildeten Vorrich-

tung ermittelt worden sind und in der Speichereinrichtung abgespeichert werden, wobei die abgespeicherten Werte neben den simulierten Eigenfrequenzen auch antriebspezifische Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Beschleunigungsverlauf des Antriebes berücksichtigen, so dass alle die Schwingungen verursachenden Parameter erfasst sind, um eine Schwingungsvermeidung zu realisieren.

[0031] In einer vorteilhaften Ausgestaltung greift die Speichereinrichtung zur Übermittlung an das erste Antriebsaggregat auf Führungsgrößenwerte zu, die aufgrund einer vorab durchgeführten Simulationsberechnung, bevorzugt als finite Elementberechnung oder als Mehr-Körper-System simuliert worden sind, insbesondere unter Berücksichtigung aller Eigenformen und der realen Ist-Beschleunigungsverläufe der Vorrichtung.

[0032] Ein besonders vorteilhaftes Verfahren, bei dem der Einfluss der jeweiligen Lasthöhe in Bezug auf minimierte Schwingungen mit berücksichtigt wird, zeichnet sich dadurch aus, dass eine mit der Steuereinrichtung kommunizierende erste Sensoreinheit verwendet wird, die die aktuelle Höhe des Aufnahmemittels ermittelt und/oder eine zweite Sensoreinheit vorhanden ist, die die Größe der jeweils durch die Aufnahmemittel aufgenommenen Last ermittelt, wobei die Funktionsgrößenwerte in Abhängigkeit der Höhe des Aufnahmemittels und/oder der jeweiligen Größe der aufgenommenen Last abgespeichert werden und die Speichereinrichtung in Abhängigkeit der jeweils von der ersten beziehungsweise zweiten Sensoreinheit ermittelten Werte die Führungsgrößenwerte abgreift und dem ersten Antriebsaggregat zuführt.

[0033] Zur Verbesserung der Dynamik zeichnet sich eine vorteilhafte Weiterbildung dadurch aus, dass an der verfahrbaren Einheit ein Beschleunigungssensor verwendet wird, mittels dem Soll-/Ist-Abweichung umfasst wird und die Steuereinrichtung aufgrund der Soll-/Ist-Abweichung die Führungsgrößenwerte entsprechend korrigiert.

[0034] Bevorzugt wird bei der Simulationsberechnung zu Berechnung minimierter Schwingbeiwerte ein linearer oder ein nicht linearer Beschleunigungsänderungsverlauf angesetzt.

[0035] Die erfindungsgemäße Vorrichtung beziehungsweise das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich insgesamt durch einen neuartigen mechatronischen Ansatz aus. Durch die Simulation wird das gesamte Tragwerk mit allen Eigenformen erfasst. Die entscheidenden Kriterien für die Schwingungsanfälligkeit nämlich die Verschleißzeit und der Beschleunigungsanstiegsverlauf werden auf das Tragwerk abgestimmt und optimiert. Diese optimierten Werte werden in der Speichereinrichtung abgelegt.

[0036] Die Abstimmung im Rahmen des mechatronischen Ansatzes erfolgt somit durch Voruntersuchungen, nämlich nach Simulation des Antriebsstranges oder durch Messungen an einer vorhandenen Konstruktion, die die Abweichung von Soll/Ist je nach Antriebstop berücksichtigen.

rücksichtigen.

[0037] Die Abstimmung erfolgt hinsichtlich der Kriterien Schwingungsreduktion, hohe Dynamik der Vorrichtung beziehungsweise des Regalbediengeräts und Energieeffizienz des Gesamtsystems der Vorrichtung/des Regalbediengeräts. Als Ergebnis der Voruntersuchungen (Messungen oder Simulationen) werden Kennkurven oder Kennfelder erstellt, die schwingungsminimierte Führungsgrößen beinhalten, insbesondere auch unter Berücksichtigung der jeweiligen Lasthöhe, die sich in der Regel beim Bremsvorgang ändert. Diese Kennkurven/Kennfelder werden in die Steuerung integriert, sind jedoch komplett vorab berechnet beziehungsweise bezüglich der Antriebsabweichung Soll/Ist korrigiert.

[0038] Optional kann ein Beschleunigungssensor am Fahrschemel der Vorrichtung/des Regalbediengeräts angebracht werden, um Soll-/Ist-Abweichungen im Antrieb als Eingangsgröße für die Regelung festzustellen. Durch geeignete Sensoren kann die genaue Lastposition und Größe der Last berücksichtigt werden und als Eingangsgröße für die Regelung dienen.

[0039] Ein wesentliches Merkmal ist die Berücksichtigung des Ist-Verlaufs der Beschleunigung durch Messung jedes Antriebstopps oder Simulation des Soll- und Ist-Verlaufes. Dabei kann unter anderem auch die Energieeffizienz des Gesamtsystems der Vorrichtung/des Regalbediengeräts berücksichtigt werden, insbesondere auch die Veränderung der Höhe der Last während des Bremsvorgangs durch den Energieaustausch beider Antriebe im Zwischenkreis.

[0040] So haben durchgeführte Messungen zum Ist-Verlauf bei der Vorgabe eines linearen Beschleunigungsanstiegsverlaufs ergeben, dass der Schwingbeiwert im Vergleich zum Soll-Verlauf nicht auf den Wert 1,0 sinkt, da zusätzliche Störgrößen wie Schienenunebenheiten ebenfalls Schwingungen in den Mast eines Regalbediengeräts induzieren und zusätzlich der nicht lineare Beschleunigungsanstiegsverlauf Schwingungen verursacht. Weiterhin ist festzustellen, dass je nach vorliegenden Antriebstop das Minimum des Schwingbeiwertes im Ist-Verlauf bei einer größeren Beschleunigungsanstiegszeit liegt als bei dem Soll-Verlauf. Daraus resultiert eine Erhöhung der Verschleißzeit um Schwingungen zu reduzieren. Die Verschleißzeit tritt bei einer einzigen Fahrt von einer Position zur nächsten vielmals auf. Je nach Antriebskonfiguration, die gekennzeichnet ist durch den Motor, Frequenzumrichter, Regelung, Getriebe, Wellenlänge, Art der Kraftübertragung (formschlüssig oder reibschlüssig, usw.) variiert die optimale Länge der Verschleißzeit bezüglich des Minimums. Durch die Berücksichtigung dieser Abweichung für eine spezifische Antriebskonfiguration und der Abspeicherung eines gezielt nicht linearen Beschleunigungsanstiegsverlaufs in der Motorsteuerung, kann der ideale Soll-Verlauf besser erreicht werden. Dadurch reduziert sich die Verschleißzeit und das Regalbediengerät ist mit gleichen Antrieben schneller und zugleich schwingungsfrei.

[0041] Erfindungsgemäß kann der exakte Verlauf ei-

nes verbesserten, nicht linearen Beschleunigungsanstiegsverlaufs, den die Antriebsregelung als Vorgabe bekommt, durch Simulationen oder Messungen ermittelt werden. Dieser verbesserte Beschleunigungsanstiegsverlauf wirkt den Veränderungen im Antriebsstrang gezielt entgegen, so dass im Endeffekt beispielsweise das Regalbediengerät bei realen Einsatz den idealen Eigenschaften des Soll-Verlaufes praktisch entspricht. Neben der Berücksichtigung der jeweiligen Höhe der Last für die Dauer der Verschleißzeit und der sich damit ergebenden Kennkurve ergibt sich durch die Berücksichtigung des Beschleunigungsanstiegsverlaufs eine Ergänzung. Diese kann beispielsweise durch eine Art konstante Korrektur des Beschleunigungsanstiegsverlaufs oder durch eine Erweiterung der Kennkurve (Berücksichtigung der LAM-Position) zu einem Kennfeld (Berücksichtigung der LAM-Position und der LAM-Zuladung) erfindungsgemäß erfolgen.

[0042] Mit der erfindungsgemäßen Maschinenvorrichtung beziehungsweise dem erfindungsgemäßen Verfahren können beispielsweise Regalbediengeräte, Krane, Roboter oder Fertigungsmaschinen umgesetzt werden, die ein hohe Dynamik aufweisen und zugleich nahezu schwingungsfrei sind.

[0043] Weitere Ausführungsformen und Vorteile der Erfindung ergeben sich durch die in den Ansprüchen ferner aufgeführten Merkmale sowie durch die nachstehend angegebenen Ausführungsbeispiele. Die Merkmale der Ansprüche können in beliebiger Weise miteinander kombiniert werden, insoweit sie sich nicht offensichtlich gegenseitig ausschließen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0044] Die Erfindung sowie vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen derselben werden im Folgenden anhand der in der Zeichnung dargestellten Beispiele näher beschrieben und erläutert. Die der Beschreibung und der Zeichnung zu entnehmenden Merkmale können einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination erfindungsgemäß angewandt werden. Es zeigen:

- Fig. 1 stark schematisierte Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Maschinenvorrichtung, die als Regalbediengerät ausgebildet ist, mit einem ersten Antriebsaggregat für das Verfahren des Regalbediengeräts, wobei das erste Antriebsaggregat über eine Steuereinrichtung angesteuert wird, die die jeweilige Führungsgröße für das erste Antriebsaggregat aus einer Speichereinrichtung abgreift, die vorab durch Simulationsberechnung oder Messung ermittelte Führungsgrößenwerte aufweist,
- Fig. 2 stark schematisierte Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Maschinen-

vorrichtung, die als Kran ausgebildet ist, mit einem ersten Antriebsaggregat für das Verfahren des Regalbediengeräts, wobei das erste Antriebsaggregat über eine Steuereinrichtung angesteuert wird, die die jeweilige Führungsgröße für das erste Antriebsaggregat aus einer Speichereinrichtung abgreift, die vorab durch Simulationsberechnung oder -messung ermittelte Führungsgrößenwerte aufweist,

Fig. 3 Diagramm des zeitlichen Ablaufs der Beschleunigung beim Verfahrensvorgang (Anfahrphase A, Phase mit konstanter Geschwindigkeit C, Bremsphase B),

Fig. 4 schematisierte Blockdiagrammdarstellung des Zusammenwirkens der Speichereinrichtung mit der Steuereinrichtung, die über die Führungsgröße zur schwingungsfreien Bewegung das erste Antriebsaggregat des Regalbediengeräts ansteuert,

Fig. 5 Diagramm der Beschleunigung der Mastspitze in Abhängigkeit der Zeit bei einem nicht angepassten Verfahrensvorgang,

Fig. 6 Diagramm des zeitlich Verlaufs der Beschleunigung Soll und Ist im Vergleich zur idealen Beschleunigung,

Fig. 7 Diagramm des Schwingbeiwerts in Abhängigkeit des Quotienten aus Beschleunigungsanstiegszeit und Eigenperiode als Vergleich zwischen idealen Verlauf eines linearen Beschleunigungsanstiegsverlaufs mit dem Ist-Verlauf, der durch Messung ermittelt ist, bei der Vorgabe eines linearen Beschleunigungsanstiegsverlaufs

Fig. 8 Diagramm des Verlaufs der Beanspruchung (Spannung im Dehnmessungsstreifen) bei einem Verfahrensvorgang mit einer Beschleunigungsanstiegszeit von 5 ms im Vergleich zu einer Beschleunigungsanstiegszeit von 160 ms,

Fig. 9 Diagramm des zeitlichen Verlaufs der Beschleunigung bei linearem Ansatz mit unterschiedlicher Steigung beziehungsweise unterschiedlichen Beschleunigungsanstiegszeiten,

Fig. 10 Diagramm des zeitlichen Verlaufs der Beschleunigung bei nicht linearem Ansatz mit unterschiedlicher Steigung beziehungsweise unterschiedlichen Beschleunigungsanstiegszeiten,

Fig. 11 Diagramm der optimalen Beschleunigungsänderungszeit in Abhängigkeit der jeweiligen Höhe des LAM (Kennkurve) und

Fig. 12 Diagramm der optimalen Beschleunigungsänderungszeit in Abhängigkeit der jeweiligen Höhe des LAM (Kennkurve) und der Masse des Ladegutes (Kennfeld).

