



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 048 519 A1** 2006.03.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 048 519.4**

(22) Anmeldetag: **06.10.2004**

(43) Offenlegungstag: **02.03.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G05D 3/12** (2006.01)

H02P 23/04 (2006.01)

B66F 9/24 (2006.01)

(66) Innere Priorität:

10 2004 040 865.3 23.08.2004

(71) Anmelder:

Sandt Logistik GmbH, 66955 Pirmasens, DE

(74) Vertreter:

**Keil & Schaafhausen Patentanwälte, 60322
Frankfurt**

(72) Erfinder:

Klein, Peter, 66978 Merzalben, DE

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

DE 196 41 192 C2

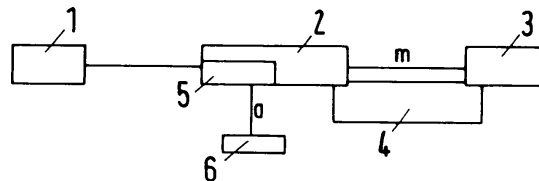
EP 08 06 715 B1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Antriebsregelung für ein Regalbediengerät**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Antriebsregelung für ein Regalbediengerät beschrieben, welche eine Stellgröße (m) für einen Motor (3) eines Regalbediengerätes zur Einstellung der Position des Regalbediengerätes insbesondere auf Grundlage eines gemessenen Positionssignals (p) ausgibt. Für eine aktive Schwingungsdämpfung wird eine Schwingungsregelung (5) der Antriebsregelung (1) überlagert und/oder in diese integriert, wobei die Schwingungsregelung (5) auf Grundlage einer Messung der Schwingung des Regalbediengerätes die Stellgröße (m) für den Motor (3) des Regalbediengerätes beeinflusst.



Beschreibung**Aufgabenstellung**

[0001] Die Erfindung betrifft eine Antriebsregelung für ein Regalbediengerät, welche eine Stellgröße für einen Motor eines Regalbediengerätes zur Einstellung der Position des Regalbediengerätes insbesondere auf Grundlage eines gemessenen Positionssignals ausgibt. Ein Positionssignal erfasst die Stellung des Mastes des Regalbediengerätes, um dessen Position vor dem Regal auf die gewünschte Position einzustellen. Zusätzlich oder alternativ zu der aktuellen Position des Regalbediengerätes kann auch die Drehzahl des Motors des Regalbediengerätes gemessen und von der Antriebsregelung zur Ermittlung einer Stellgröße für den Motor verwendet werden.

Stand der Technik

[0002] Derartige Regelungen für Regalbediengeräte sind allgemein bekannt. Regalbediengeräte weisen in der Regel einen verfahrbaren Hubkorb auf, um insbesondere Hochregale in jeder beliebigen Höhe anfahren zu können. Aufgrund dieses Aufbaus neigen Regalbediengeräte nach Hochfahren des Hubkorbs mit wachsender Höhe zunehmend zu Schwingungen, die die Nutzbarkeit des Regalbediengerätes in der Praxis merklich beeinträchtigen. Zum einen führen die Schwingungen zu einer Reduzierung der erreichbaren Maximalgeschwindigkeit aufgrund mechanischer Resonanzen und zum anderen muss aufgrund der häufig lange andauernden Nachschwingungen mit einer übermäßig langen Zeit für die Endpositionierung gerechnet werden. Besonders störend ist hierbei eine niedrige Schwingungsfrequenz im Bereich weniger Hertz oder darunter, die mit langen Ausschwingzeiten nach jedem Positioniervorgang verbunden ist. Die resonante Schwingungsfrequenz hängt unmittelbar mit der Größe der bewegten Masse und der Struktursteifigkeit des Regalbediengerätes zusammen.

