ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901878936A1

Publication Date

20120408

Applicant

DANIELI & C. OFFICINE MECCANICHE S.P.A.

Title

SISTEMA DI SMORZAMENTO DI VIBRAZIONI DI UN LAMINATOIO

Front page automatically generated by WIPO

Descrizione della domanda di brevetto dal titolo:

"Sistema di smorzamento di vibrazioni di un laminatoio"

* * * * *

DESCRIZIONE

Campo dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce ad un sistema di smorzamento di vibrazioni di un laminatoio.

Stato della tecnica

Nella laminazione a freddo di nastri si utilizzano gabbie di laminazione comprendenti almeno una coppia di cilindri detti di laminazione 1 e 1' che sono direttamente in contatto con il nastro durante la laminazione, vedi figura 10a della tecnica nota. Uno dei due rulli di laminazione è sovrapposto all'altro verticalmente.

Tale configurazione è limitata nelle forze applicabili per la deformazione elastica dei cilindri stessi. Per ovviare a questo inconveniente si utilizzano gabbie comprendenti più rulli di cui almeno due rulli di laminazione e due cilindri di appoggio che contrastano la deformata elastica dei rulli di laminazione che sono destinati ad essere a diretto contatto con il materiale da laminare.

Sono note altre configurazioni della tecnica nota, in cui due cilindri sono di laminazione, due intermedi e due di appoggio.

Sono ulteriormente note configurazioni a più rulli.

Ogni gabbia di laminazione è dotata di diversi attuatori idraulici, tra cui:

- due cilindri idraulici posti, per esempio, sulla sommità della gabbia oppure sotto la gabbia, ed agenti sulle guarniture d'appoggio per regolare la distanza tra i rulli di laminazione e di conseguenza il controllo dello spessore del nastro in laminazione;
- quattro o più cilindri idraulici di flessione per ciascuna guarnitura dei rulli di laminazione, definenti un cosiddetto sistema di controllo di bending, che agendo sulle guarniture dei rulli di laminazione ne modificano la deformata elastica permettendo il controllo della planarità del nastro in laminazione.

La forza di laminazione è applicata sui colli dei cilindri d'appoggio per controllare lo spessore del nastro in laminazione, mentre ulteriori forze sono applicate, mediante il sistema di controllo di bending, sulle guarniture dei rulli di laminazione allo scopo

di controllare la planarità del nastro in laminazione.

Sono ulteriormente noti sistemi di bending con i rispettivi nomi:

- "Mae west" con cilindri idraulici di bending positivo inseriti in blocchi di appoggio mentre cilindri di bending negativo sono installati nelle guarniture degli appoggi;
- E block, con cilindri di bending positivi e cilindri di bending negativi inseriti in uno stesso blocco;
- C block cilindri atti ad attuare sia bending positivo che negativo.

Il sistema di "Bending" è controllato attraverso servo valvole che controllano la pressione nelle camere dei cilindri idraulici di flessione al fine di ottenere l'entità desiderata di deformazione elastica dei rulli di laminazione.

Le servo valvole che controllano il "Bending" dei cilindri presentano tempi di risposta dell'ordine dei 50 a 200 ms con frequenze di taglio inferiori ai 50 Hz.

Nella laminazione a freddo sono utilizzati sistemi di raffreddamento e lubrificazione che hanno lo scopo di rimuovere il calore generato durante la laminazione a freddo, lubrificando al contempo il vano di laminazione evitando il contatto diretto tra nastro e rullo di laminazione.

Tali sistemi di raffreddamento e lubrificazione possono utilizzare emulsioni di acqua ed olio o in alternativa olio puro, la scelta del prodotto e della tipologia di sistema di raffreddamento e lubrificazione dipende dalle caratteristiche del prodotto da laminare e dalla qualità/finitura superficiale del nastro che si vuole ottenere.

La velocità di laminazione definisce la capacità di ogni singolo laminatoio, tendenzialmente tutti i laminatoi tentano di laminare per il maggior tempo possibile a velocità prossime alle massime ottenibili dalla catena cinematica e consentite dalla potenza installata sull'impianto.

Durante la laminazione si possono generare delle forzanti che in alcune condizioni possono innescare risonanze principalmente nel senso verticale di disposizione dei rulli di laminazione.

Tali forzanti possono essere generate dai seguenti effetti:

- il nastro stesso per le sue variazioni intrinseche di spessore o durezza;
- variazioni dell'attrito nel vano di laminazione specialmente quando si arriva a

velocità limite con rischio di rottura anche temporanea del film di lubrificazione;
- difettosità indotte nei rulli di laminazione durante le operazioni di rettifica;
- condizioni non adeguate della meccanica della gabbia quali usure, giochi tra i vari componenti e cuscinetti a rotolamento danneggiati.
- la contemporanea laminazione di materiale duro accompagnata da una forte riduzione di spessore ed alta velocità di laminazione.

Le gabbie di laminazione come ogni componente meccanico hanno delle frequenze proprie di risonanza. Se dette forzanti presentano frequenze vicine o coincidenti a/con tali frequenze proprie di risonanza, si possono indurre dei fenomeni di vibrazione.

Tali fenomeni si manifestano con un movimento dei rulli, in direzione trasversale alla direzione di laminazione, cioè si manifestano in direzione verticale e possono raggiungere ampiezze incontrollabili e non adeguate al processo di laminazione.

Tali fenomeni sono noti col termine anglosassone chattering e possono generare difetti superficiali quali marcature chiare/scure del nastro o variazioni di spessore che comportano lo scarto del nastro laminato, dipendendo le difettosità dal modo di vibrare della gabbia.

Solitamente al fine di evitare difettosità o rotture del nastro in laminazione che possono comportare danneggiamenti alla gabbia di laminazione, chi controlla il processo di laminazione, rilevando un fenomeno di chattering, riduce la velocità di laminazione oppure applica procedure di smorzamento di tale fenomeno.

Nella tecnica si conoscono due principali tipologie di chattering conosciute come vibrazioni della terza o della quinta ottava.

La risonanza della terza ottava avviene a frequenze comprese tra 100 e 200 hertz, mentre quelle della quinta ottava avvengono a frequenze comprese tra 500 e 700 hertz.

Tali fenomeni sono caratterizzati da modi di vibrazione diversi: una risonanza di terza ottava induce un primo modo di vibrare in cui un rullo di laminazione ed il relativo appoggio si muovono concordemente, mentre i cilindri superiori ed inferiori vibrano in controfase tra loro; una risonanza di quinta ottava induce un secondo

modo di vibrare, in cui i rulli di laminazione vibrano mentre i cilindri di appoggio sono fermi.

Quando durante la laminazione avvengono questi fenomeni di risonanza, la velocità di laminazione può essere ridotta dal 20 al 50% della velocità di progetto del laminatoio.