WEGE ZUM AUSFÜHREN DER ERFINDUNG

[0045] In Fig. 1 ist stark schematisiert ein erstes Ausführungsbeispiel einer Maschinenvorrichtung 10 dargestellt, die schwingungsanfällig ist und die als Regalbediengerät 10.1 ausgebildet ist. Das Regalbediengerät 10.1 verfährt entlang einer Fahrleiteinrichtung 30, die als Gasse innerhalb eines Regalsystems ausgebildet sein kann. Das Regalbediengerät 10.1 besitzt eine verfahrbare Einheit 12 mit Radeinheiten 32. Um das Regalbediengerät 10.1 in Richtung des Fahrwegs F zu bewegen, ist ein erstes Antriebsaggregat 14 vorhanden. Alternativ kann das Regalbediengerät 10.1 über einen durch ein erstes Aggregat angetriebenen Zahnriemen gezogen werden, wodurch ausgeschlossen ist, dass die Radeinheiten 32 bei hohen Beschleunigungen durchdrehen. Oberseitig ist auf der verfahrbaren Einheit 12 ein als Kragträger ausgebildeter Mast 24 angeschlossen, an dem ein Lastaufnahmemittel 16 (LAM) in Längsrichtung (hier Vertikalrichtung) verfahrbar vorhanden ist, das fallweise das Fördergut beziehungsweise 18 aufnimmt, wobei ein zweites Antriebsaggregat 22 vorhanden ist, über das die jeweilige Höhenposition des Aufnahmemittels 16 eingestellt werden kann. Die Höhenrichtung bzw. der Hubweg ist in Fig. 1 mit dem Bezugszeichen H dargestellt und das jeweilige Höhenniveau des Aufnahmemittels 16 (Last 18) gegenüber der verfahrbaren Einheit 12 ist mit HLAM dargestellt.

[0046] Des Weiteren ist eine Steuereinrichtung 50 vorhanden, über die das erste Antriebsaggregat 14 und das zweite Antriebsaggregat 22 gesteuert wird.

[0047] Die Steuereinrichtung 50 steht mit einer übergeordneten Logistiksteuervorrichtung in Kommunikationsverbindung, die in Fig. 1 nicht dargestellt ist und die dem Regalbediengerät 10.1 zum Ein- und Auslagern von Fördergut beziehungsweise Lasten 18 die jeweiligen Positionsangaben in Fahrrichtung F für die verfahrbare Einheit 12 und in Höhenrichtung H für das Lastaufnahmemittel 16 übermittelt. Des Weiteren wird über die zentrale Logistiksteuervorrichtung bestimmt, ob das Fördergut 18 eingelagert oder ausgelagert werden soll. Hierzu ist das Lastaufnahmemittel 16 entsprechend ausgebildet.

[0048] Ein derartiges Regalbediengerät 10.1 neigt zu Schwingungen des Mastes 24 aufgrund der Beschleunigung der verfahrbaren Einheit 12 durch das erste Antriebsaggregat 14 infolge des Beschleunigungsvorgangs sowohl beim Anfahren als auch beim Abbremsen.

[0049] Die erfindungsgemäße Maschinenvorrichtung

beziehungsweise als Ausführungsbeispiel das Regalbediengerät 10.1 zielt darauf ab, dass die auftretenden Schwingungen minimiert werden, das heißt praktisch keine Schwingungen auftreten, was eine deutlich reduzierte Materialbeanspruchung, ein Entfallen der Beruhigungszeiten und wirtschaftlichen Betrieb bedeutet. Hierzu ist eine Speichereinrichtung 52 vorhanden, die mit der Steuereinrichtung 50 in Kommunikationsverbindung steht, und in der Führungsgrößen für die Beschleunigung des ersten Antriebsaggregates 14 abgespeichert sind, die Steuereinrichtung 50 abgreift, wobei die Führungsgrößenwerte zuvor durch eine Simulationsberechnung des gesamten konkreten Tragwerks mit allen Eigenformen berechnet wird. Dabei werden die entscheidenden Kriterien der Schwingungsanfälligkeit, nämlich die Verschleißzeit und der Beschleunigungsänderungsverlauf, unter Abstimmung auf das konkrete Tragwerk optimiert. Hierzu erfolgt die Abstimmung mit Voruntersuchungen (Messungen, Simulation des Antriebsstranges), welche die Abweichung von Soll und Ist je nach Antriebstyp berücksichtigen. Die Abstimmung erfolgt hinsichtlich der Kriterien Schwingungsreduktion, hohe Dynamik und Energieeffizienz des Gesamtsystems. Die Ergebnisse der Rechnungen beziehungsweise Messungen werden beispielsweise in Form von Kennkurven abgelegt, die die jeweils aktuelle Hubhöhe des Lastaufnahmemittels 16 berücksichtigt, da die jeweilige Höhe HLAM des Lastaufnahmemittels die auftretenden Schwingungen stark beeinflusst. Diese Kennkurven sind in der Steuerungseinrichtung 50 integriert, komplett vorab berechnet beziehungsweise die Antriebsabweichung Soll-Ist gemessen und berücksichtigt.

[0050] Grundsätzlich ist die Schwingung des Mastes abhängig von dem bei der Beschleunigung auftretenden Beschleunigungsänderungsverlauf und der Verschleißzeit, den jeweiligen Eigenformen, die abhängig sind von der Masthöhe, der Bauart, der Masse und der Höhenposition des Aufnahmemittels, der Größe der Beschleunigung selbst, der systembedingten vorhandenen Dämpfungseigenschaften und der Materialien und der Füge-technik.

[0051] In Fig. 2 ist ein zweites konkretes Ausführungsbeispiel einer schwingungsanfälligen Maschinenvorrichtung 10 dargestellt, die als Kranvorrichtung 10.2 ausgebildet ist. Gleiche Bauteile tragen dasselbe Bezugszeichen wie Fig. 1 und werden nicht nochmals erläutert.

[0052] Der grundsätzliche Unterschied zu dem Regalbediengerät gemäß Fig. 1 besteht bei dem Kran 10.2 gemäß Fig. 2 darin, dass die Last 18 an einem Seil 34 hängt, die den Mast 24 des Regalbediengeräts 10.1 ersetzt, wobei auch hier die Last 18 entlang einer Höhenrichtung beziehungsweise eines Hubwegs H in die jeweilige Höhenposition HLAM über das zweite Antriebsaggregat 22 verfahrbar ist und der Kran 10.2 über das erste Antriebsaggregat 14 innerhalb der Fahrleiteinrichtung 30 (zum Beispiel Schienenvorrichtung) verfahrbar ist.

[0053] In Fig. 3 ist schematisch ein Standardbeschleunigungsverlauf in Abhängigkeit der Zeit beim Verfahren

eines Regalbediengeräts 10.1 schematisch dargestellt. Dabei können 3 Phasen prinzipiell unterschieden werden, nämlich die Anfahrphase A, die Bremsphase B und die Phase C der Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit.

[0054] Die Anfahrphase A kann dabei unterteilt werden in einen Zeitraum der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} - auch Verschleißzeit genannt - mit einem ansteigenden Beschleunigungsänderungsverlauf av bis zum Erreichen einer konstanten Beschleunigung a_k über einen Zeitraum t_a und einem anschließenden abfallenden Beschleunigungsänderungsverlauf av innerhalb der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} bis die vorgegebene Geschwindigkeit erreicht ist. Diese Phase kann bei einer für das Tragwerk unpassenden Anregung Schwingungen des Mastes des Regalbediengeräts 10.1 zur Folge haben. In der anschließenden Phase C beträgt die Beschleunigung null und das Regalbediengerät 10.1 verfährt über einen vorgegebenen Zeitraum t_v mit konstanter Geschwindigkeit, in der dann in der Phase B der Bremsvorgang stattfindet, der vom prinzipiellen Verlauf her dem Verlauf in der Phase A entspricht, jedoch mit umgekehrten Vorzeichen. Auch hier löst eine für das Tragwerk unpassende Anregung Schwingungen des Mastes 24 des Regalbediengeräts 10.1 aus. Der nicht lineare Verlauf der Beschleunigung innerhalb der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} , der durch die Abweichung am Motor am Fahrschemel auftritt, ist schematisch gestrichelt in Fig. 3 dargestellt.

[0055] In Fig. 5 ist stark schematisiert in vereinfachter Form der Beschleunigungsänderungsverlauf (Bezugszeichen am) der Spitze des Mastes 24 des Regalbediengeräts 10.1 in Abhängigkeit von der Zeit unter Zugrundelegung des Standardbeschleunigungsverlaufs gemäß Fig. 3 bei nicht schwingungsoptimiertem Verfahrenvorgang dargestellt.

[0056] Daraus ist deutlich zu erkennen, dass in den Intervallen, in denen sich die Beschleunigung ändert, das heißt während der Verschleißzeit jeweils Schwingungen induziert werden, die eine starke Schwankung der Beschleunigung der Spitze des Mastes 24 bewirken.

[0057] Erfindungsgemäß ist erkannt worden, dass sowohl die Größe der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} als auch der Beschleunigungsverlauf av innerhalb der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} einen großen Einfluss auf die induzierten Schwingungen nach sich ziehen.

[0058] In Fig. 8 ist dargestellt, wie sich die Dauer der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} auf die Beanspruchung der Bauteile auswirkt. Die Beanspruchung wurde über die Beanspruchung von aufgebrachten Dehnungsmessstreifen und damit der sich ändernden Normalspannung in den Dehnungsmessstreifen als Ordinatenwert in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Aus dieser Fig. 8 ist eindeutig ersichtlich, dass eine kurze Verschleißzeit t_{da} - im Ausführungsbeispiel 5 ms (gestrichelte Darstellung) - zu Beginn und am Ende der jeweiligen Beschleunigungsänderung eine erhöhte Beanspruchung ergibt im Vergleich zu einer Beschleunigungsänderungszeit t_{da} (im Ausführungsbeispiel 160 ms, durchgezogene Linie).

[0059] Die Fig. 9 zeigt ausschnittsweise den zeitlichen Verlauf der Beschleunigung bei unterschiedlich gewählten Beschleunigungsänderungszeiten t_{da1} beziehungsweise t_{da2} unter Ansatz eines linearen Beschleunigungsänderungsverlaufs $av1$ beziehungsweise $av2$.

[0060] Die Fig. 10 zeigt denselben Zusammenhang jedoch unter Ansatz jeweils eines nicht linearen Beschleunigungsänderungsverlaufs $av1$ beziehungsweise $av2$ innerhalb der Zeitintervalle t_{da1} beziehungsweise t_{da2} .

[0061] In Fig. 6 ist der zeitliche Verlauf der Beschleunigung im Vergleich zur idealen linearen Beschleunigung (gestrichelte Linie 64) unter Messung der Ist-Beschleunigung/Regler (Linie 60) im Vergleich zur Soll-Beschleunigung/Regler (Linie 62) dargestellt. Die Messergebnisse sind direkt der Antriebsregelung entnommen, so dass weitere Abweichungen durch die Mechanik nicht erfasst werden. Dabei zeigen sich Abweichungen zwischen allen Beschleunigungsverläufen 60, 62, 64.

[0062] Die Fig. 6 stellt dies mit einer Messauflösung von 4 ms bei einem Regalbediengerät mit Reibradantrieb dar. Die Beschleunigungsänderungszeit beträgt 500 ms. Die Soll-Beschleunigung und die ideale Beschleunigung sind nur anfangs identisch. Da die Ist-Beschleunigung nicht exakt der Soll-Beschleunigung folgt, passt der Regler die Soll-Beschleunigung fortlaufend an, um der idealen Beschleunigung möglichst nahe zu kommen. In der Fig. 6 ist zu erkennen, dass die Ist-Beschleunigung und die ideale Beschleunigung deutlich voneinander abweichen.

[0063] Die Erfindung basiert unter anderem auf der Erfassung der Antriebsregelungsfehler. Der Stand der Technik geht davon aus, dass Ist- und Soll-Beschleunigungsverläufe eines Antriebs identisch sind. Dadurch kann keine verlässliche Vermeidung der Schwingungen ohne zusätzliche Mess- und Regelungstechnik erfolgen. Gemäß der erfindungsgemäßen Vorgehensweise erfasst diese die nach dem Stand der Technik fehlende Parameter, um Schwingungen ohne zusätzliche Mess- und Regelungstechnik an jedem einzelnen Gerät vollständig zu unterdrücken.

[0064] Bei einem Regalbediengerät mit anderen Antriebsherstellern und anderen Antriebsarten (zum Beispiel Omega-Antrieb) ist der Unterschied zwischen Soll- und Ist-Beschleunigungsverlauf anders ausgebildet und übt durch seine Andersartigkeit einen großen Einfluss auf die auftretenden Schwingungen aus.