[0003] Zur passiven Schwingungsbekämpfung werden die Masse des Regalbediengerätes durch Leichtbau (Verwendung von Verbundwerkstoffen) reduziert und Maßnahmen zur Erhöhung der Struktursteifigkeit ergriffen. Ferner wurde eine aktive Versteifung der Struktur dadurch erreicht, dass der Mast, an welchem der Hubkorb angebracht ist, an seinem oberen Ende mit einem zusätzlichen Antrieb mit Kraftschluss zu einer Führungstange ausgestaltet ist. Die Möglichkeiten einer passiven Schwingungsbegrenzung sind jedoch beschränkt und der Einsatz eines zusätzlichen Antriebs am oberen Ende des Mastes ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Für den zusätzlichen Antrieb fallen sowohl in der Anschaffung als auch bei der Wartung zusätzliche Kosten an.

[0004] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Antriebsregelung für ein Regalbediengerät vorzuschlagen, welche eine Verkürzung der Positionierzeiten und eine Bedämpfung von Schwingungen des Regalbediengerätes mit einem nur geringen Aufwand ermöglicht.

[0005] Diese Aufgabe wird für eine Antriebsregelung der eingangs genannten Art mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Dazu wird eine Schwingungsregelung der Antriebsregelung überlagert und/oder in diese integriert, wobei die Schwingungsregelung auf Grundlage einer Messung der Schwingung des Regalbediengerätes die Stellgröße für den Motor des Regalbediengerätes beeinflusst. Durch die Erfassung der tatsächlichen Schwingung des Regalbediengerätes während des Betriebs kann die Schwingungsregelung den Motor des Regalbediengerätes so beeinflussen, dass die Schwingung des Regalbediengerätes verringert wird. Aufgrund der bei einer Bewegung des Regalbediengerätes wirksamen Kräfte und Drehmomente nimmt die mechanische Struktur des Regalbediengerätes Energie auf, die in bewegten Massen und der elastischen Konstruktion des Regalbediengerätes in Form von Schwingungen gespeichert wird. Bei den innerhalb eines Systems auftretenden Resonanzfrequenzen sind die herkömmlichen Systeme nur schwach gedämpft, so dass das System langdauernde Schwingungen durchführt. Durch eine Schwingungsregelung kann die Stellgröße für den Motor des Regalbediengerätes bei Auftreten solcher Schwingungen verändert werden, um die Energiezufuhr in das Schwingungssystem zu unterbrechen und die Schwingung aktiv zu dämpfen. Diese Dämpfung kann beispielsweise durch eine Verringerung der Geschwindigkeit des Motors erreicht werden.

[0006] Um eine möglichst sensitive Erfassung der Schwingungen des Regalbediengerätes zu ermöglichen, ist die Schwingungsregelung vorzugsweise mit einem Schwingungssensor verbunden, welcher derart an dem Regalbediengerät angebracht ist, dass Eigenbewegungen des Regalbediengerätes, insbesondere dessen Mastes, zuverlässig erfasst werden. Dazu kann der Sensor insbesondere am oberen Ende des Mastes festgelegt werden, wo erfahrungsgemäss häufig die größten Schwingungen auftreten. Je nach Konstruktion kann der Schwingungssensor jedoch auch an anderen Stellen des Regalbediengerätes angeordnet sein. Insbesondere ist es auch möglich, mehrere Schwingungssensoren vorzusehen, die an verschiedenen Positionen angeordnet sind. Dadurch können die komplexen Schwingungsverhältnisse eines Regalbediengerätes sehr zuverlässig erfasst werden.

[0007] Als Schwingungssensoren eignen sich erfin-

dungsgemäß insbesondere Beschleunigungs- und/oder Geschwindigkeitssensoren.

[0008] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Antriebsregelung weist die Schwingungsregelung einen Zustandsbeobachter auf, welcher antriebsnahe Messgrößen des Regalbediengerätes, wie beispielsweise den Antriebsstrom, das Drehmoment und/oder die Drehzahl des Motors und dynamische Messgrößen, welche insbesondere die Schwingung des Regalbediengerätes anzeigen, beispielsweise eine Beschleunigung und/oder Geschwindigkeit des Mastes, erfasst. Durch diesen von der eigentlichen Antriebsregelung separaten Zustandsbeobachter wird es der Schwingungsregelung ermöglicht, unabhängig von der Antriebsregelung die für die Schwingungsregelung relevanten Messgrößen zu erfassen. Dabei können als Eingangsgrößen für den Zustandsregler teilweise auch Messgrößen verwendet werden, die in der Antriebsregelung Eingang finden.

