



(11)

EP 3 399 105 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
22.05.2019 Patentblatt 2019/21

(51) Int Cl.:
E02D 3/074^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18170921.3**

(22) Anmeldetag: **04.05.2018**

(54) **BODENVERDICHTUNGSGERÄT**

SOIL COMPACTION DEVICE

APPAREIL DE COMPACTAGE DU SOL

(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: **05.05.2017 DE 102017109686**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.11.2018 Patentblatt 2018/45

(73) Patentinhaber: **Ammann Schweiz AG
4901 Langenthal (CH)**

(72) Erfinder:
• **Malaschewski, Armin
56581 Ehlscheid (DE)**
• **Pinkert, Mirco
53783 Eitorf (DE)**

(74) Vertreter: **Schatz, Markus Franz-Josef
Kardinal-von-Galen-Straße 8
46514 Schermbeck (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A1-02/35005 DE-A1-102005 029 433
DE-U1-202010 017 338 GB-A- 805 643**

EP 3 399 105 B1

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Bodenverdichtungsgerät mit einem Oberwagen und einem Unterwagen mit einer Vibrationsplatte und einer Mehrzahl von Erregereinheiten, wobei zumindest ein Teil der Erregereinheiten von einem Antrieb jeweils individuell antreibbar ist.

Stand der Technik

[0002] Üblicherweise weisen Bodenverdichtungsgeräte mit einer Vibrationsplatte, wie beispielsweise eine Rüttelplatte, einen Verbrennungsmotor zum Antrieb von zwei gleichartigen, parallelen, über ein Getriebe starr gekoppelten und gegenläufigen Unwuchtwellen auf. Die gegensätzliche Rotation der mit gleicher Umdrehungszahl betriebenen Unwuchtwellen bewirkt, dass sich die durch die Unwuchten erzeugten Fliehkräfte in Abhängigkeit vom Phasenwinkel gegenseitig verstärken oder kompensieren. Durch eine geeignete Einstellung der jeweiligen Phasenlage der Unwuchten zueinander entsteht ein resultierender Kraftvektor, der zur Fortbewegung und/oder Verdichtung eingesetzt werden kann. Dabei weist eine Rüttelplatte zumeist eine Hydraulik zur Verstellung der Phasenlage der mechanisch miteinander gekoppelten Wellen auf. Häufig erfolgt dies mit Hilfe einer axial verschiebbaren Spiralwelle.

[0003] Da der durch Überlagerung entstehende Kraftvektor stets senkrecht zur Rotationsachse der Unwuchtwellen orientiert ist, ist die Antriebsrichtung ohne weitere Maßnahmen auf eine Vor- und Rückwärtsfahrt beschränkt.

[0004] Zur Verbesserung der Lenkeigenschaften ist aus der DE 10 2006 000786A1 ein Plattenverdichter bekannt, der eine Vielzahl von Erregereinheiten zur Ausbildung eines Kraftvektors aufweist, wobei die einzelnen Erregereinheiten beispielsweise nach zuvor beschriebenen Prinzip arbeiten. Die Vielzahl der Erregereinheiten erlaubt dabei unter anderem auch die Ausbildung von Kraftvektoren, die in seitlicher Richtung wirken. Dabei erhöht jedoch die Vielzahl der Erregereinheiten die mechanische Komplexität erheblich.

[0005] Ferner beschreibt die DE 10 2005 029433 A1 einen Betrieb einer Vibrationsplatte mit einer Vielzahl von Einzelerregern. Diese sind individuell ansteuerbar und werden von auf der Vibrationsplatte befindlichen Hydraulikmotoren betrieben. Dabei sind allerdings die auf der Vibrationsplatte angeordneten Hydraulikmotoren aufwendig und zudem sehr hohen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Angabe einer kostengünstigen und zugleich zuverlässigen Lösung für ein komfortables Bodenverdichtungsgerät mit einer fein abstimmbaren und präzisen Lenkung, die eine bequeme Steuerung des Bodenverdichtungsgerätes in

jede Richtung der Plattenebene erlaubt.

[0007] Die Lösung der Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0008] Erfindungsgemäß vorgesehen ist ein Bodenverdichtungsgerät mit einem Oberwagen und einem Unterwagen, wobei der Unterwagen eine Vibrationsplatte und eine Mehrzahl von Erregereinheiten aufweist, wobei zumindest ein Teil der Erregereinheiten von jeweils einem Antrieb jeweils individuell antreibbar ist und jeweils zumindest einen Vibrationserreger aufweist, welcher mit einer Messeinrichtung zur Erfassung seiner Phasenlage verbunden ist, wobei die Phasenlage einer Steuer-/Regeleinrichtung zuführbar ist,

und wobei einzelne Vibrationserreger jeweils über ein elastisches Element, einen jeweiligen elektrisch steuerbaren Antrieb und die Steuer-/Regeleinrichtung miteinander gekoppelt sind und die relative Phasenlage der einzelnen Vibrationserreger zueinander über die Steuer-/Regeleinrichtung einstellbar ist.

[0009] Zumindest zwei der Erregereinheiten sind von jeweils einem Antrieb jeweils individuell antreibbar und weisen jeweils zumindest einen Vibrationserreger auf. Dabei kann eine Erregereinheit einen oder zwei gegenläufige, mit einander gekoppelte Vibrationserreger aufweisen. Ein Vibrationserreger kann beispielsweise aus einer Unwuchtwellen und einer rotierenden Unwucht oder einem Oszillator mit einer oszillierenden Masse bestehen. Vorteilhaft weist eine Erregereinheit genau einen Vibrationserreger mit einer Unwuchtwellen und einer rotierenden Unwucht auf.

[0010] Weiterhin kann die Steuer-/Regeleinheit vorteilhaft aus einer übergeordneten Steuereinrichtung und mehreren von der Steuereinrichtung gesteuerten Regeleinrichtungen bestehen, wobei jeweils ein mit einer Messeinrichtung verbundener Vibrationserreger jeweils eine Regeleinrichtung aufweist und die von den jeweiligen Messeinrichtungen erfassbaren Phasenlagen den jeweiligen Regeleinrichtungen zuführbar sind. Bei dieser Ausgestaltung weist jeder Vibrationserreger einen eigenen Regelkreis zur Regelung seiner Phasenlage auf, welche der jeweiligen Regeleinrichtung als Führungsgröße vorgebar ist. Die Phasenlage von zumindest zwei Vibrationserregern zueinander ist elektrisch veränderbar. Die Veränderung der Phasenlage zumindest eines einzelnen Vibrationserregers ist relativ zu der Phasenlage eines anderen oder weiterer Vibrationserreger durch die Änderung seiner Soll-Phasenlage als Führungsgröße änderbar. Die Soll-Phasenlage ist von der Steuerungseinrichtung, beispielsweise als Ergebnis der Umsetzung eines der Steuereinrichtung zugeführten Lenkbefehls vorgebar.

Die Vibrationserreger sind jeweils über ein elastisches Element mit dem jeweiligen elektrischen Antrieb verbunden. Eine Abweichung einer Ist-Phasenlage von einer Soll-Phasenlage aufgrund der elastischen Verbindung ist durch die Regeleinrichtung kompensierbar. Eine

Kopplung der Phasenlage zwischen zwei Vibrationserregern ist über zumindest ein elastisches Element gegeben und die Phasenlage zumindest eines der über ein elastisches Element gekoppelten Vibrationserreger ist über eine Regeleinrichtung regelbar. Eine derartige Struktur ermöglicht einen einfachen und modularen Aufbau der Steuer-/Regeleinheit.

[0011] Mit anderen Worten ist beispielhaft ein Bodenverdichtungsgerät vorgesehen, dessen Vibrationsplatte eine Mehrzahl von elektrisch angetriebenen und elektrisch regelbaren Erregereinheiten aufweist. Dabei sind zum Beispiel die elektrischen Antriebe alle jeweils über ein elastisches Element mit den jeweiligen Vibrationserregern verbunden.

[0012] Eine derartige Anordnung weist mehrere Vorteile auf. Die Anordnung einer Mehrzahl von Erregereinheiten auf der Vibrationsplatte bietet die Möglichkeit, diese in verschiedenen Ausrichtungen anzuordnen und durch entsprechende Ansteuerung Kraftvektoren in jede Richtung zu generieren. Dabei können unterschiedliche Anzahlen baugleicher Erregereinheiten zum einen zur modularen Herstellung von Bodenverdichtungsgeräten unterschiedlicher Gewichtsklasse verwendet werden, und/oder zum anderen kann durch eine Verteilung ihrer Ausrichtungen auf der Vibrationsplatte, beispielsweise durch eine Verteilung der Ausrichtung entsprechend der Verteilung einer Intensität von Bewegungsrichtungen, eine Optimierung des Lenkungsvermögens erreicht werden.