Il chattering è quindi un notevole problema per l'operatività dei laminatoi perché oltre a provocare lo scarto del prodotto ne riduce notevolmente la capacità produttiva .

Data l'importanza del problema, il fenomeno del chattering in laminazione è stato oggetto di intensa attività di studio e sperimentazione.

Attraverso l'applicazione di sensori di vibrazione o velocimetri, opportunamente montati sulle gabbie di laminazione, è possibile individuare l'innesco di un fenomeno di risonanza e segnalarlo al fine di anticipare il più possibile il rallentamento del laminatoio.

Tali sistemi sono attualmente utilizzati in modo totalmente automatico e permettono una costante e continua verifica del livello di vibrazione del laminatoio, favorendo anche i piani di manutenzione preventiva dello stesso.

Tali sistemi permettono di minimizzare lo scarto qualitativo, ma non risolvono il problema legato alla riduzione della capacità produttiva dell'impianto di laminazione.

E' stata oggetto di studio la realizzazione di sistemi di smorzamento attivo o passivo delle vibrazioni al fine di consentire laminazioni a velocità sempre più vicine a quelle di progetto dei laminatoi.

JP05104117 descrive un sistema di smorzamento costituito da una massa e una molla installate sulla sommità di una gabbia di laminazione. La frequenza naturale dell'insieme massa-molla è uguale a quella della gabbia di laminazione in modo da generare un'antirisonanza. Tale soluzione non è soddisfacente perché al variare delle dimensioni dei rulli utilizzati dal laminatoio la frequenza naturale anche se di poco varia e questo comporta l'intervento anche sul sistema di antirisonanza. Inoltre, il contributo del sistema di antirisonanza porta all'insorgere di due nuove frequenze di risonanza, con il rischio che il fenomeno del chattering

si instauri comunque.

JP 10314816 descrive un sistema di smorzamento analogo a quanto descritto in JP05104117.

JP08247211 descrive un sistema dinamico di smorzamento in grado di adattarsi al variare delle frequenze naturali durante l'esercizio del laminatoio. Svantaggiosamente tale sistema è posizionato sulla sommità della gabbia e quindi molto distante dai rulli di laminazione che agiscono direttamente sul in laminazione. L'isteresi della gabbia di laminazione è tale da vanificare l'effetto di smorzamento atteso. Inoltre, JP08247211 non descrive il tipo di attuatore non dando informazioni sufficienti alla concreta realizzazione del sistema di smorzamento.

JP09174122 descrive un sistema di smorzamento basato sull'inserimento di smorzatori idraulici tra le guarniture dei rulli di laminazione superiore ed inferiore, ma tale soluzione risulta limitata per la limitata capacità degli smorzatori idraulici di seguire vibrazioni ad alta frequenza. Inoltre, detti smorzatori influiscono negativamente sulle tolleranze di laminazione in assenza del fenomeno del chattering.

US5724846 descrive una procedura di introdurre una vibrazione non sincrona nel sistema di controllo del gap tra i rulli di laminazione oppure nel cilindro di bilanciamento del cilindro d'appoggio.

US5724846 non descrive come generare queste vibrazioni asincrone a frequenze da 100 a 700 Hz, d'altro canto, US5724846 suggerisce di intervenire su attuatori posti ad una certa distanza rispetto al nastro in laminazione, con relativa bassa capacità di smorzare i fenomeni di vibrazione.

A seconda dei modi di vibrare cambia il tipo di difettosità indotta nel nastro in laminazione. In particolare dette difettosità dipendono dalla tipologia della classe di vibrazione e dalla frequenza, precisamente, si generano ondulazioni nel nastro nella sua faccia superiore ed inferiore che possono essere concordi oppure sfasate di un semiperiodo di oscillazione.

Nel migliore dei casi tali difettosità portano allo scarto della porzione di nastro interessata dalla vibrazione.

Dunque, il problema tecnico da risolvere è quello di individuare un sistema e metodo di attenuazione o eliminazione di vibrazioni di risonanza durante un processo di laminazione.

Sommario dell'invenzione

Scopo della presente invenzione è quello di fornire un sistema di smorzamento delle vibrazioni di risonanza di un laminatoio a freddo, atto a risolvere il suddetto problema.

E' oggetto della presente invenzione un sistema di smorzamento di vibrazioni di un laminatoio che, conformemente alla rivendicazione 1, comprende una gabbia di laminazione avente rulli di laminazione e un sistema di regolazione di flessione dei rulli di laminazione comprendente

- attuatori idraulici agenti su detti rulli di laminazione per regolare la posizione reciproca tra i rulli di laminazione,
- circuiti idraulici di alimentazione di detti attuatori idraulici,

caratterizzato dal fatto di comprendere

- mezzi di smorzamento idraulico di una forzante collegati con detti circuiti idraulici per attuare uno smorzamento attraverso detti attuatori idraulici.

Varianti preferite dell'invenzione si riferiscono a sistemi di smorzamento di tipo attivo e passivo.

Si intende per sistema attivo un sistema di smorzamento che alimenta un attuatore elettrodinamico sulla base di una misura di uno spostamento o di una velocità di spostamento dei rulli di laminazione, viceversa con sistema passivo si intende un sistema di smorzamento la cui azione non prevede l'alimentazione elettrica di pur presenti attuatori elettrodinamici.

Detto attuatore elettro-idrostatico può comprendere, secondo una prima variante, una coppia di elementi idraulici passivi, cioè una coppia di pompe idrauliche oppure una coppia di cilindri idraulici a doppia camera collegate in modo opposto ai circuiti di alimentazione del sistema di controllo della planarità dei rulli di laminazione ed in cui almeno un dispositivo di smorzamento elettrodinamico è collegato con uno di detti elementi idraulici passivi per smorzare le vibrazioni della gabbia di laminazione.

Essendo le pompe idrauliche collegate in modo opposto tra loro, le rispettive giranti, a seguito di una differenza di pressione tra un circuito di alimentazione rispetto all'altro, tendono a ruotare in modo contrario l'una rispetto all'altra. Dunque, essendo le giranti connesse tra loro, attraverso una molla di torsione, tali rotazioni sono impedite finché tale differenza di pressione è a bassa frequenza.

Analogamente, i cilindri idraulici a doppia camera sono collegati tra loro, per gli steli mobili, attraverso una molla, allo scopo di bilanciare una differenza di pressione tra il circuito di controllo positivo ed il circuito di controllo negativo della planarità di laminazione.

Il dispositivo di smorzamento elettrodinamico, nel caso di pompe idrauliche è un motore, mentre nel caso di cilindri idraulici è un attuatore piezoelettrico.

Secondo la presente invenzione, dunque, uno smorzamento della forzante di risonanza è attuato attraverso i circuiti idraulici del sistema di controllo della planarità dei rulli di lavoro (bending). Ciò comporta, vantaggiosamente, l'applicazione di una reazione nelle immediate vicinanze dei rulli di laminazione con un indubbio risultato qualitativo del nastro laminato a fronte di velocità di laminazione prossime a quelle di progetto.