[0009] Erfindungsgemäß kann in dem Zustandsbeobachter ein mathematisches Modell des Regalbediengerätes zur Ermittlung eines dynamischen Systemzustandes implementiert sein. Dieser Systemzustand bildet dann die Eingangsgröße für den Zustandsregler der Schwingungsregelung. Der dynamische Zustand des Systems kann als Momentaufnahme aller im System vorhandenen Energiespeicher aufgefasst werden, so dass die realen Schwingungen des Regalbediengerätes vorgegebenen Systemparametern zugeordnet werden, die durch einen Zustandsregler ausregelbar sind. Der Zustandsbeobachter enthält also ganz allgemein ein Modell des zu regelnden Systems, welches parallel zu den Bewegungen des realen Regalbediengerätes gerechnet wird und dessen dynamischer Zustand mit Hilfe der verfügbaren Messgrößen erfindungsgemäß laufend an die Realität angepasst werden kann.

[0010] Um eine hohe aktive Schwingungsdämpfung zu erreichen, wirkt die Schwingungsregelung vorzugsweise mit einer Antriebsregelung zusammen, die einen Lageregler, einen Drehzahlregler und einen Stromregler aufweist, wobei der Lageregler mit einem Positionssensor zum Erfassen der Ist-Position des Regalbediengerätes und der Drehzahlregler mit einem Drehzahlsensor zum Erfassen der Ist-Motordrehzahl des Motors des Regalbediengerätes verbunden sind. Dabei kann die Antriebsregelung insbesondere als Kaskadenregelung ausgebildet sein, bei der der Drehzahlregler dem Lageregler und der Stromregler dem Drehzahlregler insbesondere jeweils unmittelbar nachgeschaltet sind, wobei die Ausgangsgröße des vorhergehenden Reglers eine Eingangsgröße des nachfolgenden Reglers bildet.

[0011] Die Schwingungsregelung kann zur Beeinflussung der Antriebsregelung erfindungsgemäß ei-

nen für die Antriebsregelung additiven Sollwert als Eingangsgröße vorgeben, der von einem der in der Antriebsregelung enthaltenen Regler berücksichtigt wird.

[0012] Bevorzugt ist in einem solchen Fall, dass der additive Sollwert ein Strom- und/oder Drehmoment-Sollwert ist, der additiv auf den Sollwert des Motormoments einwirkt, indem er insbesondere als additive Eingangsgröße für den Stromregler verwendet wird. Strom und Drehmoment hängen dabei voneinander ab. Der additive Sollwert kann erfindungsgemäß alternativ oder zusätzlich auch auf den Drehzahl- und/oder Lagesollwert einwirken.

[0013] Besonders einfach lässt sich die erfindungsgemäße Antriebssteuerung umsetzen, wenn die Schwingungssteuerung in einen ohnehin vorhandenen Antriebsumrichter, bspw. einen Frequenz- oder Servoumrichter, integriert ist, welcher den Motor des Regalbediengerätes ansteuert. Dazu können der Zustandsbeobachter und der Zustandsregler der Schwingungsregelung beispielsweise in Form von Software in den Antriebsumrichter integriert werden, der modular aufgebaut und/oder programmierbar sein kann. Die Erfindung kann natürlich auch in einem nicht-modularen Umrichter mit kundenspezifischer Firmware oder einem Umrichter mit erweiterten Parameterisierungsmöglichkeiten implementiert werden.

[0014] Weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich auch aus der nachfolgenden Beschreibung eines konkreten Ausführungsbeispiels und der Zeichnung. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der vorliegenden Erfindung, unabhängig von Ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbezügen.