[0013] Desweiteren bietet die Verwendung elektrischer Antriebe den Vorteil, dass elektrische Zuleitungen im Vergleich zu anderen Zuleitungen wie beispielsweise Hydraulikschläuchen, eine sehr gute Dauerschwingfestigkeit aufweisen und somit verschleißfester sind.

[0014] Weiterhin bietet die Verwendung eines elastischen Elements zwischen dem Antrieb, bzw. dessen Antriebswelle und der Unwuchtwelle den Vorteil, dass es dämpfend wirkt und Schwingungen der Unwuchtwelle weniger stark auf die elektrischen Antriebe einwirken.

[0015] Dabei kann der gegenüber den herkömmlichen Erregern eintretende Verlust der starren Kopplung zwischen den Unwuchtwellen durch eine schnell ansprechende, präzise elektrische Regelung zumindest teilweise kompensiert werden.

[0016] Erfindungsgemäß ist dazu die Phasenlage zumindest einer der über ein elastisches Element gekoppelten Unwuchtwellen oder Oszillatoren über eine Regeleinrichtung regelbar.

[0017] Eine Erregereinheit weist eine mit dem Vibrationserreger verbundene Messeinrichtung zur Erfassung der Phasenlage des Vibrationserregers auf. Ist dieser in Form einer Unwuchtwelle ausgebildet, ist die Phasenlage von der Messeinrichtung durch die Messung des Phasenwinkels erfassbar.

[0018] Die Messeinrichtung ist in der Lage, den Phasenwinkel der Unwucht im Bezug auf eine Nullstellung, beispielsweise der gravitationsbedingten Ruhestellung im Freilauf, zu erfassen und als Phasenlage an die Re-

geleinrichtung weiterzugeben. Die Regeleinrichtung ist eingerichtet, die Stellgrößen des Antriebs zur Erreichung einer Soll-Phasenlage einzustellen. Damit ist sie in der Lage, die Phasenlage zwischen zwei Unwuchtwellen oder Oszillatoren zu verändern, bzw. eine vorgebbare Phasenlage einzustellen. Vorteilhaft ist zumindest einem Teil der Erregereinheiten jeweils individuell eine Regeleinrichtung zugeordnet. Durch eine übergeordnete Steuereinrichtung können den individuell zugeordneten Regeleinrichtungen ihre jeweilige Soll-Phasenlage als Führungsgröße vorgegeben werden

[0019] Der Antrieb ist elektrisch ausgeführt. Ebenso weist die Messeinrichtung vorteilhaft einen Encoder zur digitalen Verarbeitung der Messwerte auf. Vorteilhaft stellt die Messeinrichtung der Regeleinrichtung neben der Phasenlage auch die Winkelgeschwindigkeit einer Welle zur Verfügung.

[0020] Die erfindungsgemäß vorgesehene Dämpfung der elektrischen Antriebe gegenüber der Unwuchtwelle reduziert die Anforderungen an die Belastbarkeit der elektrischen Antriebe, insbesondere ihre Vibrationsfestigkeit, und erlaubt die Verwendung vergleichsweise einfacher und preisgünstiger Komponenten.

[0021] Vorteilhaft sind die elektrischen Antriebe in dem Oberwagen angeordnet, die Vibrationserreger im Unterwagen angeordnet, und die elektrischen Antriebe im Oberwagen jeweils individuell mittels je einem elastischen Element, vorteilhaft einem Riemen, mit jeweils einem Vibrationserreger im Unterwagen verbunden. Auf diese Weise kann die Beanspruchung der elektrischen Antriebe um etwa eine Zehnerpotenz reduziert und die Lebensdauer der elektrischen Antriebe entsprechend verlängert werden.

[0022] Vorteilhaft weisen die Erregereinheiten genau einen Vibrationserreger mit einer einzelnen Unwuchtwelle auf. Eine derartige Ausgestaltung ist wartungsarm und kostengünstig zu realisieren.

[0023] Vorteilhaft ist zumindest für einen Teil der Erregereinheiten der elektrische Antrieb als im Wesentlichen einzelner Elektromotor ausgeführt. Elektromotoren sind einfach und kostengünstig herstellbar, eine Verwendung einer Mehrzahl der gleichen Elektromotoren für die Mehrzahl der Erregereinheiten fördert durch die Verwendung gleichartiger Bauteile die Rationalisierung der Herstellung. Alternativ kann ein einzelner elektrischer Antrieb auch als elektrische Kupplung ausgebildet sein, welche ausgebildet ist, eine Antriebsenergie eines übergeordneten Antriebs partiell abzuzweigen und hinsichtlich Phasenlage und Winkelgeschwindigkeit zu individualisieren.

[0024] Vorteilhaft ist der elektrische Antrieb als Schrittmotor ausgeführt. Ein Schrittmotor bietet den Vorteil, dass die Winkelstellung und somit die Phasenlage der Antriebswelle einstellbar ist und somit als bekannt angenommen werden kann. Bei einer Anordnung, bei welcher die Messeinrichtung zur Erfassung der Phasenlage, in der Wirkrichtung des Antriebs gesehen, vor dem elastischen Element direkt auf der Antriebswelle angeordnet

ist, kann ein Schrittmotor die Funktion der Messeinrichtung übernehmen. Die Ausführung einer Messeinrichtung als eigenständiges Bauteil kann in diesem Fall entfallen, die Messeinrichtung kann in diesem Fall als in den Schrittmotor integriert betrachtet werden. Desweiteren ist ein Schrittmotor vibrationsfest ausführbar.

[0025] Weiterhin vorteilhaft ist eine Regeleinrichtung als PI- oder als PID-Regler ausgebildet. Die Verbindung der Unwuchtwelle mit dem elektrischen Antrieb über ein elastisches Element führt bei einer Änderung der Winkelgeschwindigkeit zu einer Energieaufnahme des elastischen Elements, welches diese Energie zeitverzögert an die Anordnung zurückgibt. In Kenntnis der Sprungantwort der Regelstrecke, bestehend aus elektrischem Antrieb, Antriebswelle, elastischem Element und Unwuchtwelle inklusive der Unwucht, ist es möglich, den elektrischen Antrieb durch eine Regeleinrichtung derart anzusteuern, dass ein Überspringen der Unwuchtwelle reduziert oder vermieden wird. Vorteilhaft ist eine Regeleinrichtung ausgebildet, ein Einschwingen einer Erregereinheit nach einer Phasen- oder Frequenzänderung zu minimieren.

[0026] Die Messeinrichtung zur Erfassung der Phasenlage kann vor dem elastischen Element auf der Antriebswelle, oder hinter dem elastischen Element auf der Unwuchtwelle angeordnet sein. Eine Anordnung der Messeinrichtung auf der Unwuchtwelle eines Vibrationserregers im Unterwagen des Bodenverdichtungsgeräts bietet den Vorteil, dass einer Regeleinrichtung die tatsächliche Phasenlage und Winkelgeschwindigkeit der Unwuchtwelle zugeführt werden können.

[0027] Bei einer Anordnung der Messeinrichtung auf der Antriebswelle ist die Messeinrichtung nur indirekt über das elastische Element mit der Unwuchtwelle verbunden, so dass auf Grund einer Federwirkung des elastischen Elements die ermittelte Phasenlage und Winkelgeschwindigkeit geringfügig von der tatsächlichen Phasenlage und Winkelgeschwindigkeit der Unwuchtwelle abweichen kann.

In Kenntnis der Sprungantwort der Regelstrecke und der Federkonstante des elastischen Elements sowie der Masse der Unwuchtwelle kann die Abweichung zwischen der gemessenen und der tatsächlichen Phasenlage durch die Regeleinrichtung abgeschätzt werden.

[0028] Die Drehrichtungen, Winkelgeschwindigkeiten und Phasenlagen der Vibrationserreger bilden in ihrer Überlagerung ein translatorisches und/oder rotatorisches Moment gegenüber einer Standfläche des Bodenverdichtungsgeräts. Dieses translatorische und/oder rotatorische Moment ist zur Fortbewegung und Lenkung nutzbar.

[0029] Vorteilhaft sind die Vibrationserreger winkelig, insbesondere sternförmig auf der Vibrationsplatte angeordnet. Eine symmetrische Anordnung unter gleichen Winkeln erlaubt für eine Steuereinrichtung, die beispielsweise einen Lenkbefehl in jeweilige Soll-Phasenlagen als Führungsgrößen für die jeweiligen Vibrationserreger umsetzt, eine einfache Berechnung der erforderlichen

Stellwerte, um ein gewünschtes translatorisches und/oder rotatorisches Moment zu erzeugen. Dabei kann die Eingabe eines Lenkbefehls beispielsweise mittels eines in zwei Achsen beweglichen Control-Sticks als Teil einer Handsteuerung erfolgen. Weiterhin kann es sich bei der Handsteuerung um einen integrierten Bestandteil des Bodenverdichtungsgeräts oder um eine Fernsteuerung handeln.