Il collegamento tra le giranti delle pompe ed il motore elettrico viene inoltre realizzato rigidamente, per esempio mediante un giunto. Tale giunto è connesso a terra mediante un elemento elastico, per esempio una molla di torsione. In tal modo, si realizza un sistema massa-molla-smorzatore torsionale che ha come inerzia il rotore del motore e la girante della pompa, risonante rispetto alle vibrazioni della gabbia di laminazione.

Inoltre, vantaggiosamente, può essere prevista l'integrazione, di una delle suddette varianti, in un sistema di controllo della planarità attraverso flessione controllata dei cilindri di lavoro (bending).

Vantaggiosamente, il sistema di controllo automatico del processo di laminazione di un laminatoio può essere adattato per controllare anche il sistema di smorzamento oggetto della presente invenzione.

La presente invenzione può essere vantaggiosamente applicata a laminatoi esistenti, per cui un ulteriore scopo della presente invenzione è quello di fornire un

kit di smorzamento di vibrazioni di un laminatoio, atto a risolvere il suddetto problema.

Forma pure oggetto della presente invenzione un kit di smorzamento di vibrazioni per laminatoi, conformemente alla rivendicazione 9.

Un ulteriore scopo della presente invenzione è quello di fornire un laminatoio a capace di lavorare a velocità di laminazione prossime a quelle di progetto senza che si presentino fenomeni di chattering.

Forma pure oggetto della presente invenzione un laminatoio, conformemente alla rivendicazione 10.

Le rivendicazioni dipendenti descrivono realizzazioni preferite dell'invenzione, formando parte integrante della presente descrizione.

Breve descrizione delle Figure

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'invenzione risulteranno maggiormente evidenti alla luce della descrizione dettagliata di forme di realizzazione preferite, ma non esclusive, di un sistema di smorzamento delle vibrazioni di risonanza di un laminatoio, in particolare a freddo, illustrato a titolo esemplificativo e non limitativo, con l'ausilio delle unite tavole di disegno in cui:

la Fig. 1 mostra modi di vibrare di una gabbia di laminazione quando il presente sistema è disabilitato;

la Fig. 2 mostra due grafici rappresentanti rispettivamente dall'alto una variazione di spessore di un nastro laminato nel tempo ed un andamento di una forzante nel medesimo tempo che determina detta variazione di spessore; con una linea tratteggiata verticale è individuato un istante temporale di instaurazione del fenomeno e con una linea orizzontale tratteggiata è indicato un limite di rottura del nastro;

la Fig. 3 rappresenta schematicamente, conformemente alla presente invenzione, esempi ulteriori tre grafici, di cui dall'alto una variazione di spessore di un nastro laminato nel tempo, un andamento di una forzante nel medesimo tempo che determina detta variazione di spessore e un andamento di un'azione smorzante tesa ad eliminare l'effetto di detta forzante;

la Fig. 4 raffigura un circuito di controllo di bending mediante servo valvole per il controllo di bending positivo e negativo a cui è applicata la presente invenzione;
le Fig. 5 e 6 mostrano schematicamente, conformemente alla presente invenzione, varianti della presente invenzione rispettivamente in cui un solo sistema di smorzamento è collegato con il sistema di controllo del bending oppure un sistema di controllo è previsto per ciascun blocco di supporto delle guarniture dei rulli di laminazione;
le Figg. 7, 8 e 9 mostrano schematicamente, conformemente alla presente invenzione, realizzazioni preferite dell' invenzione in combinazione con gli schemi delle precedenti figure 5 e 6;
le Figg. 10a – 10e mostrano configurazioni di gabbie di laminazioni a cui è possibile applicare la presente invenzione.
Gli stessi numeri e le stesse lettere di riferimento nelle figure identificano gli stessi elementi o componenti.

Descrizione in dettaglio di una forma di realizzazione preferita dell'invenzione

Con riferimento alla figura 4 è mostrato schematicamente un sistema di controllo della planarità attraverso flessione controllata dei cilindri di lavoro (bending) di tipo E-block con in evidenza i circuiti idraulici che determinano la movimentazione dei cilindri ai quali è applicata la presente invenzione. In particolare, con le linee tratteggiate sono indicati i circuiti di attuazione di un bending negativo, cioè che porta ad un avvicinamento reciproco tra i rulli di laminazione. Con le linee continue sono rappresentati circuiti di attuazione di un bending positivo, cioè che porta ad allontanare reciprocamente i rulli di laminazione. In due blocchi di sostegno contrapposti reggono le guarniture di due rulli di laminazione di un medesimo lato.
Con riferimento ad una gabbia conforme alla figura 1, è mostrato un modello semplificato dinamico di detta gabbia. In essa sono riportati tipici modi di vibrazione della gabbia a differenti valori di frequenza: in particolare, nell'esempio, i modi di vibrare si ottengono per frequenze di 132, 174, 544, 666 Hz che dipendono dalle caratteristiche dimensionali ed elastiche della gabbia presa in esame. Dunque, al variare dei parametri di massa, rigidezza elastica e

smorzamento, le frequenze naturali di risonanza cambiano, da cui si deduce che ogni impianto di laminazione ha proprie frequenze di risonanza.

Grazie alla presente invenzione, indipendentemente da condizioni transitorie o stazionarie che generano l'instabilità, la forzante Fv viene cancellata per effetto della opposta smorzante Fs.

Nella Fig. 2 è presentato un esempio di vibrazione risonante della terza ottava quando il sistema di smorzamento è disabilitato, in particolare nel grafico superiore della figura è mostrata una variazione di tolleranza di spessore che nel punto dove si innesca il chattering, indicato da una linea verticale tratteggiata, inizia ad uscire dalle condizioni ottimali indicate da una banda che solitamente è di +/- 2 µm, per cui lo spessore diventa instabile in quanto la risonanza avviene ad una frequenza più alta rispetto alla banda passante del sistema di controllo della planarita del laminatoio. Nel grafico più in basso è mostrato un andamento della forzante che induce tali variazioni di tolleranza.

Dunque, lo spessore del nastro subisce variazioni che possono raggiungere e superare i +/- 50 µm, con il rischio di rotture del nastro.

Inoltre, in figura 1 sono mostrati schematicamente i modi di vibrare di una gabbia di laminazione comprendente due rulli di laminazione e due soli rulli di appoggio, quando il presente sistema di smorzamento è disabilitato.

Mediante numerose prove è risultato estremamente vantaggioso applicare detta smorzante su elementi il più vicino possibile al nastro in laminazione, confermando che la soluzione offerta dalla presente invenzione raggiunge i suddetti scopi, mediante una integrazione di un dispositivo di smorzamento delle vibrazioni nel dispositivo di controllo della flessione dei rulli di laminazione, cioè nel sistema di controllo della planarità dei rulli di lavoro (bending).