[0065] Der Zusammenhang der Schwingungsanfälligkeit in Abhängigkeit der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} an einer konkreten Regalbediengerätkonstruktion ist in Fig. 7 näher dargestellt. Der Ist-Verlauf 70 des Schwingbeiwertes (Ordinate) ist als durchgezogene Linie und der ideale Soll-Verlauf 72 als gestrichelte Linie dargestellt. Der Ist-Verlauf 70 ist durch Messungen bei Testfahrten ermittelt worden. Bei gleichbleibender Beschleunigung und Geschwindigkeit wurde die Verschleißzeit t_{da} in einem Zeitschritt von 10 ms, ausgehend von 300 ms, schrittweise reduziert. Innerhalb der Verschleißzeit t_{da} wird die Beschleunigung linear erhöht, so dass

am Ende der Verschleißzeit tda die maximale Beschleunigung anliegt. Die maximal gemessene Spannung an den aufgetragenen Dehnungsmessstreifen am Mast wird im Verhältnis zu der stets konstanten Mittelspannung, die aus der gleichbleibenden Beschleunigung entsteht, gesetzt und damit der Schwingbeiwert ermittelt. Die Messung der Spannung erfolgte über Dehnungsmessstreifen am Mast über dem Fahrschemel. Die Eigenfrequenz ist konstant, da sich das Hubwerk mit dem Lastaufnahmemittel (LAM) während der gesamten Untersuchung auf der gleichen Höhe befindet.

[0066] Der Soll-Verlauf ergibt bei einem Abszissenwert von 125 ms einen Schwingbeiwert von 1,0. Durch die Soll-Ist-Abweichung in der Antriebsregelung ergibt sich bei einer Verschleißzeit von 125 ms jedoch ein Schwingbeiwert von 1,25 durch die Messung. Im Vergleich zu dem gemessenen Ist-Verlauf 70 erkennt man, dass der Schwingbeiwert bei der Messung nicht auf den Wert 1,0 sinkt, da zusätzliche Störgrößen wie Schienenunebenheiten ebenfalls Schwingungen in den Mast induzieren. Zudem wird deutlich, dass der Schwingbeiwert 2 bei einem Abszissenwert von 0 nicht erreicht wird, da der Motor einem derart kurzen Anstieg nicht folgen kann. Außerdem ist zu erkennen, dass das erste Minimum bei dem bei der Messung vorliegenden Antriebstyp um ca. 30 % weiter rechts liegt als bei der Berechnung. Dies bedeutet, dass ein Regalbediengerät nur bei einer verlängerten Verschleißzeit tda nahezu schwingungsfrei fährt. Bei einem höheren Regalbediengerät mit einer beispielhaften Periodendauer von 1 s resultiert damit eine Erhöhung der Verschleißzeit um 0,3 s. Die Verschleißzeit tritt bei einer einzigen Fahrt von einer Position zur nächsten insgesamt viermal auf (siehe Fig. 3).

[0067] Bei einer anderen Antriebskonfiguration, die gekennzeichnet durch den Motor, Frequenzumrichter, Getriebe, Wellenlänge, Art der Kraftübertragung (formschlüssig oder reibschlüssig), Regelung usw. ist, variiert diese Abweichung. Durch die Berücksichtigung dieser Abweichung für eine spezifische Antriebskonfiguration und der Abspeicherung eines gezielt nicht linearen Beschleunigungsänderungsverlaufes in der Motorsteuerung, kann der ideale Soll-Verlauf 72 besser erreicht werden. Dadurch reduziert sich die Verschleißzeit tda und das Regalbediengerät ist mit gleichen Antrieben schneller und zugleich schwingungsfrei.

[0068] Den exakten Verlauf eines verbesserten nicht linearen Beschleunigungsänderungsverlaufes av, den der Motor als Vorgabe bekommt, kann durch Simulationen und Messungen ermittelt werden. Dieser verbesserte Beschleunigungsänderungsverlauf av wirkt den Veränderungen im Antriebsstrang gezielt entgegen, so dass im Endeffekt das Regalbediengerät beim realen Einsatz den idealen Eigenschaften des Soll-Verlaufs (Linie 72 in Fig. 7) entspricht.

[0069] Die Schwingungseigenschaften eines Regalbediengerätes werden darüber hinaus durch die jeweilige Höhe HLAM des Lastaufnahmemittels (LAM) stark beeinflusst.

[0070] In Fig. 11 ist der Zusammenhang zwischen der Verschleißzeit tda (Ordinate) und der Lastaufnahmemhöhe HLAM (Abszisse) in Form einer Kennkurve 75 dargestellt. Dabei ergibt sich die Tendenz, dass die Verschleißzeit tda zur Erzielung eines schwingungsfreien Regalbediengerätes mit zunehmender Lastaufnahmemhöhe HLAM erhöht werden muss.

[0071] Wird darüber hinaus die Masse m des Förderguts 18 berücksichtigt ergibt sich das in Fig. 12 dargestellte Kennfeld 80.

[0072] Neben der Berücksichtigung der LAM-Höhe HLAM für die Länge der Verschleißzeit tda und der sich damit ergebenden Kennkurve gemäß Fig. 11 für die Dauer der Verschleißzeit tda ergibt sich durch die Berücksichtigung des Beschleunigungsänderungsverlaufes av (nicht linear) eine Ergänzung. Dies kann beispielsweise durch eine konstante Korrektur des Beschleunigungsänderungsverlaufes oder durch eine Erweiterung der Kennkurve zu einem Kennfeld erfolgen. Die aus den Messungen und Berechnungen ermittelten Werte, werden in der Speichereinrichtung 52 abgelegt und dienen der Ansteuerung des ersten Antriebsaggregats 14 zur Erzielung eines schwingungsfrei verfahrenen Regalbediengerätes.

[0073] Neben der Höhe des Lastaufnahmemittels HLAM beeinflusst auch die Größe der jeweils aufgenommenen Last das Schwingungsverhalten. Auch die Größe der jeweils aufgenommenen Last kann bei der Ermittlung der Kennkurven beziehungsweise Kennfelder berücksichtigt werden und entsprechend in der Speichereinrichtung 52 abgelegt werden (siehe Fig. 11).

[0074] In Fig. 4 ist stark schematisiert in einer Blockdiagrammdarstellung der prinzipielle Ablauf beziehungsweise die prinzipielle Vorgehensweise für ein schwingungsfreies verfahrbares Regalbediengerät 10.1 dargestellt.

[0075] Die Steuereinrichtung 50, die das erste Antriebsaggregat 14 zum Verfahren des Regalbediengerätes 10.1 ansteuert, greift auf Führungsgrößenwerte der Speichereinrichtung 52 zurück. In der Speichereinrichtung 52 sind durch Messungen beziehungsweise Vorabrechnungen festgelegte Führungsgrößenwerte für den Beschleunigungsverlauf, insbesondere die Beschleunigungsänderungszeit tda unter Berücksichtigung der Ist-Werte abgelegt. Der Steuereinrichtung 50 werden aktuelle Werte der Höhe HLAM des Lastaufnahmemittels und der Größe der jeweils aufgenommenen Last zugeführt. Gleichzeitig erhält die Steuereinrichtung 50 von der übergeordneten Logistiksteuerungsvorrichtung Werte bezüglich der Anfangs- und Endfahrzielposition, des Fahrweges und der vorgegebenen Fahrgeschwindigkeit. Unter Rückgriff auf die in der Speichereinrichtung 52 hinterlegten Werte des Beschleunigungsverlaufes wird dann das erste Antriebsaggregat 14 angesteuert, so dass ein nahezu praktisch schwingungsfreies Verfahren des Regalbediengerätes 10.1 erfolgt.

[0076] Gemäß dem erfindungsgemäßen Konzept ist dabei der Beschleunigungsverlauf, die Beschleunigungsänderungszeit (Verschleißzeit), das schwingende

System, das sich bei energieeffizienter Steuerung ändert, das Lastaufnahmemittel während des Bremsens verfährt, zu jedem Zeitpunkt aufeinander abgestimmt. Die Abstimmung erfolgt durch Simulation beziehungsweise Messung, dabei wird der realen Beschleunigungsverlauf an konkret vorgegebenen Regalsystem (Ist- und nicht Soll) berücksichtigt.

[0077] Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden folgende neue Ansätze berücksichtigt: Das gesamte Tragwerk wird mit allen Eigenformen durch die Simulationsberechnung erfasst. Die entscheidenden Kriterien Verschleißzeit und Beschleunigungsänderungsverlauf werden auf das konkret vorliegende Tragwerk abgestimmt. Die Abstimmung erfolgt mit Voruntersuchungen (Messung, Simulation des Antriebsstranges), welche die Abweichung von Soll/Ist je nach Antriebstyp berücksichtigen. Dabei erfolgt die Abstimmung hinsichtlich der Kriterien Schwingungsreduktion, hohe Dynamik des Regalbediengerätes und Energieeffizienz des Gesamtsystems.

[0078] Als Ergebnis wird auf eine Kennkurve/ein Kennfeld zurückgegriffen, die unter Berücksichtigung der jeweiligen Höhe des Lastaufnahmemittels und/oder der jeweiligen Masse des Förderguts hinterlegt ist, wobei die Kennkurve in die Steuerung integriert ist, aber komplett vorab berechnet beziehungsweise die Antriebsabweichung Soll/Ist gemessen worden ist.

[0079] Optional kann ein Beschleunigungssensor am Fahrschemel angebracht werden um die Soll-/Ist-Abweichung im Antrieb als Eingangsgröße für die Regelung festzustellen. Optional kann weiterhin die genaue Last des Ladegutes durch geeignete Sensoren berücksichtigt werden und als Eingangsgröße für die Regelung dienen. Eine optionale Erweiterung besteht darin, dass der Beschleunigungsverlauf in einem Kennfeld hinterlegt wird, auf das die Speichereinrichtung zugreift.

[0080] Durch die erfindungsgemäße Vorgehensweise der Simulationsberechnung am konkreten System und der Berücksichtigung des tatsächlich vorhandenen Antriebsstranges wird auch berücksichtigt, dass sich während der Beschleunigungsänderungszeit der Mast verbiegt und dabei "Federenergie/Dehnungsenergie" aufnimmt und diese beim Beschleunigungsabstieg wieder freigibt, wenn der Mast in die Ausgangslage zurückschwingt. Bisher wird dieses Verhalten nicht berücksichtigt und es gibt keinen Unterschied bei der Steuerung zwischen Anstieg und Abstieg, so dass durch diese Nichtberücksichtigung Schwingungen entstehen. Es ist sogar möglich, dass der Mast derart viel "Federenergie" frei gibt, dass der Motor während der Beschleunigungsänderungszeit Bremsen muss, um die Soll-Verläufe einzuhalten. Dies wird bezüglich der erfindungsgemäßen Vorgehensweise vollständig berücksichtigt, so dass auch dieser Aspekt zur Energieeffizienz beiträgt.

[0081] Das gesamte konkrete System (Regalbediengerät) wird durch Simulationsberechnung bezüglich minimaler Schwingungen berechnet.

[0082] Wesentlich beeinflusst wird aber auch das

Schwingungsverhalten durch den jeweils konkret vorhandenen Antriebsstrang. Dieser Einfluss wird durch konkrete Messungen ermittelt und mit den von der Simulationsberechnung ermittelten Werten kombiniert. Dadurch wird eine nahezu schwingungsfreie Bewegung des Regalbediengeräts ermöglicht.