[0030] Vorteilhaft ist eine Regeleinrichtung als digitaler Regler ausgebildet. Digitale Regler sind hinreichend schnell realisierbar und bieten große Flexibilität hinsichtlich ihrer Reglereigenschaften. Vorteilhaft weist eine Regeleinrichtung einen digitalen Regler auf, der für die Erzeugung der Stellgrößen für den elektrischen Antrieb einen Vorverzerrer aufweist, welcher eine derartige zeitliche Vorverzerrung der Stellgrößen bewirkt, dass ein Einschwingen in Folge einer Phasen- oder Frequenzänderung vermieden oder vermindert wird. Vorteilhaft ist die Regeleinrichtung zur Kompensation von Schwingungen eingerichtet, welche durch das elastische Element ermöglicht oder begünstigt werden.

[0031] Vorteilhaft erfolgt die Vorverzerrung der Stellgrößen oder ein Einstellen der Parameter eines PI- oder PID-Reglers auf Basis der Sprungantwort der Regelstrecke. In Kenntnis der Parameter der Sprungantwort, beispielsweise deren Wendepunkt, sind die Parameter eines PI- oder PID-Reglers nach in der Literatur bekannten Einstellregeln, z.B. nach Ziegler/Nichols, dimensionierbar.

[0032] Vorteilhaft weist das Bodenverdichtungsgerät einen Kalibriermodus zum Ermitteln der Sprungantwort auf, in welchem die Sprungantwort der Regelstrecke, beispielsweise nach einem Riemenwechsel, ermittelbar ist. In einem derartigen Modus kann der Regelkreis geöffnet und die Reaktion des Vibrationserregers in Antwort auf eine Lenkbewegung respektive einer Änderung der Phasenlage des Vibrationserregers ermittelt und gespeichert werden.

[0033] Weiterhin vorteilhaft ist eine Regeleinrichtung ausgebildet, die Messwerte mehrerer Messeinrichtungen gemeinsam auszuwerten und die Stellgrößen für die elektrischen Antriebe von mehreren Vibrationserregern derart zu optimieren, dass ein unerwünschtes Schwingen des Bodenverdichtungsgeräts vermieden oder vermindert wird.

[0034] Die verschiedenen Erregereinheiten sind über die Vibrationsplatte miteinander gekoppelt, so dass sie sich gegenseitig zur Schwingung anregen, es treten Energieausgleichsvorgänge auf. Aufgrund dieser Kopplung sind auch die einzelnen Regelkreise zur Einstellung der Phasenlage nicht vollständig entkoppelt.

[0035] Vorteilhaft weist das Bodenverdichtungsgerät eine Regeleinrichtung auf, die ausgebildet ist, die Phasenlagen mehrerer Messeinrichtungen gemeinsam auszuwerten und die Stellgrößen für mehrere Vibrationserreger derart zu optimieren, dass eine vom Benutzer gewünschte translatorische oder rotatorische Bewegung derart auf Phasenänderungen der Vibrationserreger um-

gesetzt werden, dass die Höhe der Phasensprünge minimiert wird. Dabei könnte die Optimierung beispielsweise entsprechend der Methode der minimalen Fehlerquadrate derart erfolgen, dass unter Beibehaltung des resultierenden Bewegungsvektors nicht die Regeldifferenz einzelner Regelkreise, sondern der Betrag des Regeldifferenzvektors minimiert wird. Eine derartige Optimierung ist insbesondere dann möglich, wenn eine Vielzahl von Vibrationserregern verfügbar ist und zur Ausbildung eines bestimmten gemeinsamen Kraftvektors verschiedene Auswahlen von dazu beitragenden Vibrationserregern möglich sind.

Zeichnungen

[0036] Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die anliegenden, schematischen Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen näher erläutert.

[0037] Es zeigen

- Fig. 1 eine Skizze zum Prinzip des Bodenverdichtungsgeräts;
- Fig. 2 eine bevorzugte Anordnung von Erregereinheiten auf einer Vibrationsplatte bei einer Anordnung der Messeinrichtung auf der Unwuchtwelle;
- Fig. 3 die bevorzugte Anordnung von Erregereinheiten bei einer Anordnung der Messeinrichtung auf der Antriebswelle;
- Fig. 4 ein Prinzipschaltbild zur Regelung einer Erregereinheit bei einer Anordnung der Messeinrichtung auf der Antriebswelle;
- Fig. 5 ein Prinzipschaltbild zur Regelung einer Erregereinheit bei einer Anordnung der Messeinrichtung auf der Unwuchtwelle;
- Fig. 6 ein Prinzipschaltbild zur Kopplung zwei einzelner Vibrationserreger über jeweils ein elastisches Element, einen jeweiligen elektrisch steuerbaren Antrieb und eine elektronische Steuereinrichtung;
- Fig. 7 ein Prinzipschaltbild zur gemeinsamen Regelung der Erregereinheiten.

[0038] Fig. 1 zeigt eine Skizze zum Prinzip eines Bodenverdichtungsgeräts 1 mit einem Oberwagen 2 und einem Unterwagen 3, wobei der Unterwagen 3 eine Vibrationsplatte 4 und eine Mehrzahl von Erregereinheiten 5 aufweist. Die Erregereinheiten 5 weisen jeweils einen im Unterwagen 3 auf der Vibrationsplatte 4 angeordneten Vibrationserreger in Form einer Unwuchtwelle 7 auf und sind über ein elastisches Element 9 in Form eines Rie-

mens mit einem im Oberwagen 2 angeordneten Antrieb 6 verbunden.

[0039] Fig. 2 zeigt eine bevorzugte Anordnung von Erregereinheiten 5 auf einer Vibrationsplatte 4 bei einer Anordnung der Messeinrichtungen 8 auf der Unwuchtwelle 7. Die Erregereinheiten 5 sind sternförmig und achsensymmetrisch zu einander angeordnet. Die Drehachsen ihrer Unwuchtwellen 7 liegen bei diagonal angeordneten Erregereinheiten 5 auf einer Geraden. Die fiktiv verlängerten Drehachsen aller Unwuchtwellen 7 schneiden sich in einem Punkt, welcher in etwa mittig auf der Vibrationsplatte 4 gelegen ist.

[0040] Weiterhin zeigt Fig. 2 den prinzipiellen Aufbau einer Erregereinheit 5. Die Erregereinheiten 5 sind von einem elektrischen Antrieb 6 jeweils individuell antreibbar und weisen jeweils einen Vibrationserreger mit einer Unwuchtwelle 7 und einer rotierende Unwucht 10 sowie eine mit dem Vibrationserreger verbundene Messeinrichtung 8 zur Erfassung der Phasenlage der Unwuchtwelle 7 auf. Dabei wird die Phasenlage des Vibrationserregers gleichgesetzt mit der Phasenlage seiner Unwuchtwelle 7. Die Messeinrichtung 8 ist in der Richtung der Wirkung des Antriebs, das heißt in Richtung der Unwuchtwelle 7 hinter dem elastischen Element 9 angeordnet. Der elektrische Antrieb 6 ist bevorzugt im Oberwagen 2 angeordnet, er kann jedoch auch im Unterwagen 3 zusammen mit dem Vibrationserreger auf der Vibrationsplatte 4 angeordnet sein.

[0041] Fig. 3 zeigt dieselbe bevorzugte Anordnung von Erregereinheiten 5 auf einer Vibrationsplatte 4 bei einer Anordnung der Messeinrichtungen 8 auf der Antriebswelle des elektrischen Antriebs 6. Im einzigen Unterschied zur Fig. 2 ist die Messeinrichtung 8 in der Richtung der Wirkung des Antriebs, das heißt in Richtung der Unwuchtwelle 7, vor dem elastischen Element 9 angeordnet.

[0042] Fig. 4 zeigt ein Prinzipschaltbild zur Regelung einer Erregereinheit 5 bei einer Anordnung der Messeinrichtung 8 auf der Antriebswelle. Bei der dargestellten Ausführungsvariante ist die Messeinrichtung 8 im Oberwagen 2 angeordnet und zur direkten Erfassung der Phasenlage des elektrischen Antriebs 6 eingerichtet. Die Unwuchtwelle 7 kann eine von dieser Phasenlage leicht abweichende Phasenlage aufweisen, deren Unterschied zur erfassten Phasenlage nicht konstant ist, sondern welche in Abhängigkeit von Änderungen der Drehzahl des Antriebs 6 oder durch die Übertragung von Schwingungen auf die Unwuchtwelle 7 zeitlich variieren kann. In Kenntnis der Masseverhältnisse, der Federkonstante des elastischen Elements 9 sowie des zeitlichen Verlaufs von Phasenlage und Drehzahl kann die Regeleinrichtung 12 die Abweichung der Phasenlage der Unwuchtwelle 7 von der Phasenlage der Antriebswelle abschätzen.