Con riferimento alla configurazione E-Block, vedi figura 4, quattro coppie di elementi di supporto 2, 2',2'' e 2''' definiscono ciascuno una E. Detti elementi di supporto a forma di E risultano a due a due contrapposti in modo che i gambi dell'una E sono rivolti verso i gambi dell'altra E. Con riferimento alle figure 4, 5 e 6, tra le cavità definite da detti blocchi a E sono inseriti estremi 3a, 3b e 3'a, 3'b di guarniture 3 e 3' dei rulli 1 e 1' di laminazione. Analogamente ciò avviene per

entrambi gli estremi dei rulli di laminazione relativamente ai blocchi 2, 2' e 2" e 2"'. All'interno delle cavità di ciascun blocco a forma di E trovano sede attuatori idraulici 21, 21' e 22, 22' e 23, 23' e 24, 24'. I primi quattro agiscono su detto secondo rullo di laminazione 1', mentre i secondi quattro agiscono su detto primo rullo di laminazione 1.

In particolare il movimento degli attuatori idraulici è coordinato in modo che ad un sollevamento del primo rullo 1 corrisponde un abbassamento del secondo rullo 1' e viceversa. Dunque, le coppie di attuatori 21, 21' e 24, 24' lavorano coordinatamente tra loro in un medesimo verso di avvicinamento/allontanamento reciproco, mentre le coppie 22, 22' e 23, 23' lavorano coordinatamente tra loro in un medesimo avvicinamento/allontanamento reciproco.

La movimentazione di detti attuatori può essere realizzata mediante due distinti collettori 18 e 19 di alimentazione dei circuiti idraulici che collegano una pompa idraulica non rappresentata per opportune servo-valvole 16 e 17. Vedi le figure 4, 5 e 6.

Il collettore 18 è collegato con rami di circuiti idraulici in disegnati tratteggio per un controllo positivo del bending, mentre l collettore 19 è collegato con rami di circuiti idraulici, disegnati con tratto continuo, di controllo di bending negativo.

Tale sistema di controllo della planarità dei rulli di lavoro (bending), dunque, mediante servo valvole 16 e 17 controllano la pressione nella camera attiva dei cilindri idraulici 21,21' e 22, 22' e 23, 23' e 24, 24' con sensori di pressione che generano segnali impiegati in anello chiuso dal sistema di controllo della planarità dei rulli di lavoro o laminazione (bending).

Dette servo-valvole 16 e 17, dunque collegano i due collettori 19 e 18 ad un condotto ad alta pressione P alimentato da detta pompa idraulica non rappresentata oppure con un condotto a bassa pressione T. Dalla simbologia disegnata nelle servo-valvole riportata nei disegni è chiaro il loro funzionamento per il tecnico del ramo.

Dette servo valvole hanno risposte in frequenza non compatibili con le frequenze risonanti che si vogliono attenuare.

Secondo la presente invenzione una azione smorzante viene attuata attraverso detti circuiti idraulici di controllo del bending agendo opportunamente sugli attuatori idraulici di controllo del bending.

Secondo una realizzazione preferita dell'invenzione detto sistema di smorzamento S è collegato tra i collettori 18 e 19 di alimentazione di detti attuatori idraulici del controllo del bending, vedi figura 5, mentre, secondo un'altra variante preferita rappresentata in figura 6, è previsto un sistema di smorzamento S collegato nelle immediate vicinanze di ciascun blocco di sostegno 2, 2', 2", 2"' tra i condotti di bending positivo e negativo.

La presente invenzione si presta adeguatamente all'aggiornamento di laminatoi esistenti, in quanto, il sistema di controllo di bending preesistente continua a funzionare come da progetto, senza rilevare il funzionamento ad alta frequenza del sistema di smorzamento delle vibrazioni.

Con l'aiuto delle figure 6, 7, 8 e 9 vengono descritte dettagliatamente alcune varianti dell'invenzione. Tali figure si riferiscono schematicamente ad un solo lato del laminatoio con riferimento ai supporti 2 – 2' oppure 2" – 2"', ma si intende che la soluzione possa essere applicata ad entrambi i lati della gabbia di laminazione. Inoltre, le connessioni idrauliche in tratteggio si riferiscono al controllo di bending positivo.

Prima variante

Secondo una prima variante passiva dell' invenzione, vedi figura 7, viene collegato un primo attuatore elettro-idrostatico 25 tra i suddetti collettori 18 e 19.

Detto attuatore elettro-idrostatico comprende una prima pompa idraulica 25B collegata idraulicamente tra detti collettori 18 e 19 e collegata con il rotore di un relativo motore 25A asservito alla pompa mediante un collegamento rigido, per esempio uno giunto. Un elemento elastico 33, per esempio una molla torsionale è collegata tra detto giunto ed una parte di terra. Risultando che tale elemento elastico è in parallelo con il giunto di collegamento tra motore elettrico 25A e pompa idraulica 25B.

Una seconda pompa idraulica 25C è collegata idraulicamente tra detti collettori 18 e 19 in modo contrapposto alla prima, cioè in modo che la propria girante ruoti in

modo opposto a detta prima pompa idraulica 25B quando sottoposte ad una medesima onda di pressione che si propaghi da un collettore all'altro. Una ulteriore molla torsionale 32 collega le giranti delle due pompe idrauliche 25B e 25C. Gli avvolgimenti del motore elettrico 25A sono collegati ad un carico elettrico passivo, preferibilmente un circuito ohmico-induttivo 31, preferibilmente di impedenza variabile.

Il collegamento meccanico operato mediante detta seconda molla torsionale 32 determina che le due giranti risultano rigidamente connesse per onde di pressione a bassa frequenza e risultano indipendenti per onde di pressione ad alta frequenza.

Tale configurazione consente di mantenere differenti pressioni tra i collettori 18 e 19 quando si impone al laminatoio un bending positivo o negativo, in cui si possono rilevare differenze di pressioni dell'ordine anche dei 200 bar o superiori tra i due collettori idraulici 18 e 19.

Ad alta frequenza, cioè quando si instaurano fenomeni di chattering, le due giranti risultano indipendenti, allora i movimenti della girante 25B, rigidamente connessa con il rotore del motore elettrico 25A vengono smorzate dalle correnti parassite che si generano nello stesso motore elettrico 25A. Dunque, il motore 25A si comporta da smorzatore.

Dette correnti parassite determinano una coppia che si oppone alle rotazioni del rotore, per cui si traducono in un effetto smorzante attuato mediante i circuiti/collettori idraulici 18 e 19 del controllo di bending.

In questo modo l'inerzia dello smorzatore 25A e della pompa 25B diventano un sistema risonante rispetto alla molla 33 connessa a terra.