Patentansprüche

1. Maschinenvorrichtung (10.1, 10.2), die aus einer impulsförmigen Antriebsbelastung zu Schwingungen neigt, insbesondere Regalbediengerät, Fertigungsmaschine, Roboter, Kran oder dergleichen mit

- einer verfahrbaren Einheit (12),
- einem mit der verfahrbaren Einheit (12) gekoppelten Aufnahmemittel (16) zur Aufnahme eines Förderguts beziehungsweise Last,
- einem ersten Antriebsaggregat (14) zum Bewegen der verfahrbaren Einheit (12) entlang eines Verfahrweges (F) von einer Anfangs- in eine Endposition,
- einer Steuereinrichtung (50) zum Steuern der Fahrbewegung der verfahrbaren Einheit (12),
- wobei das erste Antriebsaggregat (14) durch Vorgabe des zeitlichen Verlaufs einer Führungsgröße, nämlich des zeitlichen Beschleunigungsverlaufs, über die Steuereinrichtung (50) gesteuert wird und die Vorrichtung (10.1, 10.2) während des Verfahrens zu in Verfahrensrichtung auftretende Schwingungen neigt, und
- wobei der zeitliche Beschleunigungsverlauf beim Anfahren bis zum Erreichen einer vorgegebenen Verfahrgeschwindigkeit einen ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven oder negativen Beschleunigungsänderungsverlauf (av) und einer Beschleunigungsänderungszeit (tda), genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich (ak) mit konstanter positiver Beschleunigung aufweist, und beim Abbremsen bis zum Stillstand ein erster und zweiter Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven und negativen Beschleunigungsänderungsverlauf (av) und einer Beschleunigungsänderungszeit (tda), genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich mit konstanter negativer Beschleunigung aufweist,
- wobei die Führungsgröße so angepasst ist, dass die Schwingungen möglichst klein sind,
- **dadurch gekennzeichnet, dass**
- eine Speichereinrichtung (52) vorhanden ist, auf die die Steuereinrichtung (50) zugreift, wo-

- bei in der Speichereinrichtung (52) Führungsgrößenwerte abgespeichert sind, die schwingungsminimierte Werte für den Beschleunigungsänderungsverlauf (av) und/oder der Beschleunigungsänderungszeit (tda) bereit stellt, die vorab durch Simulationsberechnungen und/oder durch Messungen an der jeweils konkret konstruktiv ausgebildeten Vorrichtung: ermittelt worden sind, wobei die abgespeicherten Werte neben den simulierten Eigenfrequenzen auch antriebspezifische Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Beschleunigungsverlauf des Antriebs berücksichtigen, so dass alle die Schwingungen verursachenden Parameter erfasst sind, um eine Schwingungsvermeidung zu realisieren.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
- **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - die Werte in der Speichereinrichtung (52) in Form von Tabellen oder Kennkurven (75), in Abhängigkeit der jeweiligen Position des/der aufgenommenen Förderguts/ Last (18) oder Kennfeldern (80), in Abhängigkeit der jeweiligen Position des/der aufgenommenen Förderguts/ Last (18) und in Abhängigkeit der Masse des/der aufgenommenen Förderguts/Last (18), abgelegt sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
- **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - die Simulationsberechnung auf einer finite Elementberechnung (FEM) oder einer Mehr-Komponenten-Systemberechnung (MKS) basiert, welche die Auswirkung der Abweichung zwischen Soll und Ist der Antriebsregelung erfasst.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3,
- **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - die Führungsgrößenwerte im Rahmen der Simulationsberechnung unter Berücksichtigung aller Eigenformen der Vorrichtung berechnet sind.
5. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche,
- **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - eine mit der Steuereinrichtung (50) kommunizierende erste Sensoreinheit vorhanden ist, die die aktuelle Höhe des Aufnahmemittels (16) ermittelt und/oder eine zweite Sensoreinheit vorhanden ist, die die Masse des jeweils durch die Aufnahmemittel (16) aufgenommenen Förderguts beziehungsweise Last ermittelt, wobei die Funktionsgrößenwerte in Abhängigkeit der Höhe (HLAM) des Aufnahmemittels (16) und/oder der jeweiligen Masse des aufgenommenen Förderguts beziehungsweise Last (18) abgespeichert sind und die Steuereinrichtung aus der Speichereinrichtung in Abhängigkeit der jeweils von der ersten beziehungsweise zweiten Sensoreinheit ermittelten Werte die Führungsgrößenwerte abgreift und dem ersten Antriebsaggregat (14) zuführt.
6. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche,
- **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - an der verfahrbaren Einheit (12) ein Messinstrument zur direkten oder indirekten Messung der Beschleunigung vorhanden ist, mittels dem die Soll-/Ist-Abweichung erfassbar ist und die Steuereinrichtung aufgrund der Soll-/ Ist-Abweichung die Führungsgrößenwerte korrigiert.
7. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche,
- **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - die Vorrichtung als Regalbediengerät (10.1) für ein Regallager ausgebildet ist, die verfahrbare Einheit (14) über einen Regalmast (24) mit einem Lastaufnahmemittel (16) gekoppelt ist und das Lastaufnahmemittel (16) entlang des Regalmastes (24) über das zweite Antriebsaggregat (22) höhenmäßig verfahrbar ist.
8. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche 1 bis 6,
- **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - die Vorrichtung als Kraneinrichtung ausgebildet ist, die verfahrbare Einheit über ein Seil mit dem Lastaufnahmemittel gekoppelt ist und das Lastaufnahmemittel durch Auf- oder Abrollen des Seiles mittels des zweiten Antriebsaggregats (22) höhenmäßig verfahrbar ist.
9. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche 1 bis 6,
- **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - die Maschinenvorrichtung als Roboter oder Fertigungsmaschine mit entsprechenden Antrieben zum Bewegen von Gegenständen ausgebildet ist.
10. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche,
- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- bei der Simulationsberechnung zur Berechnung minimierter Schwingbeiwerte ein linearer oder nicht linearer Beschleunigungsänderungsverlauf angesetzt wird.
- 5
11. Verfahren zum Betreiben einer Maschinenvorrichtung, die aus einer impulsförmigen Antriebsbelastung zu Schwingungen neigt, insbesondere Regalbediengerät, Fertigungsmaschine, Roboter, Kran oder dergleichen mit
- 10
- einer verfahrbaren Einheit (12),
 - einem mit der verfahrbaren Einheit (12) gekoppelten Aufnahmemittel (16) zur Aufnahme eines Förderguts beziehungsweise Last,
 - einem ersten Antriebsaggregat (14) zum Bewegen der verfahrbaren Einheit (12) entlang eines Verfahrensweges (F) von einer Anfangs- in eine Endposition,
 - einer Steuereinrichtung (50) zum Steuern der Bewegung der verfahrbaren Einheit (12),
 - wobei das erste Antriebsaggregat (14) durch Vorgabe des zeitlichen Verlaufs einer Führungsgröße, nämlich des zeitlichen Beschleunigungsverlaufs, über die Steuereinrichtung (50) gesteuert wird und Vorrichtung (10.1, 10.2) während des Verfahrens zu in Verfahrensrichtung verlaufenden Schwingungen neigt, und
 - wobei der zeitliche Beschleunigungsverlauf beim Anfahren bis zum Erreichen einer vorgegebenen Verfahrensgeschwindigkeit einen ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven oder negativen Beschleunigungsänderungsverlauf (av) und einer Beschleunigungsänderungszeit (tda), genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich (ak) mit konstanter positiver Beschleunigung aufweist, und beim Abbremsen bis zum Stillstand ein erster und zweiter Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven und negativen Beschleunigungsänderungsverlauf (av) und einer Beschleunigungsänderungszeit (tda), genannt Verschleißzeit, aufweist,
 - wobei die Führungsgröße so angepasst ist, dass die Schwingungen möglichst klein sind,
 - **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - dem ersten Antriebsaggregat (14) Führungsgrößenwerte aus einer Speichereinrichtung zugeführt werden, die schwingungsminimierte Werte für den Beschleunigungsänderungsverlauf und/oder die Beschleunigungsänderungszeit darstellen, die vorab durch Simulationsberechnung und/oder durch Messung an der jeweils konkret konstruktiv ausgebildeten Vorrichtung ermittelt worden sind und in der Speichereinrichtung abgespeichert werden, wobei die
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

abgespeicherten Werte neben den simulierten Eigenfrequenzen auch antriebsspezifische Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Beschleunigungsverlauf des Antriebs berücksichtigen, so dass alle die Schwingungen verursachenden Parameter erfasst sind, um eine Schwingungsvermeidung zu realisieren.

12. Verfahren nach Anspruch 11,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**
- die Simulationsberechnung als finite Elementberechnung (FEM) oder als Mehrkörpersimulation (MKS) durchgeführt wird unter Berücksichtigung aller Eingenformen der Vorrichtung.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**
- eine mit der Steuereinrichtung (50) kommunizierende erste Sensoreinheit verwendet wird, die die aktuelle Höhe des Aufnahmemittels (16) ermittelt und/oder eine zweite Sensoreinheit vorhanden ist, die die Masse des jeweils durch die Aufnahmemittel (16) aufgenommenen Förderguts beziehungsweise Last ermittelt, wobei die Funktionsgrößenwerte in Abhängigkeit der Höhe (HLAM) des Aufnahmemittels (16) und/oder der jeweiligen Masse des aufgenommenen Förderguts beziehungsweise Last (18) abgespeichert werden und die Steuereinrichtung aus der Speichereinrichtung in Abhängigkeit der jeweils von der ersten beziehungsweise zweiten Sensoreinheit ermittelten Werte die Führungsgrößenwerte abgreift und dem ersten Antriebsaggregat (14) zuführt.

14. Verfahren nach Anspruch 11, 12 oder 13

- **dadurch gekennzeichnet, dass**
- an der verfahrbaren Einheit (12) ein Beschleunigungssensor verwendet wird, mittels dem Soll-/Ist-Abweichung umfasst wird und die Steuereinrichtung aufgrund der Soll-/Ist-Abweichung die Führungsgrößenwerte entsprechend korrigiert.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 14,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**
- bei der Simulationsberechnung (FEM, MKS) zu Berechnung minimierter Schwingbeiwerte ein linearer oder ein nicht linearer Beschleunigungsänderungsverlauf angesetzt wird.

Claims

1. Machine device (10.1, 10.2) with a tendency to oscillate under a pulse-formed drive load, in particular a storage and retrieval machine, a manufacturing machine, a robot, a crane or the like, comprising
 - a displaceable unit (12),
 - a receptacle means (16) for receiving material to be conveyed or for receiving a load, said receptacle means being coupled to the displaceable unit (12),
 - a first drive assembly (14) for moving the displaceable unit (12) along a travel (F) from an initial to an end position,
 - a control apparatus (50) for controlling the travel motion of the displaceable unit (12),
 - wherein the first drive assembly (14) is controlled by way of the control apparatus (50) by predetermining the time curve of a reference variable, namely the temporal acceleration curve, and the device (10.1, 10.2) tends to oscillate during the displacement, said oscillations occurring in the displacement direction, and
 - wherein the temporal acceleration curve during start-up until a predetermined displacement speed has been reached has a first and second change-of-acceleration region with a positive or negative change-of-acceleration curve (av) and a change-of-acceleration time (tda), referred to as jerk time, and usually one acceleration region (ak) with a constant positive acceleration lying between the first and second change-of-acceleration region in time, and wherein said temporal acceleration curve during braking to standstill has a first and second change-of-acceleration region with a positive and negative change-of-acceleration curve (av) and a change-of-acceleration time (tda), referred to as jerk time, and usually one acceleration region with constant negative acceleration lying between the first and second change-of-acceleration region in time,
 - wherein the reference variable is adapted in such a way that the oscillations are as small as possible,
 - **characterized in that**
 - a memory apparatus (52) is present, the latter being accessed by the control apparatus (50), wherein reference variable values are stored in the memory apparatus (52), said reference variable values providing oscillation-minimized values for the change-of-acceleration curve (av) and/or the change-of-acceleration time (tda), said oscillation-minimized values having been ascertained in advance by simulation calculations and/or by measurements on the respectively specifically physically embodied device, wherein the stored values also take account of drive-specific deviations between the intended and actual acceleration curve of the drive in addition to the simulated natural frequencies, and so all parameters causing the oscillations are captured in order to realize an oscillation avoidance.
2. Device according to Claim 1,
 - **characterized in that**
 - the values are stored in the memory apparatus (52) in the form of tables or characteristic curves (75), depending on the respective position of the received material to be conveyed/load (18), or in the form of characteristic fields (80), depending on the respective position of the received material to be conveyed/load (18) and depending on the mass of the received material to be conveyed/load (18).
3. Device according to Claim 1 or 2,
 - **characterized in that**
 - the simulation calculation is based on a finite element calculation (FEM) or a multi-component system calculation (MKS), which captures the effect of the deviation between intended and actual value of the drive control.
4. Device according to Claim 3,
 - **characterized in that**
 - the reference variable values are calculated within the scope of the simulation calculation taking account of all inherent forms of the device.
5. Device according to one or more of the preceding claims,
 - **characterized in that**
 - a first sensor unit that communicates with the control apparatus (50) is present, said first sensor unit ascertaining the current height of the receptacle means (16), and/or a second sensor unit is present, said second sensor unit establishing the mass of the material to be conveyed or load respectively received by the receptacle means (16), wherein the functional variable values are stored depending on the height (HLAM) of the receptacle means (16) and/or the respective mass of the received material to be conveyed or the load (18) and the control apparatus picks the reference variable values from the memory apparatus depending on the values respectively ascertained by the first or second sensor unit and feeds said reference variable values to the first drive assembly (14).