[0043] Die von der Messeinrichtung 8 erfassbare Phasenlage der Antriebswelle ist als Ist-Phasenlage und Rückführungsgröße eines Regelkreises der Regeleinrichtung 12 zuführbar. Unter Bestimmung der Abweichung zu einer von einer übergeordneten Steuereinrich-

tung 11 vorgegeben Soll-Phasenlage als Führungsgröße ist durch die Regeleinrichtung 12 eine Stellgröße bestimmbar und einer Motorsteuerung 13 zuführbar. In Abhängigkeit von der Ausgestaltung des elektrischen Antriebs 6, beispielsweise als Asynchron- oder als Schrittmotor, setzt die Motorsteuerung 13 die Stellgröße in entsprechende Steuerspannungen oder -signale zur Phasen- oder Drehzahländerung des elektrischen Antriebs 6 um.

[0044] Fig. 5 zeigt ein Prinzipschaltbild zur Regelung einer Erregereinheit 5 bei einer Anordnung der Messeinrichtung 8 auf der Unwuchtwelle 7. Bei der dargestellten Ausführungsvariante ist die Messeinrichtung 8 im Unterwagen 3 angeordnet und zur direkten Erfassung der Phasenlage der Unwuchtwelle 7 eingerichtet. Damit ist im Unterschied zu Fig. 4 die tatsächliche Ist-Phasenlage der Unwuchtwelle 7 direkt mit der Soll-Phasenlage vergleichbar. Gleichzeitig ist das elastische Element 9 mit seinem Zeitverhalten $\Delta\varphi(t)$ Teil der Regelstrecke. Ist die Regeleinrichtung 12 eingerichtet, eine Stellgrößenänderung unter Berücksichtigung einer bekannten Sprungantwort der Regelstrecke zu generieren, und ist der elektrische Antrieb 6 genügend schnell, um auf eine Stellgrößenänderung entsprechend schnell anzusprechen, ist eine präzise Regelung der Phasenlage der Unwuchtwelle 7 unter Kompensation des Zeitverhaltens $\Delta\varphi(t)$ des elastischen Elements 9 möglich.

[0045] Fig. 6 zeigt ein Prinzipschaltbild zur Kopplung zwei einzelner Vibrationserreger über jeweils ein elastisches Element 9, 9', einen jeweiligen elektrisch steuerbaren Antrieb 6, 6', eine jeweilige Regeleinrichtung 12, 12' und eine übergeordnete Steuereinrichtung 11; Durch die übergeordnete Steuereinrichtung 11 können den Vibrationserregern der Erregereinheiten 5, 5' mit individuell zugeordneten Regeleinrichtungen 12, 12' ihre jeweilige Soll-Phasenlage als Führungsgröße vorgegeben werden, so dass zwischen den Unwuchtwellen 7, 7' der Vibrationserreger eine relative Phasenlage $\Delta\varphi$ einstellbar ist.

[0046] Fig. 7 zeigt ein Prinzipschaltbild zur gemeinsamen Regelung von beispielhaft vier Erregereinheiten 5 über eine Steuer-/Regeleinrichtung 14. Wie aus Fig. 6 ersichtlich werden die Phasenlagen mehrerer Messeinrichtungen 8 gemeinsam als Ist-Größenvektor einer Steuer-/Regeleinrichtung 14 zugeführt. Auf Grund der mechanischen Verbindung über die gemeinsame Vibrationsplatte 4 sind die Vibrationserreger 5 untereinander parasitär gekoppelt, wobei der Grad der Kopplung zusätzlich von der Ausrichtung der schwingungserzeugenden Elemente der Vibrationserreger 5 abhängt.

[0047] Die Steuer-/Regeleinrichtung 14 berechnet unter Berücksichtigung der Koppelungen der Regelkreise einen Stellgrößenvektor, dessen Koeffizienten den einzelnen Motorsteuerungen 13 zugeführt werden.

[0048] Dabei kann die Berechnung des Stellgrößenvektors für die mehreren Regelkreise derart optimiert werden, dass hohe Phasensprünge für einzelne Regelkreise vermieden werden, bzw. dass unter Beibehaltung

des resultierenden Bewegungsvektors eine Minimierung des Betrags des Regeldifferenzvektors erfolgt.

5 Patentansprüche

1. Bodenverdichtungsgerät (1) mit einem Oberwagen (2) und einem Unterwagen (3), wobei der Unterwagen (2) eine Vibrationsplatte (4) und eine Mehrzahl von Erregereinheiten (5) aufweist, wobei zumindest ein Teil der Erregereinheiten (5) von jeweils einem Antrieb (6) jeweils individuell antreibbar ist und jeweils zumindest einen Vibrationserreger aufweist, welcher mit einer Messeinrichtung (8) zur Erfassung seiner Phasenlage verbunden ist, wobei die Phasenlage einer Steuer-/Regeleinrichtung (14) zuführbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

einzelne Vibrationserreger jeweils über ein elastisches Element (9), einen jeweiligen elektrisch steuerbaren Antrieb (6) und die Steuer-/Regeleinrichtung (14) miteinander gekoppelt sind und die relative Phasenlage der einzelnen Vibrationserreger zueinander über die Steuer-/Regeleinrichtung (14) einstellbar und regelbar ist.

2. Bodenverdichtungsgerät (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer-/Regeleinrichtung (14) eine übergeordnete Steuereinrichtung (11) und mehrere von der Steuereinrichtung (11) gesteuerte Regeleinrichtungen (12) umfasst, wobei jeweils ein mit einer Messeinrichtung (8) verbundener Vibrationserreger jeweils eine Regeleinrichtung (11) zugeordnet ist und die von den jeweiligen Messeinrichtungen (8) erfassbaren Phasenlagen den jeweiligen Regeleinrichtungen (11) zuführbar sind.

3. Bodenverdichtungsgerät (1) nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Teil der Erregereinheiten (5) von einem elektrischen Antrieb (6) jeweils individuell elektrisch antreibbar ist und die Steuer-/Regeleinrichtung (14) oder eine Regeleinrichtung (12) ausgebildet ist, ein Einschwingen einer Erregereinheit (5) nach einer Phasen- oder Frequenzänderung zu minimieren.

4. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Unterwagen (3) elastisch mit dem Oberwagen (2) verbunden ist, der Oberwagen (2) mehrere elektrische Antriebe (6) aufweist und die Vibrationserreger im Unterwagen (3) jeweils individuell über ein elastisches Element (9) mit einem der elektrischen Antriebe (6) verbunden sind.

5. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

die Vibrationserreger eine einzelne Unwuchtwelle (7) aufweisen.

6. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest bei einem Teil der Erregereinheiten (5) der elektrische Antrieb (6) jeweils im Wesentlichen durch einen Elektromotor, insbesondere einen Schrittmotor, ausgebildet ist, das elastische Element (9) jeweils als Riemen ausgeführt ist, der Vibrationserreger jeweils eine Unwuchtwelle (7) aufweist und die Messeinrichtung (8) jeweils im Unterwagen (3) angeordnet ist. 5
7. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vibrationserreger winkelig, insbesondere sternförmig, auf der Vibrationsplatte (4) angeordnet sind und über eine Steuereinrichtung (11) die Drehrichtungen, Frequenzen und Phasenlagen der Vibrationserreger derart einstellbar sind, dass in ihrer Überlagerung gegenüber einer Standfläche des Bodenverdichtungsgeräts (1) ein translatorisches oder rotatorisches Moment entsteht. 10
8. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest einem Teil der Vibrationserreger individuell jeweils eine Regeleinrichtung (12) zugeordnet ist. 20
9. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer-/Regeleinrichtung (14) oder eine Regeleinrichtung (12) als PI- oder PID-Regler ausgebildet ist. 25
10. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer-/Regeleinrichtung (14) oder eine Regeleinrichtung (12) als digitaler Regler ausgebildet ist, und die Regeleinrichtung (12, 14) für die Erzeugung der Stellgrößen für den elektrischen Antrieb (6) einen Vorverzerrer aufweist, welcher eine zeitliche Vorverzerrung der Stellgrößen bewirkt, so dass ein Einschwingen in Folge einer Phasen- oder Frequenzänderung vermieden oder vermindert wird. 30
11. Bodenverdichtungsgerät (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorverzerrung auf Basis der Sprungantwort der Regelstrecke erfolgt. 35
12. Bodenverdichtungsgerät (1) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bodenverdichtungsgerät (1) einen Kalibriermodus aufweist, in welchem die Sprungantwort der Regelstrecke, insbesondere nach einem Austausch des elastischen Ele- 40

ments (9), durch das Bodenverdichtungsgerät (1) ermittelbar ist.

13. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer-/Regeleinrichtung (14) ausgebildet ist, die Messwerte mehrerer Messeinrichtungen (8) gemeinsam auszuwerten und die Stellgrößen für die elektrischen Antriebe (6) von mehreren Vibrationserregern derart zu optimieren, dass ein unerwünschtes Schwingen des Bodenverdichtungsgeräts (1) vermieden oder vermindert wird. 45
14. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das die Steuer-/Regeleinrichtung (14) ausgebildet ist, die Messwerte mehrerer Messeinrichtungen (8) gemeinsam auszuwerten und die Stellgrößen für mehrere Vibrationserreger derart zu optimieren, dass eine vom Benutzer gewünschte translatorische oder rotatorische Bewegung derart auf Phasenänderungen der Vibrationserreger umgesetzt wird, dass die Höhe der Phasensprünge minimiert wird. 50

Claims

1. A soil compaction machine (1) comprising an upper carriage (2) and an undercarriage (3), wherein the undercarriage (2) comprises a vibratory plate (4) and a plurality of excitation units (5), wherein at least some of said excitation units (5) can each be individually driven by a respective drive (6), and each has at least one vibration exciter that is connected to a measuring means (8) for detecting the phase position of said exciter, wherein the phase position is able to be conveyed to a control/regulating means (14), **characterised in that** the individual vibration exciters are each coupled together via an elastic member (9), an electrically controllable drive (6) and the control/regulating means (14), and the relative phase position of the individual vibration exciters with respect to one another is adjustable by way of the control/regulating means (14). 55
2. The soil compaction machine (1) according to claim 1, **characterised in that** the control/regulating means (14) comprises a superordinate control means (11) and a plurality of regulating means (12) controlled by said control means (11), wherein each vibration exciter that is connected to a measuring means (8) is associated with a respective regulating means (11), and the relevant phase positions detectable by the respective measuring means (8) are able to be conveyed to each of the regulating means (11).
3. The soil compaction machine (1) according to claim

- 1 or claim 2, **characterised in that** at least some of said excitation units (5) can each be individually and electrically driven by a drive (6), and the control/regulating means (14) or a regulating means (12) is designed to minimise overshoot in an excitation unit (5) following a phase or frequency change.
4. The soil compaction machine (1) according to any of the preceding claims, **characterised in that** the undercarriage (3) is elastically connected to the upper carriage (2), the upper carriage (2) comprises a plurality of electrical drives (6), and the vibration excitors on the undercarriage (3) are each connected to one of the electric drives (6) via an elastic member (9).
 5. The soil compaction machine (1) according to any of the preceding claims, **characterised in that** the vibration excitors comprise a single eccentric shaft (7).
 6. The soil compaction machine (1) according to any of the preceding claims, **characterised in that**, in at least some of the excitation units (5), the electric drive (6) is in each case essentially designed by way of an electric motor, in particular a stepper motor, the elastic member (9) is in each case designed as a belt, the vibration exciter in each case comprises an eccentric shaft (7), and the measuring means (8) is in each case arranged on the undercarriage (3).
 7. The soil compaction machine (1) according to any of the preceding claims, **characterised in that** the vibration excitors are arranged on the vibratory plate (4) at angles, in particular in the shape of a star, and that, by way of a control means (11), the directions of rotation, angular velocities, and phase positions of the vibration excitors are, by way of superposition, adjustable in a way that generates a translational and/or rotational torque with respect to a footprint of the soil compaction machine (1).
 8. The soil compaction machine (1) according to any of claims 2 to 7, **characterised in that** at least some of the vibration excitors are each associated with a regulating means (12).
 9. The soil compaction machine (1) according to any of the preceding claims, **characterised in that** the control/regulating means (14) or a regulating means (12) is designed as a PI controller or a PID controller.
 10. The soil compaction machine (1) according to any of the preceding claims, **characterised in that** the control/regulating means (14) or a regulating means (12) is designed as a digital controller, and the regulating means (12, 14) comprises a predistorter used to generate manipulated variables for the electric drive (6), said distorter causing time-related predistortion of the manipulated variables so as to prevent or minimise overshoot resulting from a phase or frequency change.
 11. The soil compaction machine (1) according to claim 10, **characterised in that** said predistortion takes place on the basis of the step response in the regulation circuit.
 12. The soil compaction machine (1) according to claim 11, **characterised in that** the soil compaction machine (1) has a calibration mode in which the step response in the regulation circuit is able to be determined by the soil compaction machine (1), in particular following replacement of the elastic member (9).
 13. The soil compaction machine (1) according to any of the preceding claims, **characterised in that** the control/regulating means (14) is designed to collectively evaluate the values measured by a plurality of measuring means (8) and to optimise the manipulated variables for the electric drives (6) of a plurality of vibration excitors in a way that prevents or minimises undesired oscillation of the soil compaction machine (1).
 14. The soil compaction machine (1) according to any of the preceding claims, **characterised in that** the control/regulating means (14) is designed to collectively evaluate the values measured by a plurality of measuring means (8) and to optimise the manipulated variables for a plurality of vibration excitors, with the result that translational or rotational motion desired by the operator is converted into phase changes of the vibration excitors in a way that minimises the intensity of phase jumps.
- ## Revendications
1. Appareil de compactage de sol (1) avec un chariot supérieur (2) et un chariot inférieur (3), le chariot inférieur (2) présentant un plateau vibrant (4) et une multitude d'unités excitatrices (5), au moins une partie de ces unités (5) pouvant être individuellement entraînée respectivement par un entraînement (6), et présentant respectivement au moins un exciteur vibrant, lequel est relié à un dispositif de mesure (8) pour la saisie de sa position de phase, la position de phase pouvant être amenée à un dispositif de commande/ régulation (14),
caractérisé par le fait que
les différents excitateurs vibrants sont respectivement couplés entre eux par un élément élastique (9), un entraînement (6) électriquement commutable et le dispositif de commande/régulation (14) et que la position de phase relative des différents excitateurs

- vibrants entre eux peut être réglée et régulée par le dispositif de commande/régulation (14).
2. Appareil de compactage de sol (1) selon la revendication 1,
caractérisé par le fait que
le dispositif de commande/régulation (14) comprend un dispositif de commande prioritaire (11) et plusieurs dispositifs de régulation (12) contrôlés par le dispositif de commande (11), respectivement un excitateur vibrant relié au dispositif de mesure (8) étant affecté à respectivement un dispositif de régulation (11) et les positions de phase pouvant être saisies par les dispositifs de mesure respectifs (8) pouvant être amenées aux dispositifs de régulation (11) respectifs.
 3. Appareil de compactage de sol (1) selon la revendication 1 ou la revendication 2,
caractérisé par le fait que
au moins une partie des unités excitatrices (5) peut être respectivement entraînée électriquement de manière individuelle par un entraînement électrique (6) et que le dispositif de commande/régulation (14) ou un dispositif de régulation (12) est formé de manière à minimiser un effet transitoire d'une unité excitatrice (5) après une modification de phase ou de fréquence.
 4. Appareil de compactage de sol (1) selon l'une des revendications ci-avant,
caractérisé par le fait que
le chariot inférieur (3) est relié de manière élastique avec le chariot supérieur (2), le chariot supérieur (2) présentant plusieurs entraînements électriques (6) et les excitateurs vibrants se trouvant dans le chariot inférieur (3) étant respectivement reliés de manière individuelle par un élément élastique (9) avec l'un des entraînements électriques (6).
 5. Appareil de compactage de sol (1) selon l'une des revendications ci-avant,
caractérisé par le fait que
les excitateurs vibrants présentent un seul arbre de balourd (7).
 6. Appareil de compactage de sol (1) selon l'une des revendications ci-avant,
caractérisé par le fait que
au moins pour une partie des unités excitatrices (5), l'entraînement électrique (6) est respectivement formé essentiellement par un moteur électrique, notamment un moteur pas à pas, l'élément élastique (9) est respectivement exécuté en tant que courroie, l'excitateur vibrant présente respectivement un arbre de balourd (7) et que le dispositif de mesure (8) se trouve respectivement dans le chariot inférieur (3).
 7. Appareil de compactage de sol (1) selon l'une des revendications ci-avant,
caractérisé par le fait que,
les excitateurs vibrants sont disposés angulairement, notamment en forme d'étoile, sur le plateau vibrant (4) et que, par l'intermédiaire d'un dispositif de commande (11), les sens de rotation, les fréquences et les positions de phase des excitateurs vibrants peuvent être réglés de manière à obtenir un moment de translation ou de rotation dans leur superposition par rapport à une surface d'appui de l'appareil de compactage de sol (1).
 8. Appareil de compactage de sol (1) selon l'une des revendications 2 à 7,
caractérisé par le fait que
un dispositif de régulation (12) est au moins respectivement affecté de manière individuelle à une partie des excitateurs vibrants.
 9. Appareil de compactage de sol (1) selon l'une des revendications ci-avant,
caractérisé par le fait que,
le dispositif de commande/régulation (14) ou un dispositif de régulation (12) est formé en tant que régulateur PI ou PID.
 10. Appareil de compactage de sol (1) selon l'une des revendications ci-avant,
caractérisé par le fait que,
le dispositif de commande/régulation (14) ou un dispositif de régulation (12) est formé en tant que régulateur numérique et que le dispositif de régulation (12, 14) présente pour la production des grandeurs pour l'entraînement électrique (6) un dispositif de prédistorsion, lequel provoque une prédistorsion des grandeurs dans le temps de manière qu'un effet transitoire soit évité ou diminué suite à une modification de phase ou de fréquence.
 11. Appareil de compactage de sol (1) selon la revendication 10,
caractérisé par le fait que
la prédistorsion a lieu sur la base de la réponse transitoire du circuit de régulation.
 12. Appareil de compactage de sol (1) selon la revendication 11,
caractérisé par le fait que
l'appareil de compactage de sol (1) présente un mode de calibrage, dans lequel la réponse transitoire du circuit de régulation, notamment après un remplacement de l'élément élastique (9), peut être déterminée par l'appareil de compactage de sol (1).
 13. Appareil de compactage de sol (1) selon l'une des revendications ci-avant,
caractérisé par le fait que