Ausführungsbeispiel

[0015] Es zeigen:

[0016] [Fig. 1](#) schematisch den Aufbau einer erfindungsgemäßen Antriebsregelung im Überblick;

[0017] [Fig. 2](#) das Zusammenwirken der erfindungsgemäßen Antriebsregelung mit der Schwingungsregelung in einem Flussdiagramm und

[0018] [Fig. 3](#) die Architektur der erfindungsgemäßen Schwingungsregelung mit Zustandsbeobachter und Zustandsregler.

[0019] [Fig. 1](#) stellt eine Antriebsregelung **1** mit einem Antriebsumrichter **2** dar, der über eine Stellgröße m in bekannter Weise den Motor **3** eines Regalbediengerätes ansteuert. Die Position des Regalbe-

diengerätes wird über einen Positionssensor **4** gemessen, der als Resolver oder Entfernungsmesser ausgebildet sein kann. Dabei erfasst der Positionssensor **4** beispielsweise die Position des Mastes des Regalbediengerätes, mit welchem das Regalbediengerät in der Höhe auf das anzusteuernde Regalfach eingestellt wird. Der Antriebsregelung **1** steht dieses von dem Positionssensor **4** gemessene Positionssignal p zur Verfügung, so dass die Antriebsregelung **1** die Stellgröße m für den Motor **3** in Abhängigkeit von dem gemessenen Positionssignal p ausgibt. Die Antriebsregelung **1** und der Antriebsumrichter **2** können als separate Geräte oder integriert in ein Gerät ausgebildet sein.

[0020] Aufgrund der enormen Höhe, die Regalbediengeräte bei ausgefahrenem Mast erreichen, neigen diese konstruktionsbedingt zu Schwingungen. Die Schwingungen werden durch die während einer Bewegung wirksamen Kräfte und Drehmomente angeregt, wobei die entstehende Energie von der mechanischen Struktur des Regalbediengerätes gespeichert wird. Ist das mechanische System nicht hinreichend gedämpft, kann die aufgenommene Energie zwischen den einzelnen Energiespeichern mehrfach hin und her pendeln, bis sie abgebaut ist. In diesem Fall führt das System schwach gedämpfte Schwingungen aus. Mit einer konventionellen Antriebsregelung in Form einer Kaskadenregelung, die hintereinander geschaltet einen Lageregler, einen Drehzahlregler und einen Stromregler aufweist, können Schwingungen des Regalbediengerätes bzw. dessen Mastes nicht gezielt beeinflusst werden.

[0021] Für eine gezielte aktive Schwingungsdämpfung ist bei der Antriebsregelung **1** zusätzlich eine Schwingungsregelung **5** vorgesehen, die in den Antriebsumrichter **2** integriert ist. Die Schwingungsregelung **5** ist mit einem Schwingungssensor **6** verbunden, der am oberen Ende des Mastes des Regalbediengerätes **1** angebracht ist und dessen Beschleunigung a misst. Die Schwingungsregelung **5** ist der Antriebsregelung **1** überlagert bzw. unmittelbar in diese integriert und beeinflusst auf Grundlage der Messung bzw. Bestimmung der Schwingung des Regalbediengerätes und/oder sonstiger dynamischer Zustandsgrößen die Stellgröße m für den Motor **3** des Regalbediengerätes.

[0022] Die Struktur der erfindungsgemäßen Antriebsregelung **1** mit der überlagerten bzw. integrierten Schwingungsregelung **5** ist in dem schematischen Flussdiagramm gemäß [Fig. 2](#) näher erläutert. Dieses zeigt die Antriebsregelung **1** und die Schwingungsregelung **5**, welche mit dem schematisch dargestellten schwingenden System **7** zusammenwirken, um den Motor **3** des Regalbediengerätes durch Vorgabe der Stellgröße m aktiv schwingungsgedämpft anzutreiben.