6. Device according to one or more of the preceding claims,

- **characterized in that**

- a measuring instrument for directly or indirectly measuring the acceleration is present on the displaceable unit (12), the intended/actual value deviation being rendered capturable by means of said measuring instrument and the reference variable values being corrected on account of the intended/actual value deviation by the control apparatus by means of said measuring instrument.

7. Device according to one or more of the preceding claims,

- **characterized in that**

- the device is embodied as a storage and retrieval machine (10.1) for a shelf warehouse, the displaceable unit (14) is coupled to a load receptacle means (16) via a shelf pole (24) and the load receptacle means (16) is displaceable in terms of height along the shelf pole (24) by way of the second drive assembly (22).

8. Device according to one or more of the preceding Claims 1 to 6,

- **characterized in that**

- the device is embodied as a crane apparatus, the displaceable unit is coupled to the load receptacle means by way of a cable and the load receptacle means is displaceable in terms of height by winding or unwinding the cable by means of the second drive assembly (22).

9. Device according to one or more of the preceding Claims 1 to 6,

- **characterized in that**

- the machine device is embodied as a robot or a manufacturing machine with appropriate drives for moving objects.

10. Device according to one or more of the preceding claims,

- **characterized in that**

- a linear or non-linear change-of-acceleration curve is formulated in the simulation calculation for calculating minimized oscillation coefficients.

11. Method for operating a machine device with a tendency to oscillate under a pulse-formed drive load, in particular a storage and retrieval machine, a manufacturing machine, a robot, a crane or the like, comprising

- a displaceable unit (12),
 - a receptacle means (16) for receiving material to be conveyed or for receiving a load, said receptacle means being coupled to the displaceable unit (12),
 - a first drive assembly (14) for moving the displaceable unit (12) along a travel (F) from an initial to an end position,
 - a control apparatus (50) for controlling the motion of the displaceable unit (12),
 - wherein the first drive assembly (14) is controlled by way of the control apparatus (50) by predetermining the time curve of a reference variable, namely the temporal acceleration curve, and the device (10.1, 10.2) tends to oscillate during the displacement, said oscillations occurring in the displacement direction, and
 - wherein the temporal acceleration curve during start-up until a predetermined displacement speed has been reached has a first and second change-of-acceleration region with a positive or negative change-of-acceleration curve (av) and a change-of-acceleration time (tda), referred to as jerk time, and usually one acceleration region (ak) with a constant positive acceleration lying between the first and second change-of-acceleration region in time, and wherein said temporal acceleration curve during braking to standstill has a first and second change-of-acceleration region with a positive and negative change-of-acceleration curve (av) and a change-of-acceleration time (tda), referred to as jerk time,
 - wherein the reference variable is adapted in such a way that the oscillations are as small as possible,

- **characterized in that**

- reference variable values are supplied to the first drive assembly (14) from a memory apparatus, said reference variable values representing oscillation-minimized values for the change-of-acceleration curve and/or the change-of-acceleration time, said oscillation-minimized values having been ascertained in advance by simulation calculations and/or by measurements on the respectively specifically physically embodied device and stored in the memory apparatus, wherein the stored values also take account of drive-specific deviations between the intended and actual acceleration curve of the drive in addition to the simulated natural frequencies, and so all parameters causing the oscillations are captured in order to realize an oscillation avoidance.

12. Method according to Claim 11,

- **characterized in that**

- the simulation calculation is carried out as a

finite element calculation (FEM) or as a multi-body simulation (MKS), taking account of all inherent forms of the device.

13. Method according to Claim 11 or 12,

- **characterized in that**

- use is made of a first sensor unit that communicates with the control apparatus (50), said first sensor unit ascertaining the current height of the receptacle means (16), and/or a second sensor unit is present, said second sensor unit establishing the mass of the material to be conveyed or load respectively received by the receptacle means (16), wherein the functional variable values are stored depending on the height (HLAM) of the receptacle means (16) and/or the respective mass of the received material to be conveyed or the load (18) and the control apparatus picks the reference variable values from the memory apparatus depending on the values respectively ascertained by the first or second sensor unit and feeds said reference variable values to the first drive assembly (14).

14. Method according to Claim 11, 12 or 13,

- **characterized in that**

- an acceleration sensor is used on the displaceable unit (12), intended/actual value deviation being comprised by means of said acceleration sensor, and the control apparatus appropriately corrects the reference variable values on account of the intended/actual value deviation.

15. Method according to one or more of Claims 11 to 14,

- **characterized in that**

- a linear or non-linear change-of-acceleration curve is formulated in the simulation calculation (FEM, MKS) for calculating minimized oscillation coefficients.

Revendications

1. Dispositif de machine (10.1, 10.2), qui tend à osciller sous une charge d'entraînement en forme d'impulsions, en particulier appareil de desserte de rayonnage, machine de fabrication, robot, grue ou similaire, avec

- une unité déplaçable (12),
- un moyen de réception (16) couplé à l'unité déplaçable (12), destiné à recevoir un produit transporté ou une charge,
- un premier groupe d'entraînement (14) pour déplacer l'unité déplaçable (12) le long d'une

trajectoire (F) d'une position initiale à une position finale,

- un dispositif de commande (50) pour commander le déplacement de l'unité déplaçable (12),
- dans lequel le premier groupe d'entraînement (14) est commandé par le dispositif de commande (50) par la prescription de l'évolution temporelle d'une grandeur de guidage, à savoir de l'évolution temporelle de l'accélération, et le dispositif (10.1, 10.2) a tendance à osciller dans la direction de déplacement pendant le déplacement, et

- dans lequel l'évolution temporelle de l'accélération présente, lors du démarrage jusqu'à l'arrivée à une vitesse de déplacement prédéterminée, une première et une deuxième plages de variation de l'accélération avec une évolution positive ou négative de variation de l'accélération (av) et un temps de variation de l'accélération (tda), appelé temps de lissage, et la plupart du temps avec une plage d'accélération (ak) à accélération positive constante située temporellement entre la première et la deuxième plages de variation de l'accélération, et présente lors du freinage jusqu'à l'arrêt une première et une deuxième plages de variation de l'accélération avec une évolution positive et négative de variation de l'accélération (av) et un temps de variation de l'accélération (tda), appelé temps de lissage, et la plupart du temps avec une plage d'accélération à accélération négative constante située temporellement entre la première et la deuxième plages de variation de l'accélération,
- dans lequel la grandeur de guidage est adaptée de telle manière que les oscillations soient aussi faibles que possible,

caractérisé en ce que

- il se trouve un dispositif de mémoire (52), auquel le dispositif de commande (50) a accès, dans lequel des valeurs de la grandeur de guidage sont mémorisées dans le dispositif de mémoire (52), qui fournit des valeurs à oscillations minimisées pour l'évolution de variation de l'accélération (av) et/ou du temps de variation de l'accélération (tda), qui ont été déterminées au préalable par des calculs de simulation et/ou par des mesures sur le dispositif réalisé chaque fois en construction concrète, dans lequel les valeurs mémorisées tiennent également compte, en plus des fréquences propres simulées, d'écarts spécifiques d'entraînement entre une évolution théorique et réelle de l'accélération de l'entraînement, de telle manière que tous les paramètres provoquant les oscillations soient détectés afin de réaliser une prévention des oscillations.

2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en**

- ce que** les valeurs sont stockées dans le dispositif de mémoire (52) sous forme de tableaux ou de courbes caractéristiques (75), en fonction de la position respective du produit transporté/de la charge emporté (e) (18) ou de diagrammes caractéristiques (80), en fonction de la position respective du produit transporté/de la charge emporté(e) (18) et en fonction de la masse du produit transporté/de la charge emporté(e) (18) .
3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le calcul de simulation est basé sur un calcul par éléments finis (FEM) ou un calcul de système à plusieurs composants (MKS), qui détecte l'effet de l'écart entre la régulation théorique et réelle de l'entraînement.
4. Dispositif selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** les valeurs de la grandeur de guidage sont calculées dans le cadre du calcul de simulation en tenant compte de toutes les formes propres du dispositif.
5. Dispositif selon une ou plusieurs des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** se trouve une première unité de capteur communicant avec le dispositif de commande (50), qui détermine la hauteur actuelle du moyen de réception (16) et/ou il se trouve une deuxième unité de capteur, qui détermine la masse du produit transporté ou de la charge respectivement emporté(e) par le moyen de réception (16), dans lequel les valeurs de grandeurs de fonctionnement sont mémorisées en fonction de la hauteur (HLAM) du moyen de réception (16) et/ou de la masse respective du produit transporté ou de la masse emporté(e) (18) et le dispositif de commande prélève dans le dispositif de mémoire les valeurs de la grandeur de guidage en fonction des valeurs déterminées respectivement par la première et par la deuxième unité de capteur et les envoie au premier groupe d'entraînement (14).
6. Dispositif selon une ou plusieurs des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** se trouve sur l'unité déplaçable (12) un instrument de mesure pour la mesure directe ou indirecte de l'accélération, au moyen duquel l'écart entre la théorie et la réalité peut être détecté et le dispositif de commande corrige les valeurs de la grandeur de guidage sur la base de l'écart entre la théorie et la réalité.
7. Dispositif selon une ou plusieurs des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le dispositif est constitué par un appareil de desserte de rayonnage (10.1) pour un entrepôt, l'unité déplaçable (14) est couplée par un mât de rayonnage (24) à un moyen de réception de charge (16) et le moyen de réception de charge (16) est déplaçable en hauteur le long du
- mât de rayonnage (24) au moyen du deuxième groupe d'entraînement (22).
8. Dispositif selon une ou plusieurs des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le dispositif est constitué par un système de grue, l'unité déplaçable est couplée par un câble au moyen de réception de charge et le moyen de réception de charge est déplaçable en hauteur par enroulement ou déroulement du câble au moyen du deuxième groupe d'entraînement (22).
9. Dispositif selon une ou plusieurs des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le dispositif de machine est constitué par un robot ou une machine de fabrication avec des entraînements correspondants pour déplacer des objets.
10. Dispositif selon une ou plusieurs des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on suppose une évolution linéaire ou non linéaire de variation de l'accélération lors du calcul de simulation pour le calcul de coefficients d'oscillation minimisés.
11. Procédé de conduite d'un dispositif de machine, qui tend à osciller sous une charge d'entraînement en forme d'impulsions, en particulier appareil de desserte de rayonnage, machine de fabrication, robot, grue ou similaire, avec
- une unité déplaçable (12),
 - un moyen de réception (16) couplé à l'unité déplaçable (12), destiné à recevoir un produit transporté ou une charge,
 - un premier groupe d'entraînement (14) pour déplacer l'unité déplaçable (12) le long d'une trajectoire (F) d'une position initiale à une position finale,
 - un dispositif de commande (50) pour commander le déplacement de l'unité déplaçable (12),
 - dans lequel le premier groupe d'entraînement (14) est commandé par le dispositif de commande (50) par la prescription de l'évolution temporelle d'une grandeur de guidage, à savoir de l'évolution temporelle de l'accélération, et le dispositif (10.1, 10.2) a tendance à osciller dans la direction de déplacement pendant le déplacement, et
 - dans lequel l'évolution temporelle de l'accélération présente, lors du démarrage jusqu'à l'arrivée à une vitesse de déplacement prédéterminée, une première et une deuxième plages de variation de l'accélération avec une évolution positive ou négative de variation de l'accélération (av) et un temps de variation de l'accélération (tda), appelé temps de lissage, et la plupart du temps avec une plage d'accélération (ak) à accélération positive constante située temporel-

lement entre la première et la deuxième plages de variation de l'accélération, et présente lors du freinage jusqu'à l'arrêt une première et une deuxième plages de variation de l'accélération avec une évolution positive et négative de variation de l'accélération (av) et un temps de variation de l'accélération (tda), appelé temps de lissage,

- dans lequel la grandeur de guidage est adaptée de telle manière que les oscillations soient aussi faibles que possible,

caractérisé en ce que l'on envoie au premier groupe d'entraînement (14) des valeurs de grandeur de guidage à partir d'un dispositif de mémoire, qui représentent des valeurs à oscillations minimisées pour l'évolution de variation de l'accélération et/ou le temps de variation de l'accélération, qui ont été déterminées au préalable par un calcul de simulation et/ou par une mesure sur le dispositif réalisé chaque fois en construction concrète et on les mémorise dans le dispositif de mémoire, dans lequel les valeurs mémorisées tiennent également compte, en plus des fréquences propres simulées, d'écarts spécifiques d'entraînement entre une évolution théorique et réelle de l'accélération de l'entraînement, de telle manière que tous les paramètres provoquant les oscillations soient détectés afin de réaliser une prévention des oscillations.