Questa variante può prevedere che gli avvolgimenti del motore 25A possano essere chiusi in cortocircuito oppure collegati ad un opportuno circuito passivo ohmico-induttivo variabile 31, allo scopo di adattare la risposta dello smorzamento alle caratteristiche dinamiche della gabbia di laminazione, che per esempio possono cambiare in relazione al materiale laminato, alla velocità di laminazione, alle dimensioni dei rulli di laminazione e/o appoggio, alle loro masse, etc.

Il motore 25A non essendo alimentato da alcuna fonte energetica esterna definisce una configurazione passiva del dispositivo di smorzamento oggetto della presente invenzione.

Seconda variante

Con riferimento alla figura 8 almeno un attuatore elettro-idrostatico 45 comprendente un motore elettrico 45A collegato ad una pompa 45B mediante un giunto rigido. La pompa 45B risulta collegata idraulicamente tra detti collettori 18 e 19.

Si definisce una configurazione attiva del sistema di smorzamento, in quanto il motore elettrico 45A viene alimentato per smorzare il chattering.

Inoltre, un elemento elastico 43 è collegato tra detto giunto rigido e la terra, per esempio una prima molla torsionale 43.

La presente variante risulta sovrapponibile alla precedente per quanto riguarda la parte idraulica e meccanica, in cui una prima pompa 45B è collegata idraulicamente tra detti collettori 18 e 19 ed una seconda pompa idraulica 45C è collegata idraulicamente tra detti collettori 18 e 19 in modo contrapposto alla prima, cioè in modo che la propria girante ruoti in modo opposto alla prima pompa idraulica 45B quando sottoposte ad una medesima onda di pressione che si propaghi da un collettore all'altro. Una seconda molla torsionale 42 collega le giranti delle due pompe idrauliche 45B e 45C.

Velocimetri 27 e 28 misurano movimento/velocità delle guarniture dei rulli di laminazione 1 e 1' e i rispettivi segnali vengono impiegati da un controllore C eventualmente amplificato da un amplificatore di segnale A per alimentare e controllare detto/i attuatore/i elettro-idrostatico/i 45 allo scopo di generare una azione smorzante Fs che cancelli detta forzante Fv.

In particolare, i velocimetri 27 e 28 sono installati, per esempio, sulle guarniture 3 e 3' dei cilindri di laminazione 1, 1', per misurare la loro velocità di vibrazione secondo tre direzioni coordinate. Particolare attenzione è posta alla componente verticale rispetto al piano di laminazione. Tali misure di velocità generano un input di errore per il sistema di controllo 46 comprendente detto controllore C e detto

amplificatore A, che genera un segnale di controllo e alimentazione del motore elettrico 45A asservito alla pompa idraulica 45B.

Anche in questo caso un'azione smorzante è attuata mediante i circuiti degli attuatori idraulici del sistema di controllo della planarità dei rulli di lavoro 1, 1' (bending).

Inoltre, l'inerzia dello smorzatore rappresentato dal motore elettrico 45A e della pompa 45B si comportano come un sistema risonante rispetto alla molla 43 connessa a terra.

Anche la presente variante, operando a frequenze più alte rispetto a quelle di taglio delle servo valvole 16 e 17 di controllo di bending, fa sì che l'azione smorzante non interagisce con il controllo di bending.

Dunque, gli attuatori idraulici di bending 21, 21' e 22, 22' e 23, 23' e 24, 24' vengono controllati contemporaneamente dal sistema di controllo del bending e dal sistema di controllo 46 mediante detto attuatore elettro-idrostatico 45 in una cosiddetta configurazione attiva.

Terza variante

Una variante passiva, non rappresentata, risulta intermedia rispetto alle due varianti precedentemente descritte.

Essa prevede la presenza di velocimetri collegati con le guarniture dei rulli ed un sistema di controllo che sulla base dei segnali dei velocimetri regola le caratteristiche di impedenza del circuito ohmico-induttivo a cui sono collegati gli avvolgimenti del motore elettrico definente l'attuatore elettro-idrostatico di figura 7.

Anche in questo caso il sistema di smorzamento risulta passivo, poiché il/i motori elettrici non sono alimentati per smorzare il chattering.

Quarta variante

Con riferimento alla figura 9 una quarta variante dell' invenzione prevede che velocimetri 29 e 30 sono installati sulle guarniture 3 e 3' dei rulli di laminazione 1 e 1' per misurare lo scostamento/velocità delle guarniture dei cilindri di laminazione nelle tre direzioni, con particolare riferimento alla componente verticale rispetto al piano di laminazione. Tali misure generano un segnale elettrico di input definente un errore per un sistema di controllo 56, che genera un segnale di output,

eventualmente amplificato da un amplificatore A, per alimentare e controllare, in anello chiuso, un attuatore piezolelettrico 58, collegato allo stelo di un primo cilindro idraulico 59.

Il primo cilindro idraulico 59 è del tipo a doppia camera e la prima camera 59A è collegata idraulicamente con uno di detti collettori 18 e 19, per esempio, il collettore 18, e l'altra camera 59B è collegata idraulicamente con l'altro collettore, per esempio 19.

Un secondo cilindro idraulico 69 è del tipo a doppia camera e collegato in modo opposto rispetto al primo cilindro idraulico 59, in modo che gli steli dei due cilindri si muovono in modo contrapposto sotto l'effetto di una sovrapressione di un collettore rispetto all'altro.

Essendo gli stesi steli connessi tra loro mediante una opportuna molla 70, essi restano immobili sotto l'effetto di una differenza di pressione stabile tra i due collettori.

Le vibrazioni di chattering vengono rilevate dal sistema di controllo 56 che comanda lo spostamento di detto attuatore piezoelettrico 58 in modo che il moto dello stelo del primo cilindro 59, connesso con l'attuatore piezoelettrico 58, si contrappone ad onde di pressione ad alta frequenza, smorzandole. Dunque, controllando opportunamente detto attuatore piezoelettrico 58 è possibile generare una smorzante Fs che cancelli detta forzante Fv misurata attraverso detti velocimetri 29 e 30.

Può essere previsto un ulteriore attuatore piezoelettrico collegato allo stelo del secondo cilindro idraulico 69 in modo da lavorare oppostamente all'altro attuatore piezoelettrico 69.

Essendo i due cilindri idraulici collegati oppostamente, il risultato dei due attuatori piezoelettrici è concorde tra loro nello smorzamento del chattering.

Vantaggiosamente, l'invenzione risolve il suddetto problema del chattering generando una forza smorzante Fs, in opposizione di fase rispetto alla forzante Fv che si genera durante un processo di laminazione e che definisce dette vibrazioni di risonanza. Il risultato dell'applicazione di tale effetto smorzante è mostrato in figura 3. In detta figura sono riportati sinteticamente tre grafici sincroni nel tempo:

nel grafico più in alto è mostrata una variazione di tolleranza dello spessore di un nastro laminato nel tempo; nel grafico subito sotto è riportato un andamento di una forzante Fv e nel grafico più in basso è riportato un andamento di una smorzante Fs.