[0023] Dazu weist die Schwingungsregelung **5** einen Zustandsbeobachter **8** auf, unter Verwendung der bekannten Messgrößen Beschleunigung a und Drehzahl n des Motors **3** und der bekannten Erregung durch das Drehmoment m den dynamischen Zustand des schwingenden Systems **7** nachbildet. Vereinfacht dargestellt kann der dynamische Zustand als eine Momentaufnahme aller im System vorhandenen Energiespeicher aufgefasst werden. Die einzelnen Zustandsgrößen werden in einem Zustandsregler **9** zu einem einzigen Signal verknüpft, welches zu dem Drehmoment-Sollwert m in der Antriebsregelung **1** hinzuaddiert wird.

[0024] Dazu wird das mechanische schwingende System **7** einschließlich der Antriebe und Antriebsregelung im regulären Arbeitsbereich durch ein lineares mathematisches Modell beschrieben. Um die Komplexität des Modells auf Systeme vierter bis sechster Ordnung zu beschränken, wird der betrachtete Frequenzbereich auf die wesentlich auftretenden Frequenzen beschränkt. Bei einer aktiven Schwingungsdämpfung sind vor allem die niederfrequenten Schwingungen von Interesse, da sie den größten Einfluss auf die erreichbaren Positionierzeiten haben. Dadurch lässt sich das Modell deutlich vereinfachen. Der von dem Zustandsregler **9** ermittelte additive Strom-/Drehmoment-Sollwert u wird dabei additiv auf den Sollwert für das Drehmoment m eines der Kaskadenregelung der Antriebsregelung **1** abschließenden Stromreglers **10** gegeben. Diesem vorgeschaltet sind ein Drehzahlregler **11** und ein Lageregler **12**, die entsprechend mit der gemessenen Drehzahl n und dem gemessenen Positionssignal p versorgt werden. Eine Drehzahlvorsteuerung geschieht über einen Profilgenerator **13**.

[0025] Nachfolgend wird die Architektur des kompletten Schwingungsreglers **5** anhand von [Fig. 3](#) erläutert.

[0026] Der Zustandsbeobachter **8** führt die Simulation des mechanischen schwingenden Systems **7** durch. Elementare Voraussetzung für die Durchführung einer aktiven Schwingungsdämpfung ist die Kenntnis der dynamischen Zustandsgrößen des Systems **7**. Da man diese Zustandsgrößen nicht direkt messen kann, müssen sie mit Hilfe des Zustandsbeobachters **8** ermittelt werden. Die Eingangsgröße des Zustandsbeobachters **8** ist das wirksame Motordrehmoment m . Die Ausgangsgrößen des Zustandsbeobachters **8** sind die simulierten Messgrößen des physikalischen schwingenden Systems, nämlich Motordrehzahl n' und Beschleunigung a' . Diese werden mit den real gemessenen Signalen der Beschleunigung a und der Motordrehzahl n verglichen. Eine im Normalfall stets vorhandene Differenz ergibt sich aus Ungenauigkeiten des Modells und unbekanntem Störgrößen, die auf das reale System einwirken. Mittels einer Korrektur **14** werden die von dem Zustandsbe-

obachter **8** ermittelten dynamischen Zustandsgrößen korrigiert und an den Zustandsregler **9** weitergeleitet.

[0027] Der Zustandsregler **9** gewichtet den errechneten dynamischen Systemzustand mit einer Reglermatrix **R** und addiert das Ergebnis zum Sollmoment am Ausgang des Drehzahlreglers **11** der Antriebsregelung **1** hinzu.

[0028] Daraus wird die Stellgröße **m** für den Motor **3** des Regalbediengerätes ermittelt und an das Regalbediensystem ausgegeben.

[0029] Einfacher Weise ist die Schwingungsregelung **5** mit in den Antriebsumrichter **2** beispielsweise in Form programmierbarer Module integriert, in welche die Regelparameter individuell eingebbar sind. Dadurch wird eine einfach handhabbare und kostengünstig umsetzbare Antriebsregelung **1** für ein Regalbediengerät vorgeschlagen, in die zur aktiven Schwingungsdämpfung eine Schwingungsregelung **5** integriert ist.