12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** l'on effectue le calcul de simulation par un calcul par éléments finis (FEM) ou par une simulation à plusieurs corps (MKS) en tenant compte de toutes les formes propres du dispositif.

13. Procédé selon une revendication 11 ou 12, **caractérisé en ce que** l'on utilise une première unité de capteur communicant avec le dispositif de commande (50), qui détermine la hauteur actuelle du moyen de réception (16) et/ou il se trouve une deuxième unité de capteur, qui détermine la masse du produit transporté ou de la charge respectivement emporté(e) par le moyen de réception (16), dans lequel les valeurs de grandeurs de fonctionnement sont mémorisées en fonction de la hauteur (HLAM) du moyen de réception (16) et/ou de la masse respective du produit transporté ou de la masse emporté(e) (18) et le dispositif de commande prélève dans le dispositif de mémoire les valeurs de la grandeur de guidage en fonction des valeurs déterminées respectivement par la première et par la deuxième unité de capteur et les envoie au premier groupe d'entraînement (14).

14. Procédé selon une revendication 11, 12 ou 13, **caractérisé en ce que** l'on utilise sur l'unité déplaçable (12) un capteur d'accélération, au moyen duquel on

comprend l'écart entre la théorie et la réalité et le dispositif de commande corrige de façon correspondante les valeurs de la grandeur de guidage sur la base de l'écart entre la théorie et la réalité.

15. Procédé selon une ou plusieurs des revendications 11 à 14, **caractérisé en ce que** l'on suppose une évolution linéaire ou non linéaire de variation de l'accélération lors du calcul de simulation (FEM, MKS) pour le calcul de coefficients d'oscillation minimisés.