Si vede, in detta figura 3, che nel punto di innesco della vibrazione, lo spostamento di un rullo di laminazione tende ad uscire dalla tolleranza di +/- 2 µm, finché la smorzante Fs in controfase rispetto alla forzante Fv, riduce o elimina lo spostamento del rullo riportandolo entro detti +/- 2 µm.

Un nuovo laminatoio, in accordo con la presente invenzione, può comprendere un dispositivo di controllo degli attuatori di bending, collegato a velocimetri installati sulle guarniture dei rulli di laminazione per controllare le elettrovalvole asservite alle azioni di recupero della planarità del nastro e sia per controllare il sistema di smorzamento del chattering.

Tali dispositivi di smorzamento possono vantaggiosamente applicarsi a tutti i sistemi di bending dei rulli di laminazione conosciuti nella tecnica e riportati a titolo di esempio nelle figg. 10.

La presente invenzione è stata descritta con riferimento ad una configurazione E-block, ma ciò non toglie che possa essere immediatamente adattata a configurazioni differenti, da parte del tecnico del ramo.

Inoltre, le possibili configurazioni di gabbie riportate nelle figure 10 sono solo a titolo esemplificativo e non limitativo.

Gli elementi e le caratteristiche illustrate nelle diverse forme di realizzazione preferite possono essere combinate tra loro senza peraltro uscire dall'ambito di protezione della presente domanda.

(FIU)

RIVENDICAZIONI

1. Sistema di smorzamento delle vibrazioni di un laminatoio comprendente almeno una gabbia di laminazione avente rulli di laminazione (1, 1') e un sistema di regolazione di flessione (3, 3', 17, 18, 21, 21' e 22, 22' e 23, 23' e 24, 24') dei rulli di laminazione (1, 1'), il sistema di smorzamento comprendente

- attuatori idraulici (21, 21' e 22, 22' e 23, 23' e 24, 24') agenti su detti rulli di laminazione (1, 1') per regolare la posizione reciproca tra i rulli di laminazione (1, 1'),
- circuiti idraulici (18,19) di alimentazione di detti attuatori idraulici (21, 21' e 22, 22' e 23, 23' e 24, 24'),

caratterizzato dal fatto di comprendere

- mezzi di smorzamento idraulico ((25, 31, 32), (27, 28, 45, 46, 42), (29, 30, 56, 58, 59, 70)) di una forzante (Fv) collegati con detti circuiti idraulici (18, 19) per attuare uno smorzamento attraverso detti attuatori idraulici (21, 21' e 22, 22' e 23, 23' e 24, 24').

2. Sistema secondo la rivendicazione 1, in detti mezzi di smorzamento idraulico ((25, 31, 32), (27, 28, 45, 46, 42), (29, 30, 56, 58, 59, 70)) comprendono

- un primo elemento idraulico passivo (25B, 45B, 59) comprendente una rispettiva parte mobile, collegato tra detti circuiti idraulici di alimentazione (18, 19),
- un secondo elemento idraulico passivo (25C, 45C, 69) comprendente una rispettiva parte mobile, collegato tra detti circuiti idraulici di alimentazione (18, 19) in modo opposto rispetto a detto primo elemento idraulico passivo (25B, 59),
- un primo elemento elastico (32, 42, 70) collegante dette rispettive parti mobili dei primo e secondo elementi idraulici passivi ((25C, 25B), (45A, 45B), (59, 69)) tra loro,
- almeno un dispositivo di smorzamento elettrodinamico (25A, 45A, 58) collegato rigidamente con una di dette parti mobili di detti primo (25B, 45B, 59) o secondo elementi idraulici passivi (25C, 45C, 69).

3. Sistema secondo la rivendicazione 2, in cui ciascuno di detti elementi idraulici passivi è una pompa idraulica (25A,25B, 45A, 45B) ed in cui

- detto dispositivo di smorzamento elettrodinamico comprende un motore elettrico (25A, 45A),
- detto collegamento rigido, tra il motore elettrico (25A, 45A) e dette parti mobili di detti primo (25B, 45B) o secondo elementi idraulici passivi (25C, 45C), è collegato a terra mediante un secondo elemento elastico (33, 43).

4. Sistema secondo la rivendicazione 3, ulteriormente comprendente un circuito passivo (31) ohmico-induttivo collegato elettricamente agli avvolgimenti di detto motore elettrico (25A).

5. Sistema secondo la rivendicazione 4, ulteriormente comprendente
- mezzi di misurazione di vibrazioni (27, 28) dei rulli di laminazione (1,1'),
- mezzi di elaborazione (46) collegati con detti mezzi di misurazione di vibrazioni (27, 28) e controllanti caratteristiche di impedenza di detto circuito passivo (31) ohmico-induttivo.

6. Sistema secondo la rivendicazione 3, ulteriormente comprendente:
- mezzi di misurazione di vibrazioni (27, 28) dei rulli di laminazione (1,1'),
- mezzi di elaborazione (46) collegati con detti mezzi di misurazione di vibrazioni (27, 28) e alimentanti detto motore elettrico (45A) in modo da smorzare le vibrazioni dei rulli di laminazione (1, 1').

7. Sistema secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, in cui detto primo e/o secondo elemento elastico (32, 33, 42, 43) è una molla di torsione.

8. Sistema secondo la rivendicazione 2, in cui
- ciascuno di detti elementi idraulici passivi è un cilindro idraulico (59, 69) del tipo a doppia camera, di cui una camera è connessa con un circuito idraulico positivo (18) del sistema di regolazione di flessione dei rulli di laminazione (1, 1') ed un'altra camera è collegata con un circuito negativo (19) del sistema di regolazione di flessione dei rulli di laminazione (1, 1'),
- detto dispositivo elettrodinamico comprende un attuatore piezoelettrico (58)
- ulteriormente comprendente
    - mezzi di misurazione di vibrazioni (29, 30) dei rulli di laminazione (1,1'),

- mezzi di elaborazione (56) collegati con detti mezzi di misurazione di vibrazioni (29, 30) e alimentanti detto attuatore piezoelettrico (58) in modo da smorzare le vibrazioni dei rulli di laminazione (1, 1').