Bezugszeichenliste

1	Antriebsregelung
2	Antriebsumrichter
3	Motor
4	Positionssensor
5	Schwingungsregelung
6	Schwingungssensor
7	schwingendes System
8	Zustandsbeobachter
9	Zustandsregler
10	Stromregler
11	Drehzahlregler
12	Lageregler
13	Profilgenerator
14	Korrektur
15	Regelstrecke des schwingenden Systems
16	Drehzahlsensor
m	Stellgröße, Drehmoment
p	Positionssignal
a, a'	Beschleunigung
n, n'	Drehzahl
u	additiver Strom-/Drehmomentsollwert
R	Reglermatrix

Patentansprüche

1. Antriebsregelung für ein Regalbediengerät, welche eine Stellgröße (**m**) für einen Motor (**3**) eines Regalbediengerätes zur Einstellung der Position des Regalbediengerätes insbesondere auf Grundlage eines gemessenen Positionssignals (**p**) ausgibt, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Schwingungsregelung (**5**) der Antriebsregelung (**1**) überlagert und/oder in diese integriert ist, wobei die Schwingungsregelung (**5**) auf Grundlage einer Messung der Schwingung des Regalbediengerätes die Stellgröße

(**m**) für den Motor (**3**) des Regalbediengerätes beeinflusst.

2. Antriebsregelung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwingungsregelung (**5**) mit einem Schwingungssensor (**6**) verbunden ist, welcher derart an dem Regalbediengerät angebracht ist, dass Eigenbewegungen des Regalbediengerätes, insbesondere dessen Mastes, erfasst werden.

3. Antriebsregelung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwingungssensor (**6**) ein Beschleunigungs- und/oder Geschwindigkeitssensor ist.

4. Antriebsregelung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwingungsregelung (**5**) einen Zustandsbeobachter (**8**) aufweist, welcher antriebsnahe Messgrößen des Regalbediengerätes, insbesondere Antriebsstrom, Drehmoment (**m**) und/oder Drehzahl (**n**) des Motors, und dynamische Messgrößen, insbesondere Beschleunigung (**a**) und/oder Geschwindigkeit des Mastes des Bediengerätes, erfasst.

5. Antriebsregelung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Zustandsbeobachter (**8**) ein mathematisches Modell des Regalbediengerätes zur Ermittlung eines dynamischen Systemzustands aufweist, welcher insbesondere die Eingangsgröße für einen Zustandsregler (**9**) der Schwingungsregelung (**5**) bildet.

6. Antriebsregelung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebsregelung (**1**) einen Lageregler (**12**), einen Drehzahlregler (**11**) und/oder einen Stromregler (**10**) aufweist, wobei der Lageregler (**12**) mit einem Positionssensor (**4**) zum Erfassen der Ist-Position des Regalbediengerätes und der Drehzahlregler (**11**) mit einem Drehzahlsensor (**11**) zum Erfassen der Ist-Motordrehzahl (**n**) des Motors (**3**) des Regalbediengerätes verbunden sind, und dass der Drehzahlregler (**11**) insbesondere dem Lageregler (**12**) und der Stromregler (**10**) insbesondere dem Drehzahlregler (**11**) nachgeschaltet sind.

7. Antriebsregelung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwingungsregelung (**5**) einen für die Antriebsregelung (**1**) additiven Sollwert (**u**) als Eingangsgröße vorgibt.

8. Antriebsregelung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der additive Sollwert (**u**) ein Strom- und/oder Drehmoment-Sollwert ist.

9. Antriebsregelung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwingungsregelung (**5**) in einen Antriebsum-

richter (2) integriert ist, welcher den Motor (3) ansteuert.