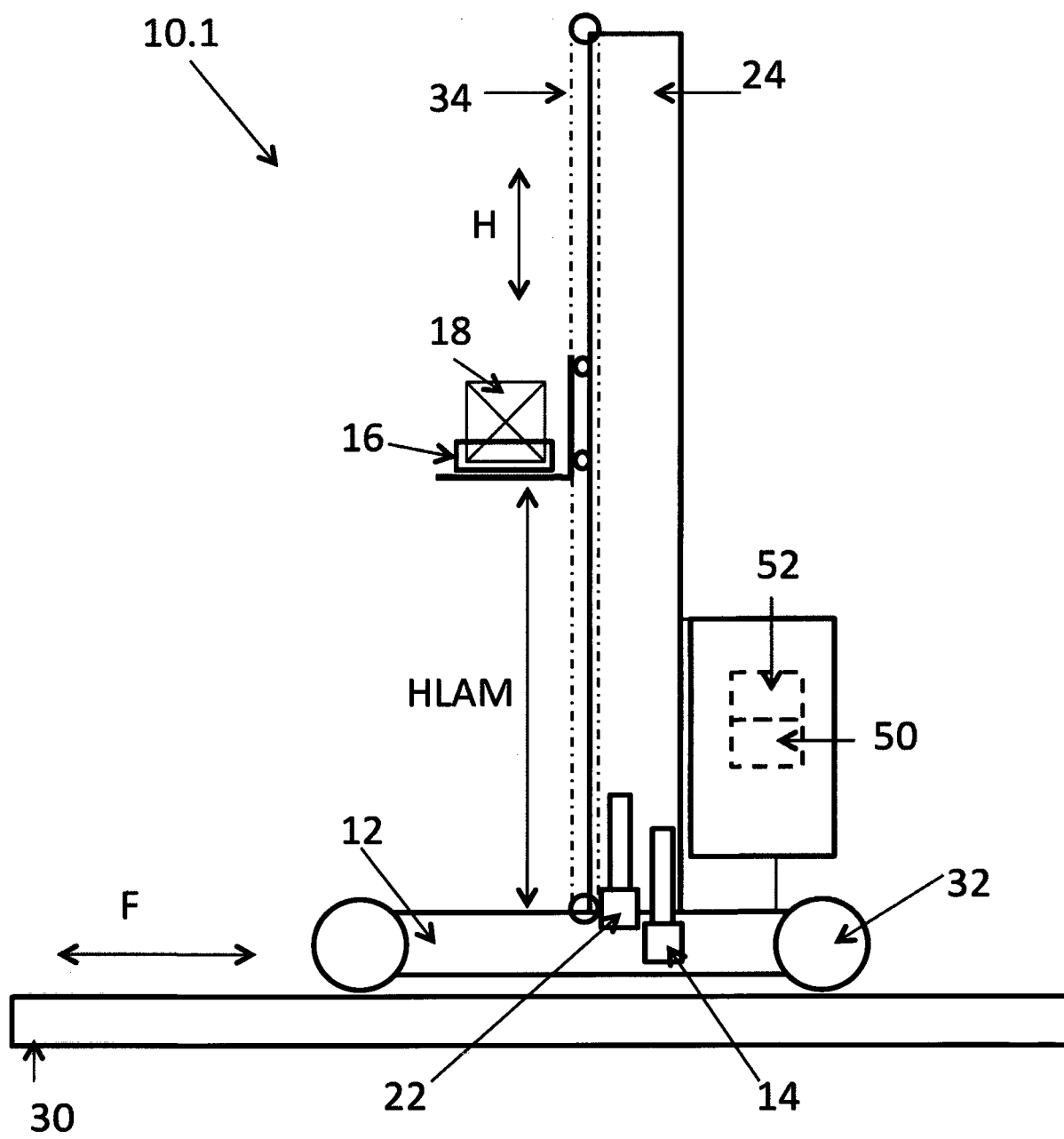


Fig. 1

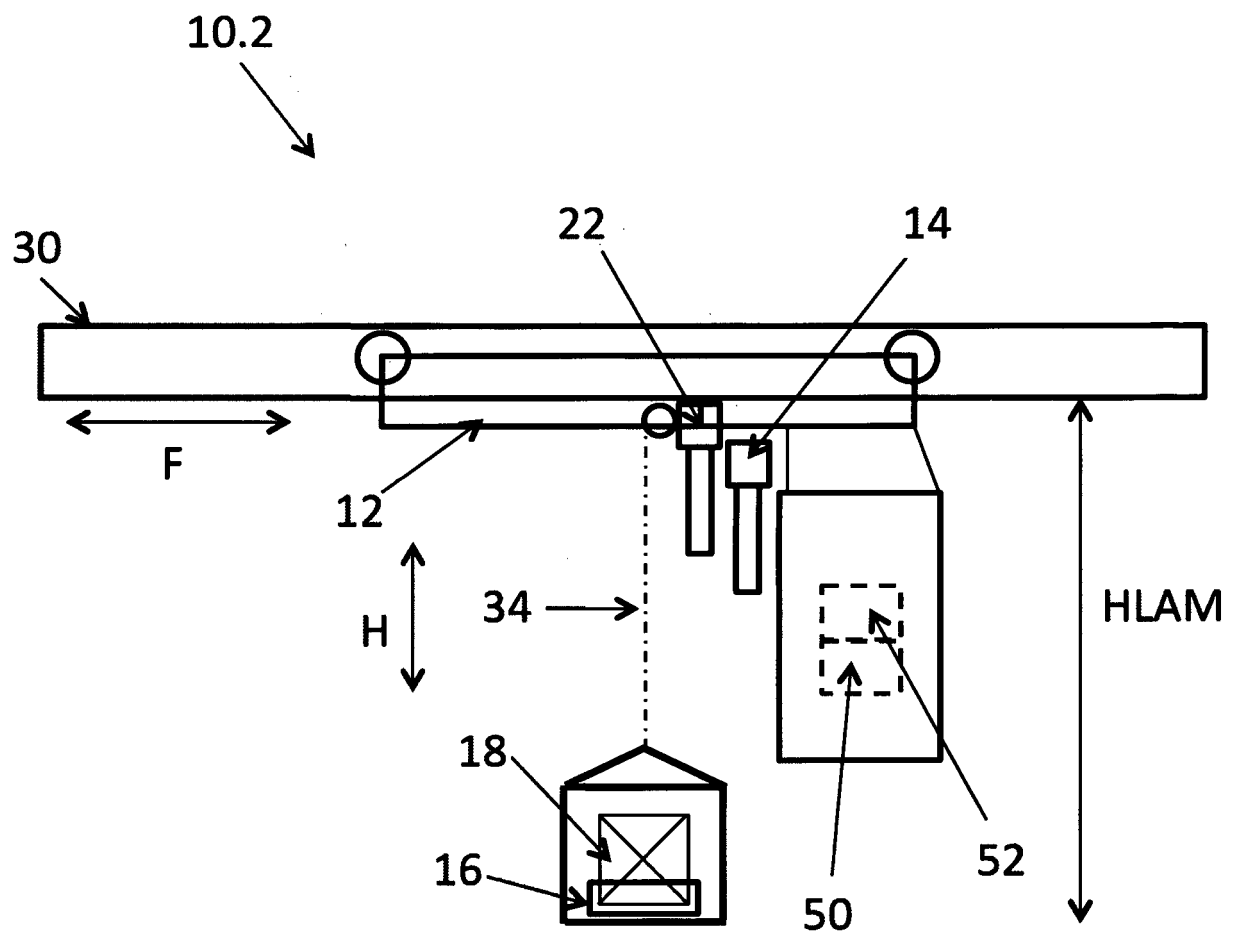


Fig. 2

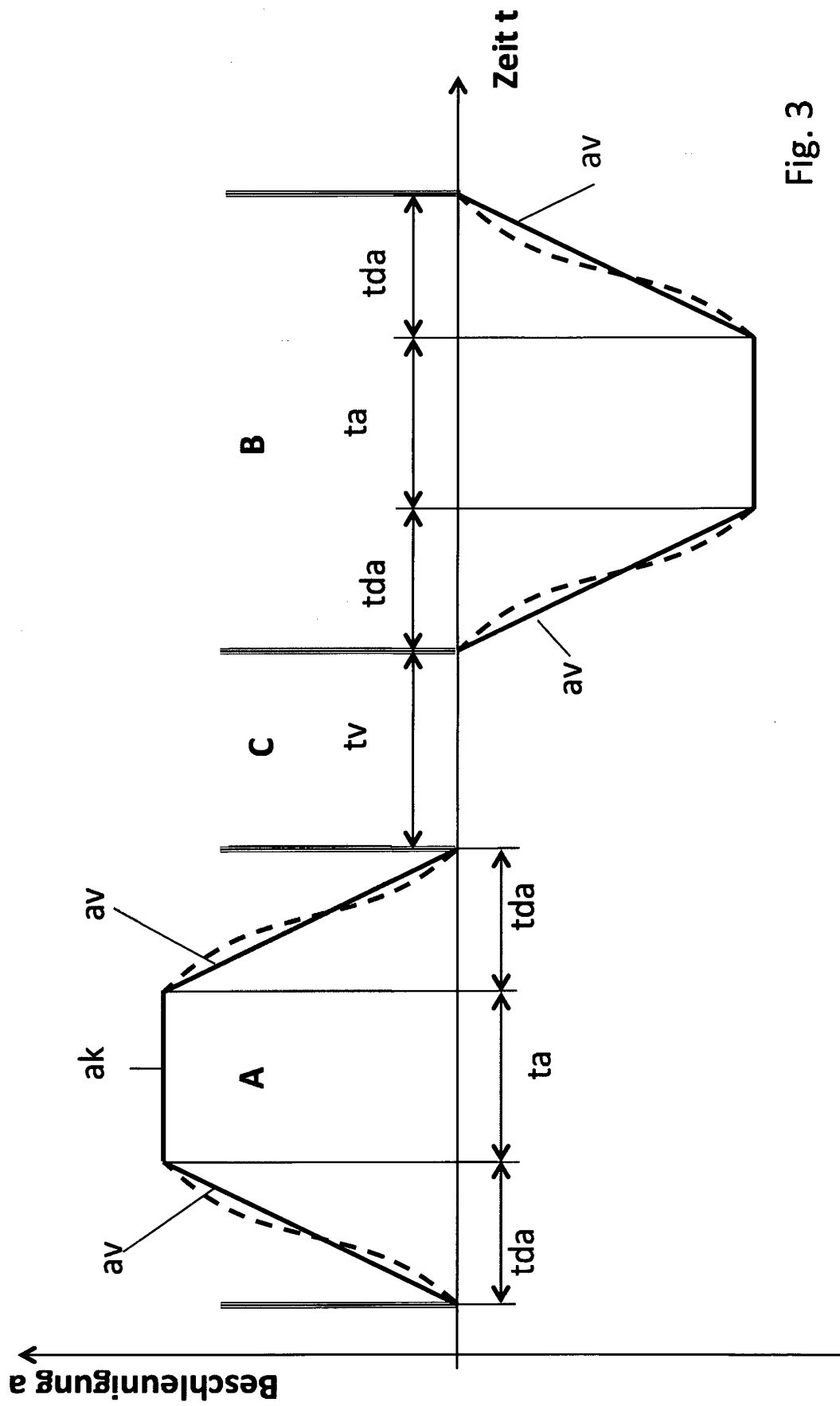


Fig. 3

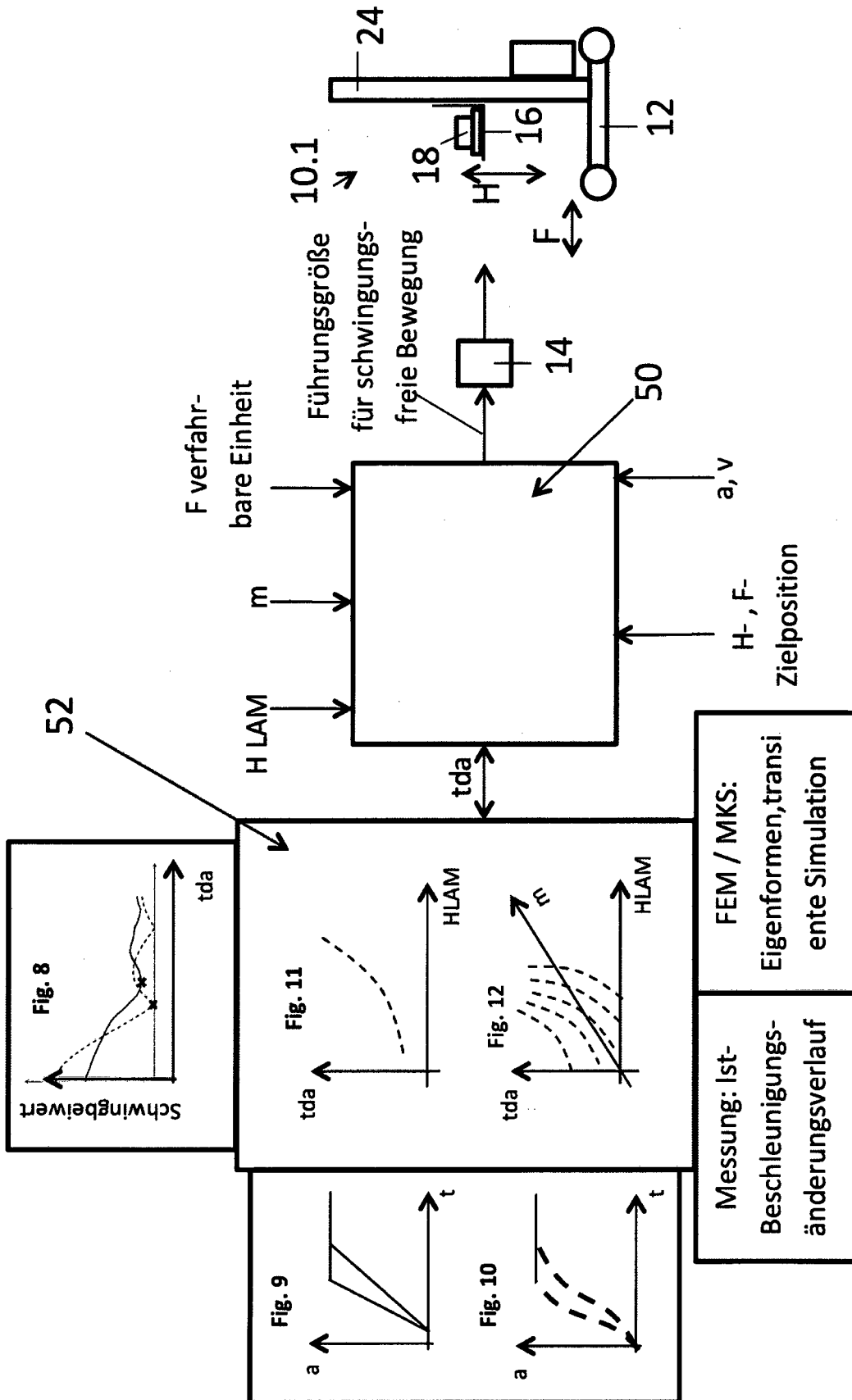


Fig. 4

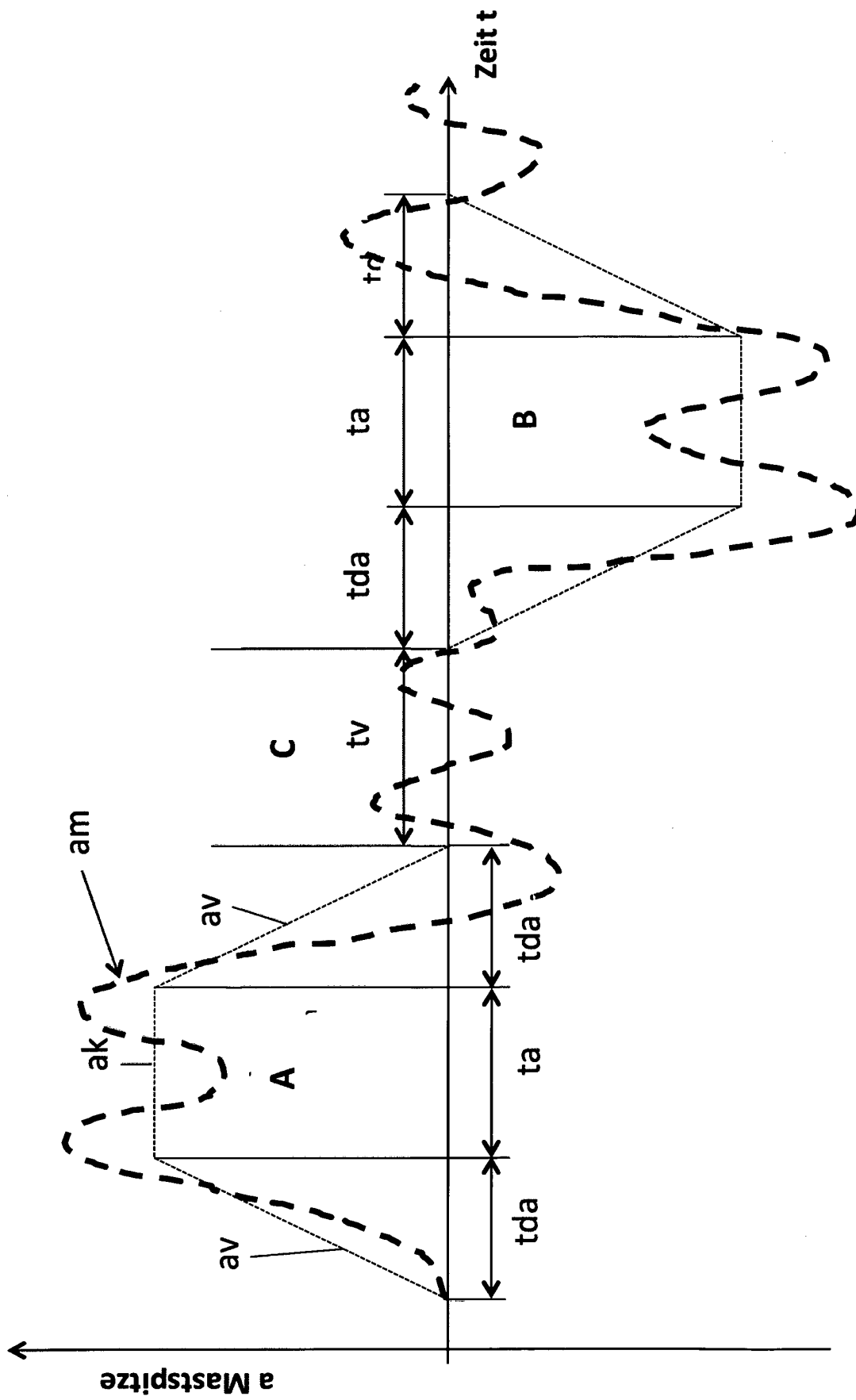


Fig. 5

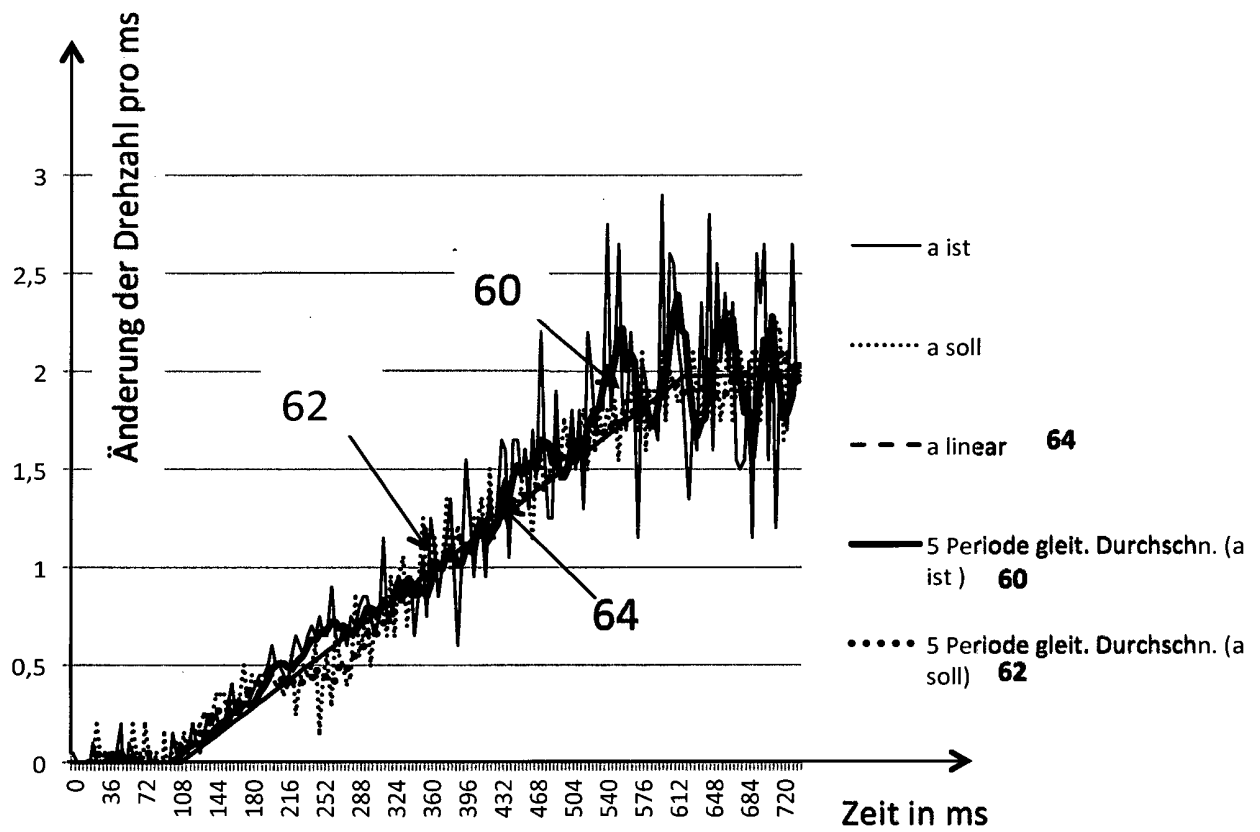


Fig. 6

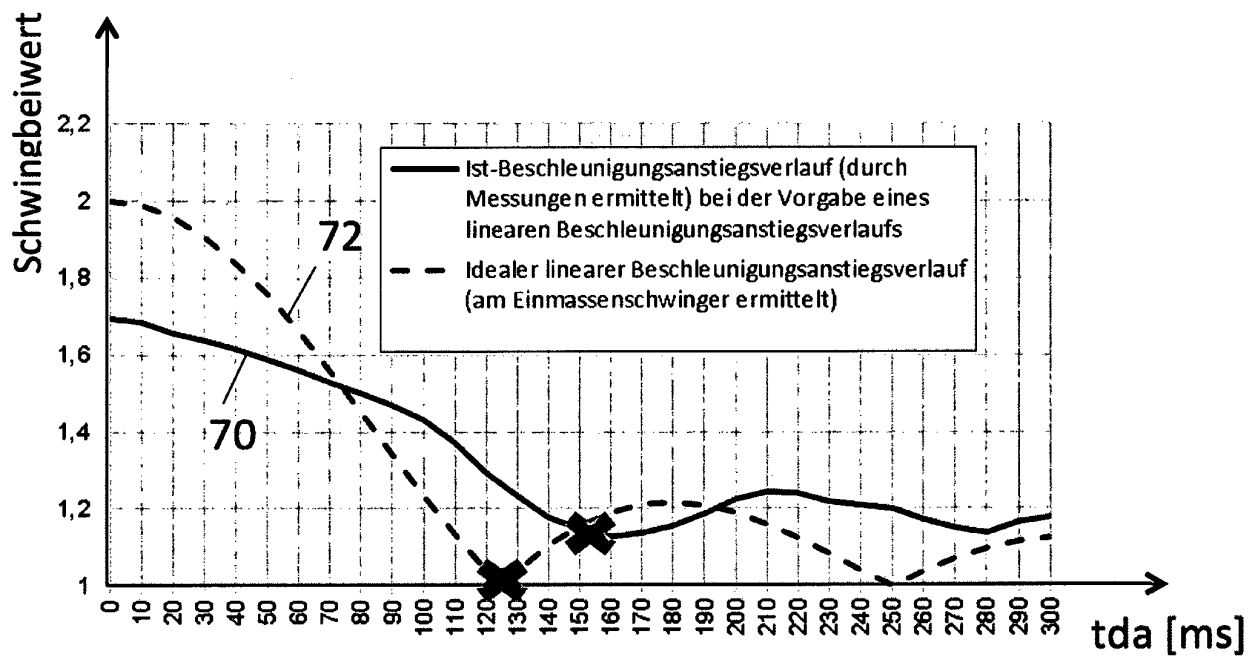


Fig. 7

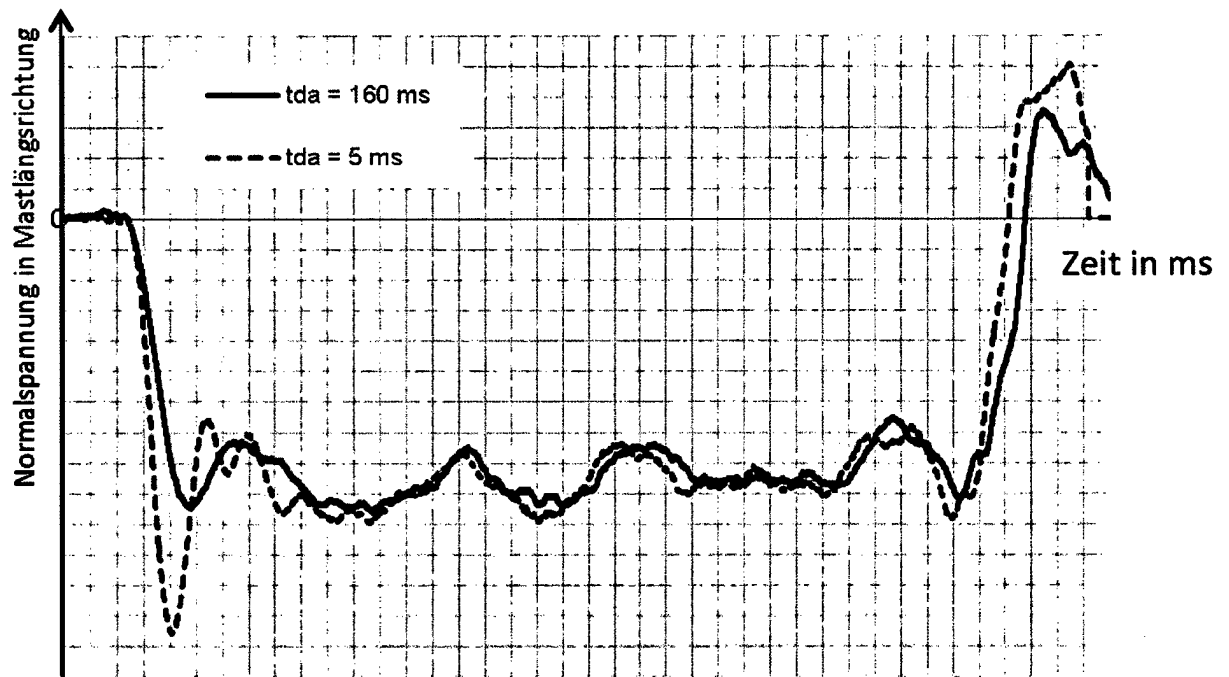


Fig.8

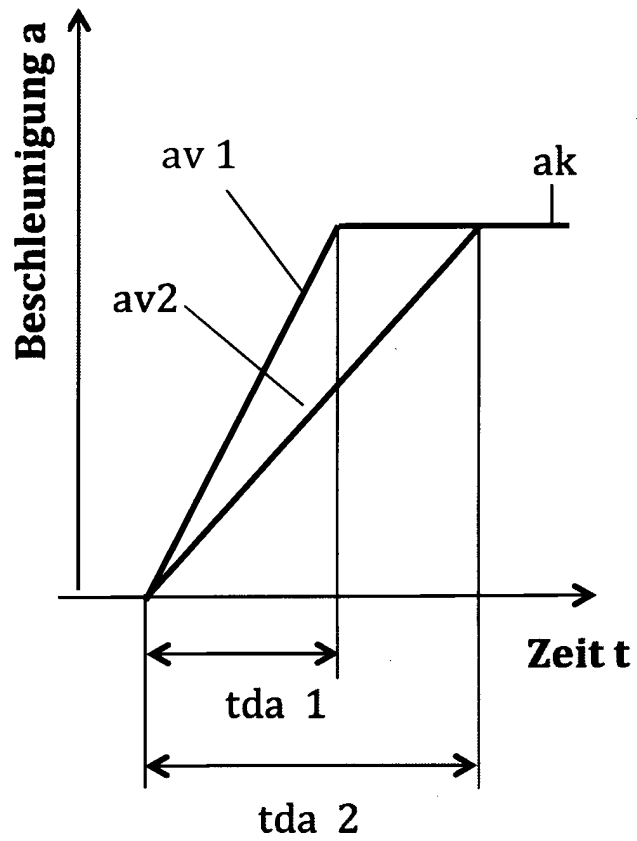


Fig. 9

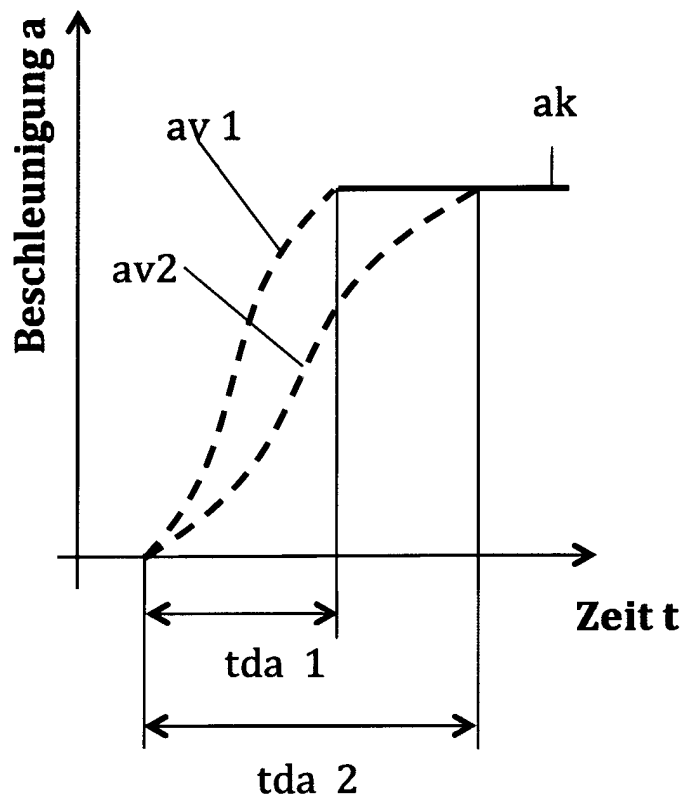