9. Kit di smorzamento delle vibrazioni di un laminatoio conformemente ad una delle rivendicazioni precedenti.

10. Laminatoio comprendente un kit di smorzamento delle vibrazioni secondo la rivendicazione 9.

CLAIMS

1. A vibration damping system of a rolling mill comprising at least a rolling stand having rollers (1,1') and a bending adjustment system (3, 3', 17, 18, 21, 21' and 22, 22' and 23, 23' and 24, 24') of the rollers (1, 1'), the vibration damping system comprising:

- hydraulic actuators (21, 21' and 22, 22' and 23, 23' and 24, 24') acting on said rollers (1, 1') for adjusting the reciprocal position between the rollers (1,1'),
- hydraulic circuits (18,19) for feeding said hydraulic actuators (21, 21' and 22, 22' and 23, 23' and 24, 24'),

characterized in that it comprises

- hydraulic damping means ((25, 31, 32), (27, 28, 45, 46, 42), (29, 30, 56, 58, 59, 70)) of a forcing (Fv) connected to said hydraulic circuits (18, 19) for actuating a damping by means of said hydraulic actuators (21, 21' and 22, 22' and 23, 23' and 24, 24').

2. A system according to claim 1, wherein said hydraulic damping means ((25, 31, 32), (27, 28, 45, 46, 42), (29, 30, 56, 58, 59, 70)) comprise:

- a first passive hydraulic element (25B, 45B, 59) comprising a respective mobile part, connected between said hydraulic feeding circuits (18, 19),
- a second passive hydraulic element (25C, 45C, 69) comprising a respective mobile part, connected between said hydraulic feeding circuits (18, 19) in opposite manner with respect to said first passive hydraulic element (25B, 45B, 59),
- a first elastic element (32, 42, 70) connecting said respective mobile parts of said first and second passive hydraulic elements ((24C, 25B), (45A, 45B), (59, 69)) with each other,
- at least one electrodynamic damping device (25A, 45A, 58) rigidly connected to one of said mobile parts of said first (25B, 45B, 59) or second passive hydraulic element (25C, 25B, 69).

3. A system according to claim 2, wherein each of said passive hydraulic elements is a hydraulic pump (25A, 25B, 45A, 45B) and wherein

- said electrodynamic damping element comprises an electric motor (25A, 45A),
- said rigid connection, between the electric motor (25A, 45A) and said mobile

parts of said first (25B, 45B, 59) or second passive hydraulic element (25C, 25B, 69), is connected with the ground by means of a second elastic element (33, 43).

4. A system according to claim 3, further comprising a passive ohmic-inductive circuit (31) electrically connected to the windings of said electric motor (25A).

5. A system according to claim 4, further comprising:

- vibration measuring means (27, 28) of the rollers (1,1'),
- processing means (46) connected to said vibration measuring means (27, 28) and controlling the impedance properties of said passive ohmic-inductive circuit (31).

6. A system according to claim 3, further comprising:

- vibration measuring means (27, 28) of the rollers (1,1'),
- processing means (46) connected to said vibration measuring means (27, 28) and feeding said electric motor (45A) so as to damp the vibrations of the rollers (1,1').

7. A system according to any one of the preceding claims, wherein said elastic spring (32, 42) is a torsion spring.

8. A system according to claim 2, wherein:

- each of said passive hydraulic elements comprises a hydraulic cylinder (59, 69) of the double chamber type, a chamber of which is connected with a positive hydraulic circuits (18) of the bending adjustment system of the rollers (1,1') and another chamber is connected with a negative hydraulic circuits (19) of the bending adjustment system of the rollers (1,1')
- said electrodynamic device is a piezoelectric actuator (58)
- and further comprising:
    - vibration measuring means (29, 30) of the rollers (1,1'),
    - processing means (56) connected with said vibration measuring means (29, 30) and feeding said piezoelectric motor (58) so as to damp the vibrations of the rollers (1,1').