le dispositif de commande/régulation (14) est formé de manière à évaluer les valeurs mesurées de plusieurs dispositifs de mesure (8) ensemble et à optimiser les grandeurs pour les entraînements électriques (6) de plusieurs excitateurs vibrants de manière à éviter ou à diminuer une oscillation indésirable de l'appareil de compactage de sol (1). 5

14. Appareil de compactage de sol (1) selon l'une des revendications ci-avant, 10
caractérisé par le fait que

le dispositif de commande/régulation (14) est formé de manière à évaluer les valeurs mesurées de plusieurs dispositifs de mesure (8) ensemble et à optimiser les grandeurs pour plusieurs excitateurs vibrants de manière qu'un mouvement de translation ou de rotation souhaité par l'utilisateur soit converti aux modifications de phases des excitateurs vibrants de façon à minimiser la hauteur des sauts de phases. 15
20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

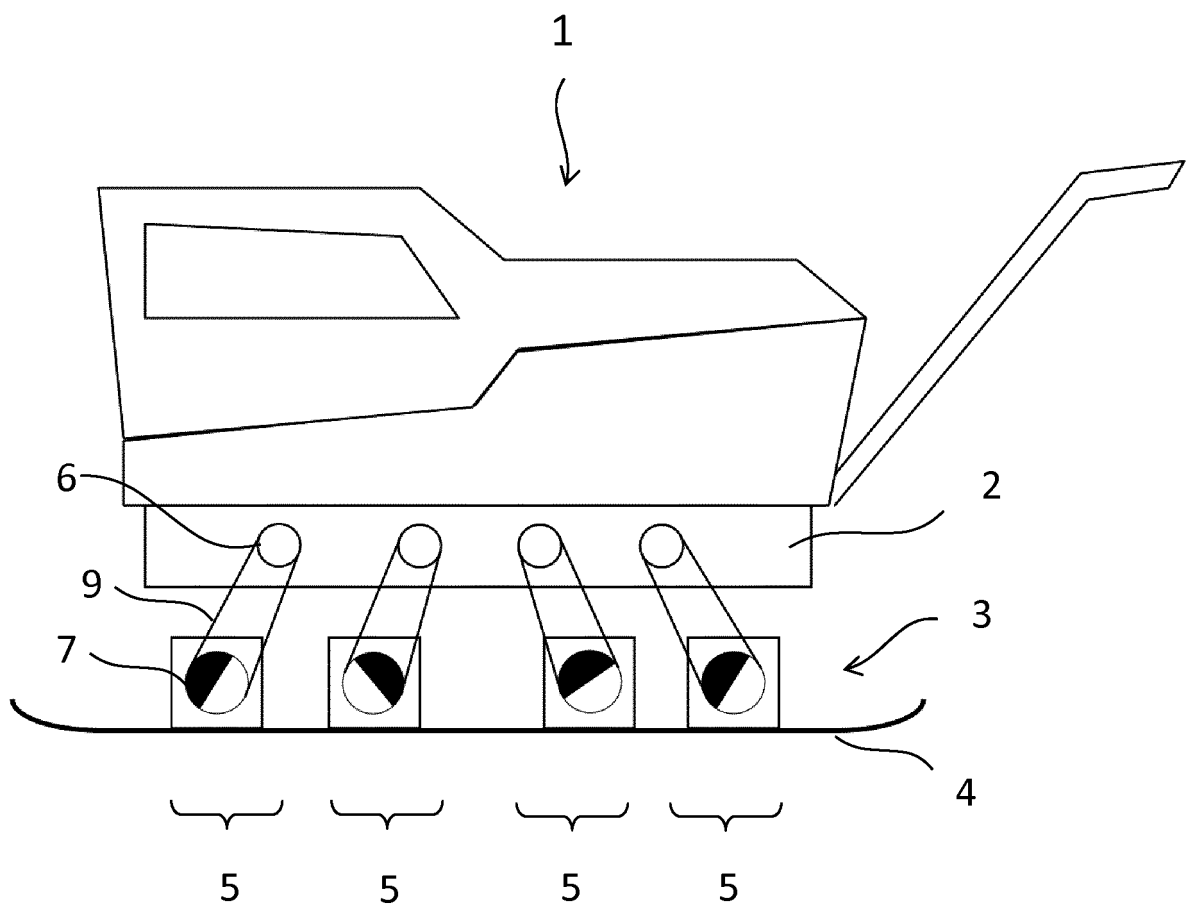


Fig. 2

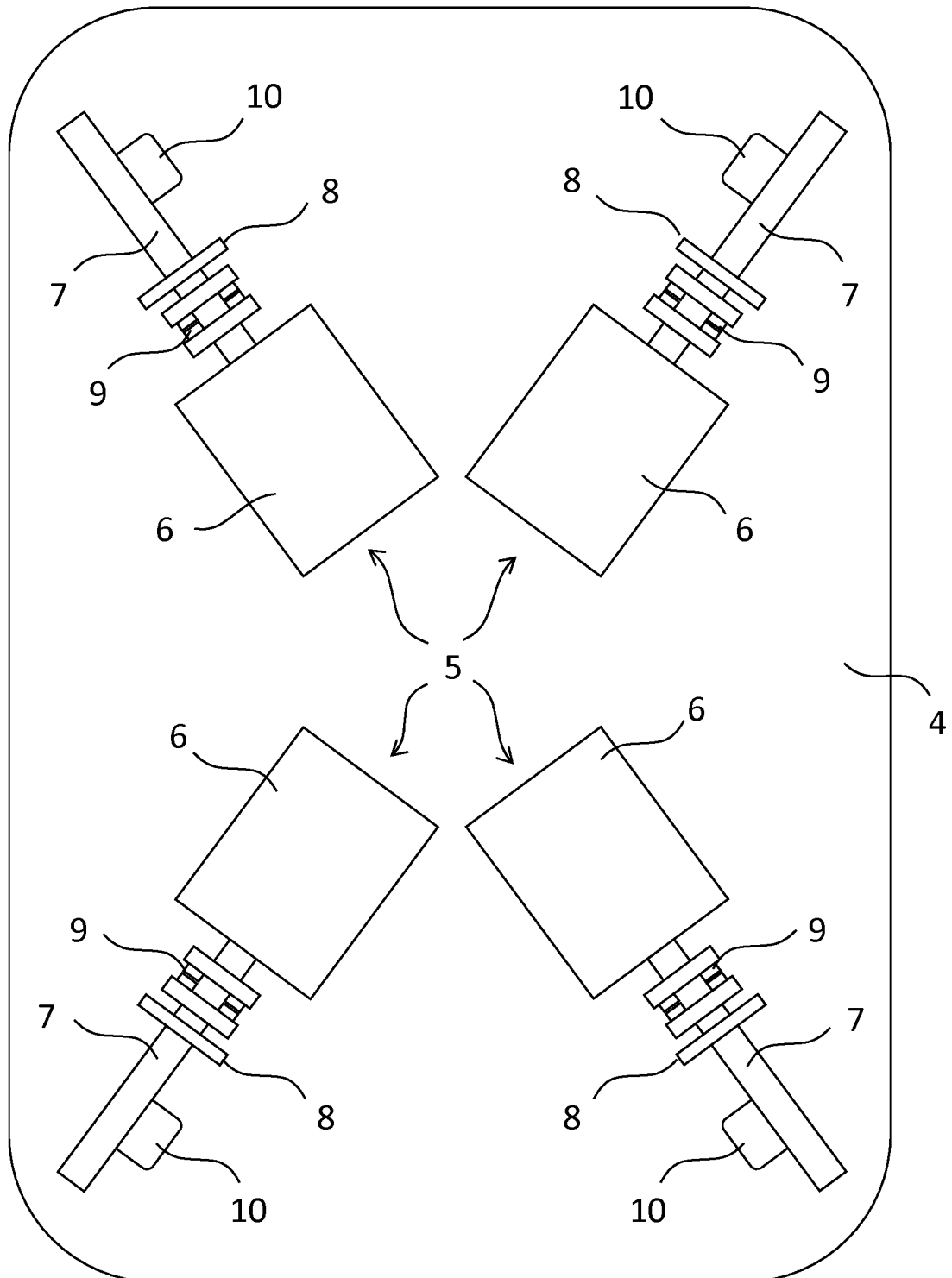


Fig. 3

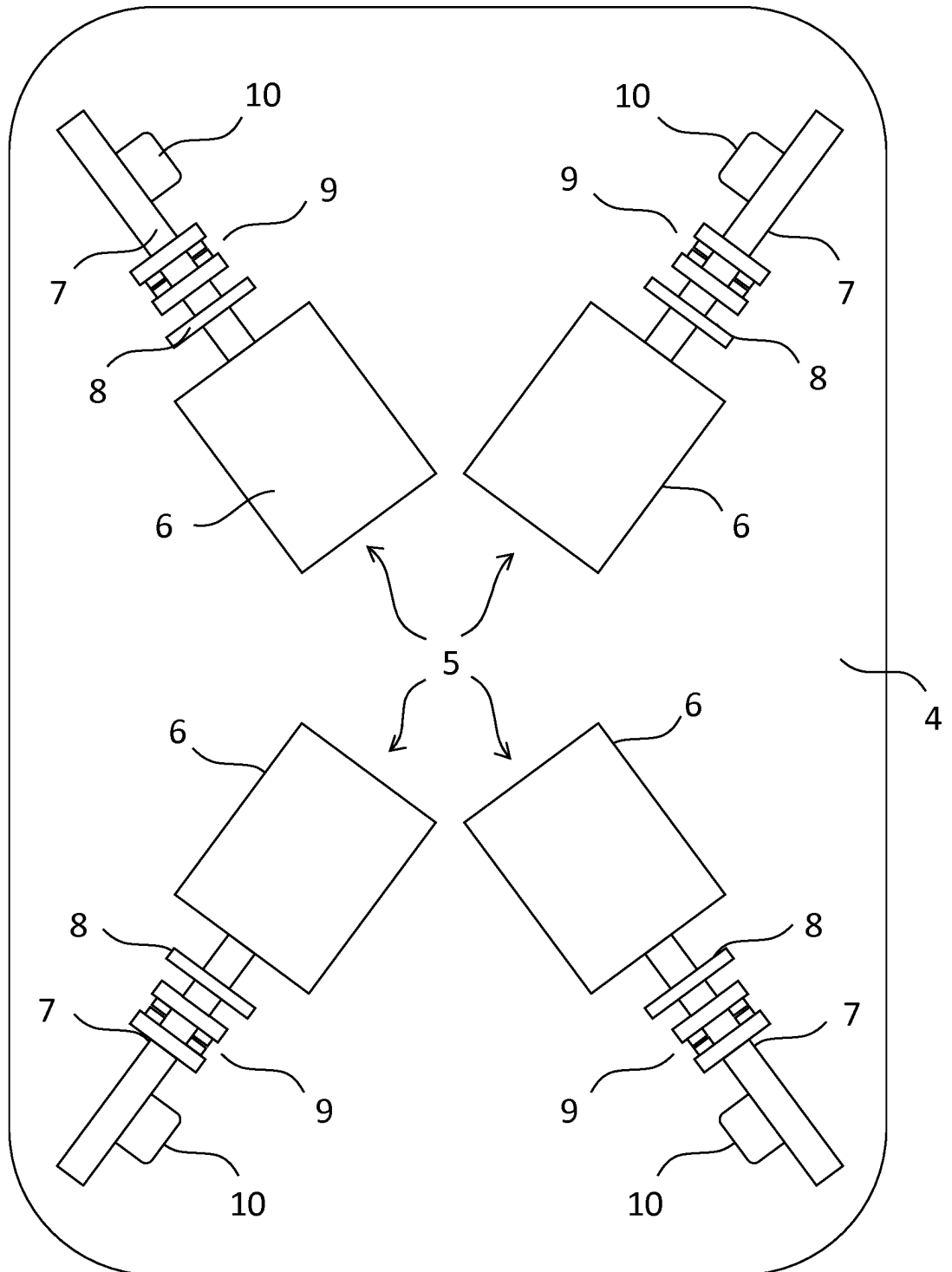


Fig. 4

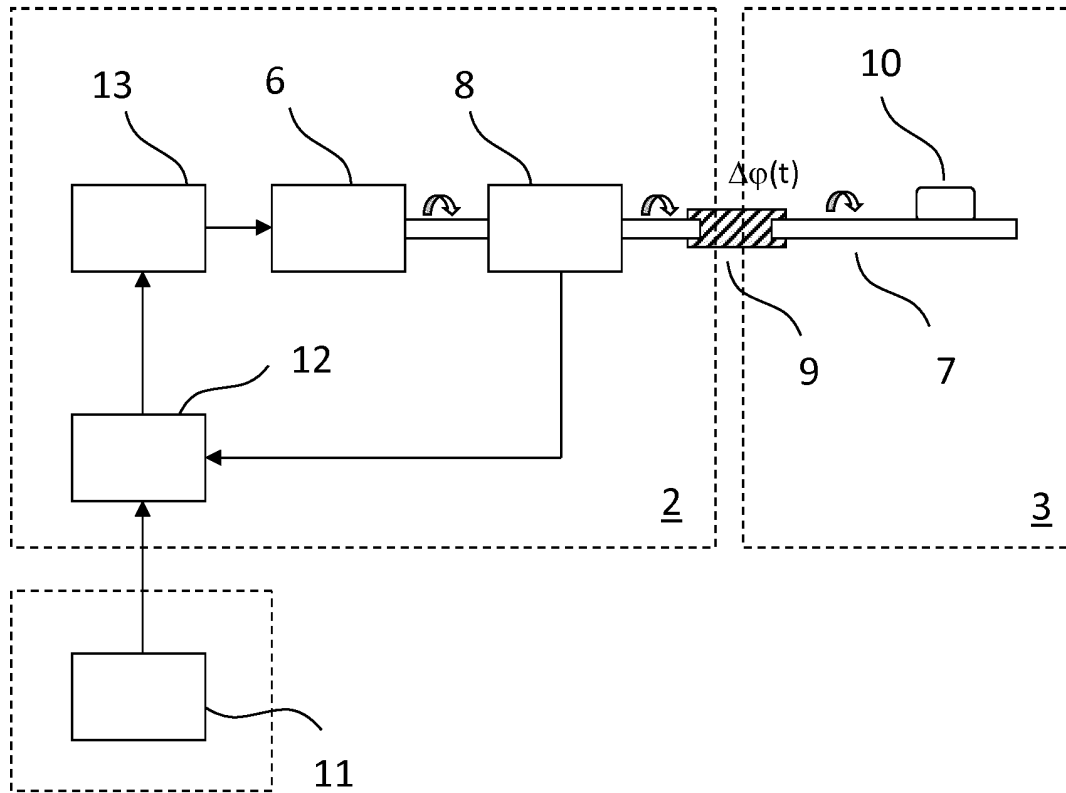


Fig. 5

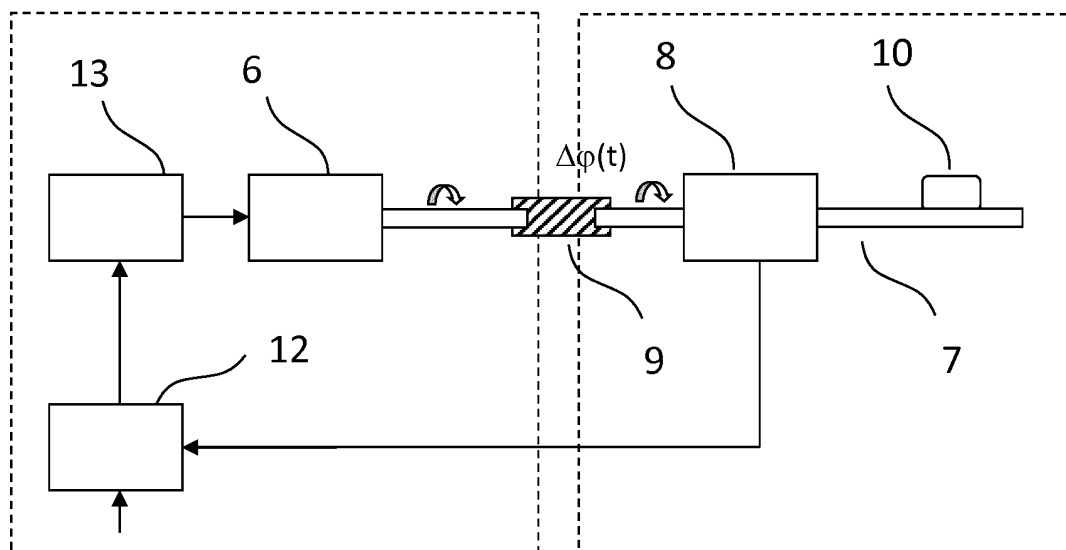


Fig. 6

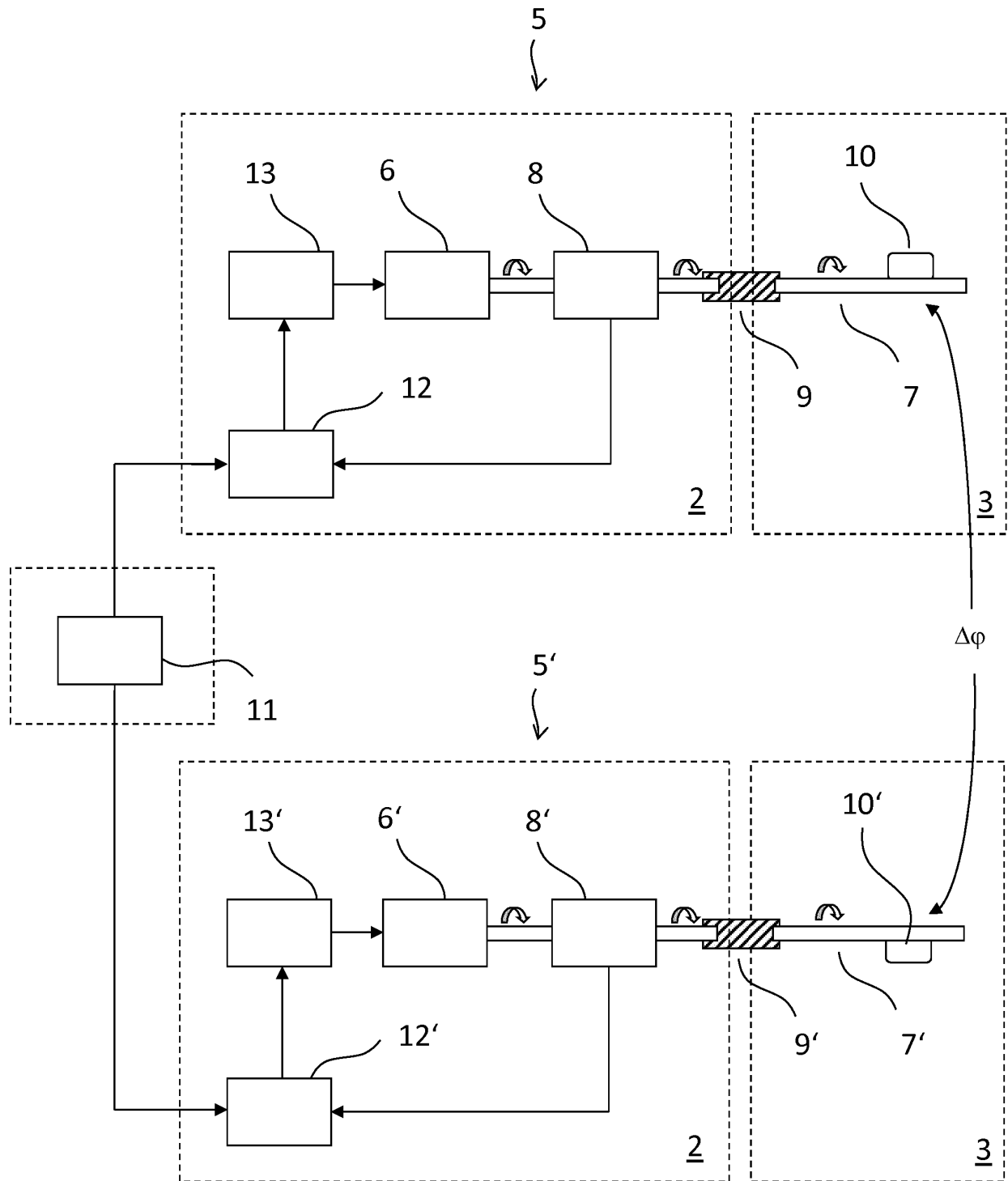
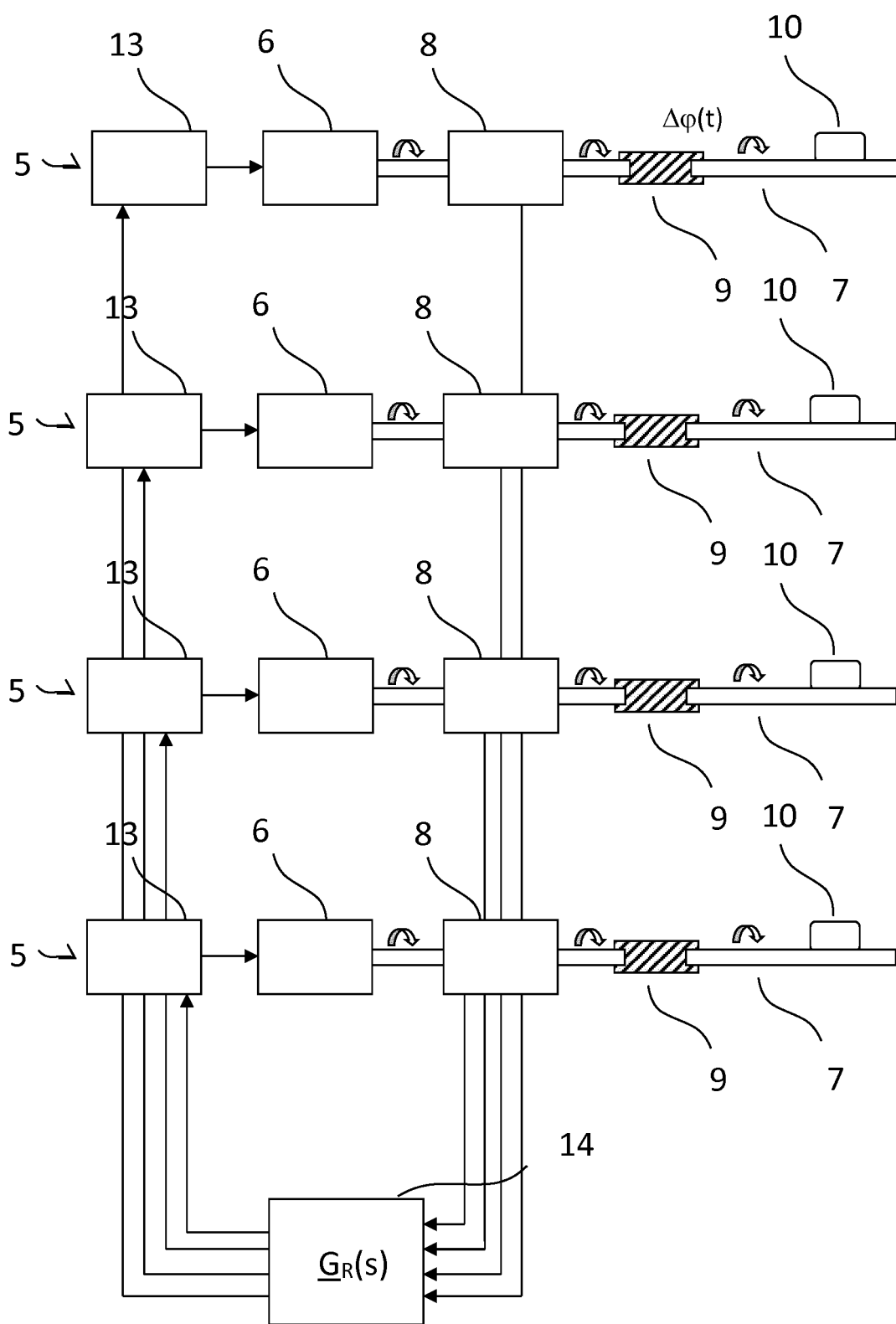


Fig. 7



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 102006000786 A1 [0004]
- DE 102005029433 A1 [0005]