Fig. 10

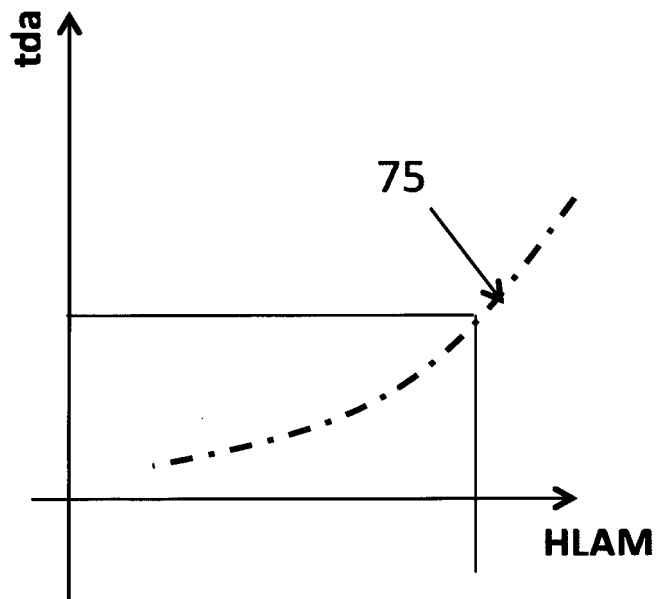


Fig. 11

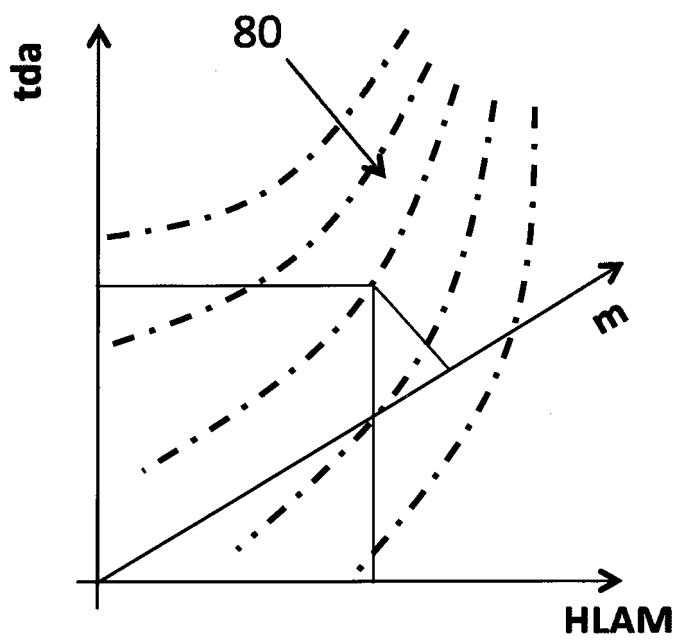


Fig. 12

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 3524666 A1 [0005]
- DE 4407862 A [0005]
- DE 19641192 C2 [0006]
- DE 69119913 T2 [0007]
- DE 19709381 A1 [0008]
- DE 102009051846 A1 [0009]
- DE 19907989 B4 [0010]
- DE 1531210 A [0011]
- DE 102005005358 A1 [0012]
- DE 10063722 C2 [0013]
- EP 0685779 A1 [0014]
- WO 1996012992 A1 [0015]
- WO 2000042479 A1 [0016]
- US 20110006023 A1 [0017]