10. Antriebsregelung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Antriebsumrichter (2) modular aufgebaut und/oder programmierbar ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Fig.1

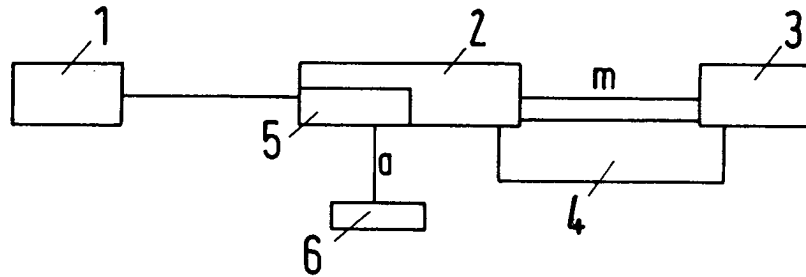


Fig.2

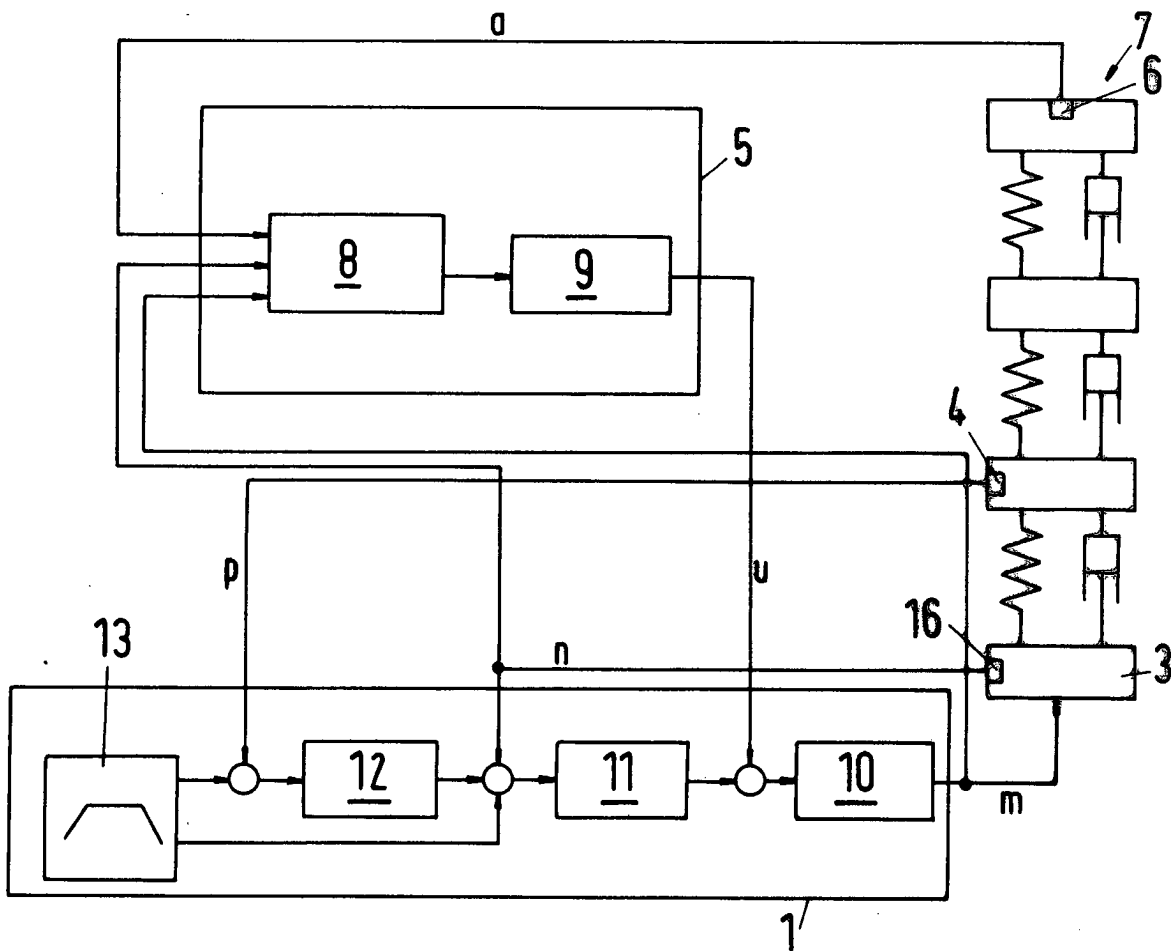


Fig. 3