9. A damping kit of the vibrations in a rolling mill according to one of the preceding claims.

10. A rolling mill comprising a vibration damping kit according to claim 9.

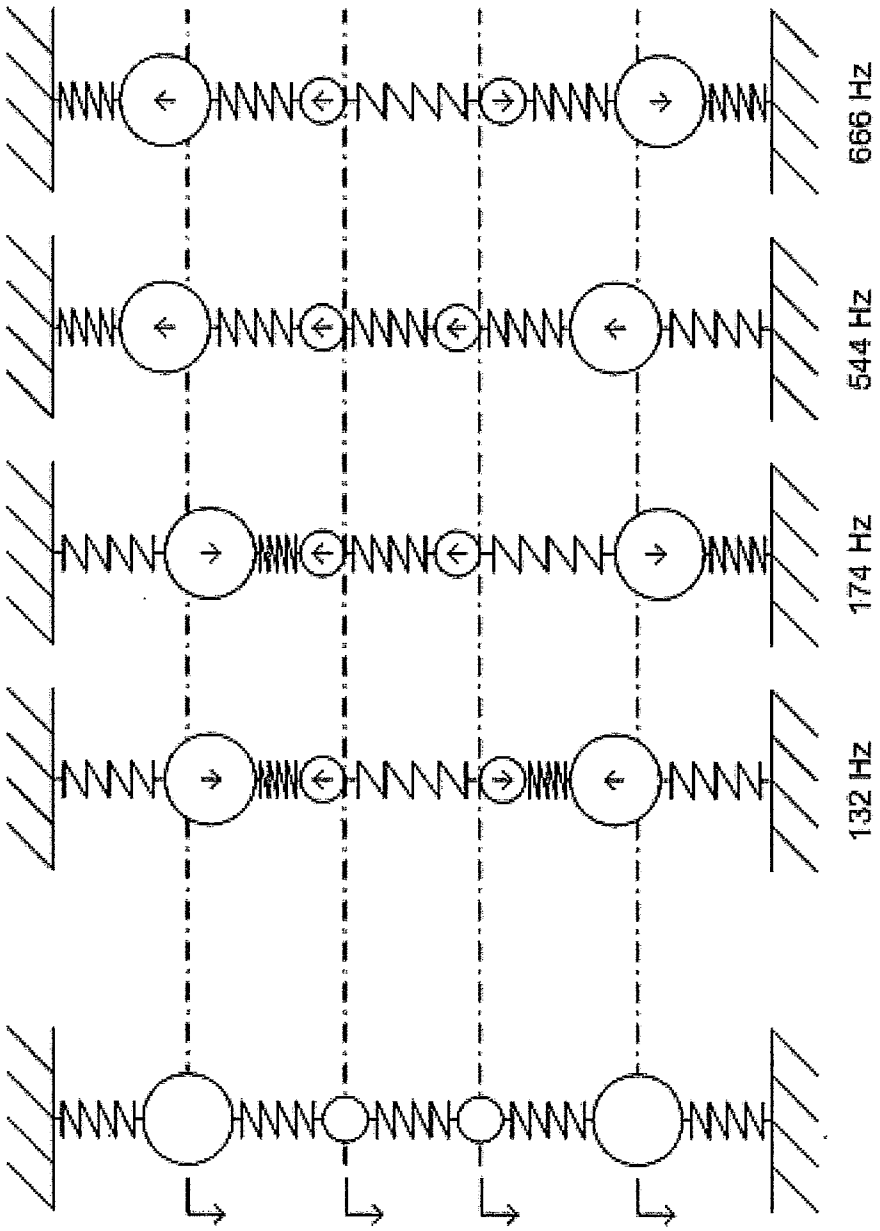


Fig. 1

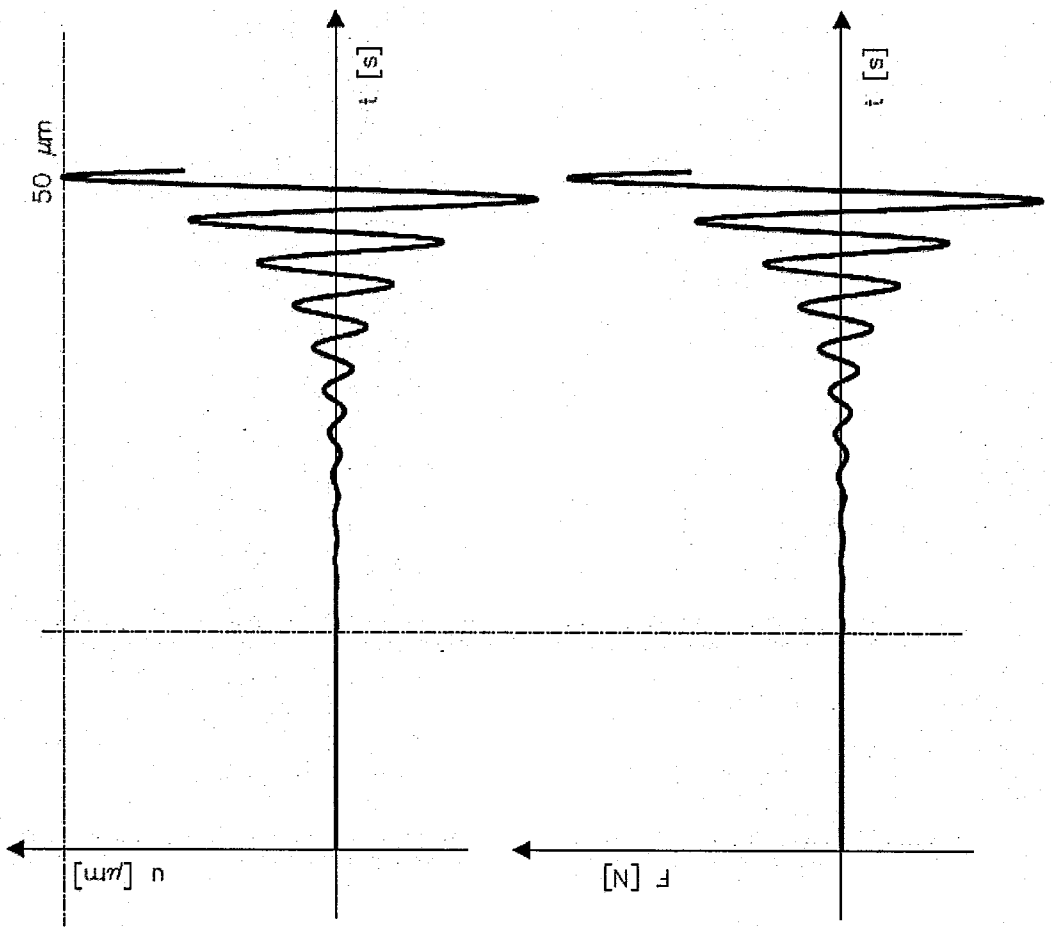


Fig. 2

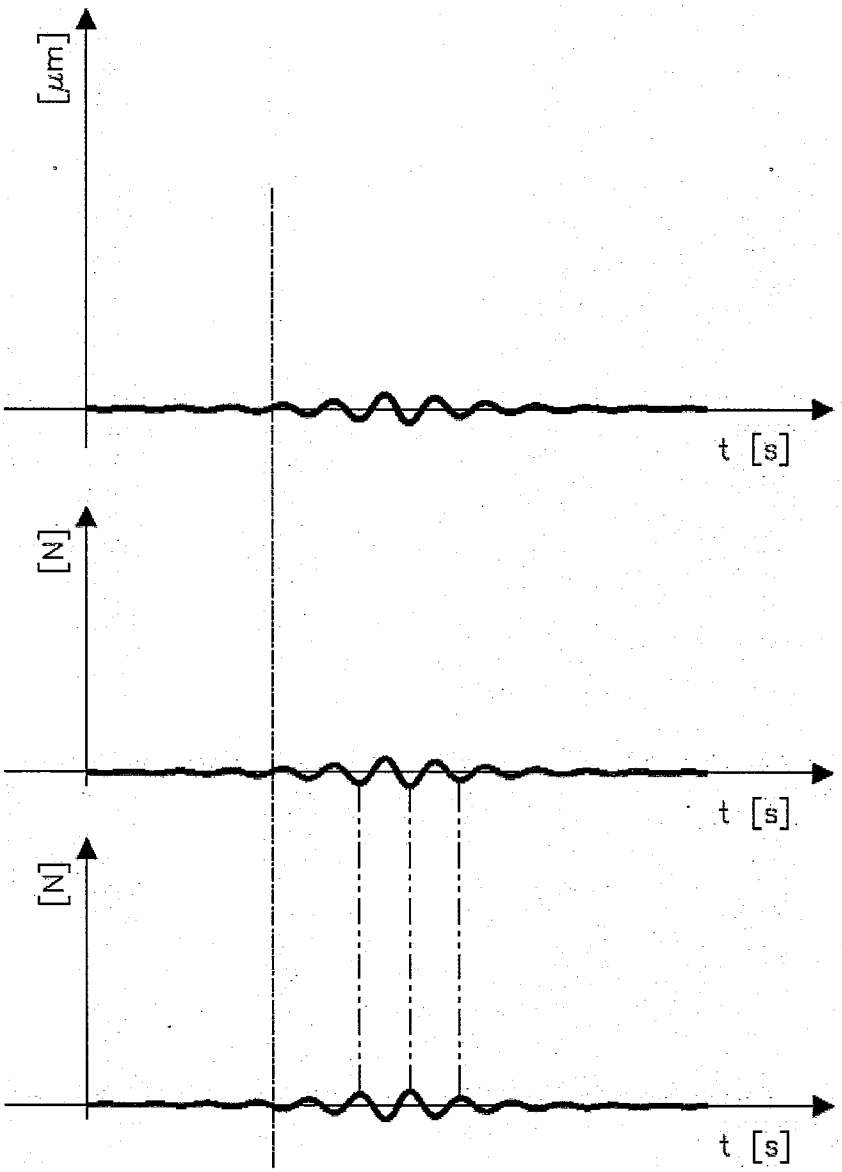


Fig. 3

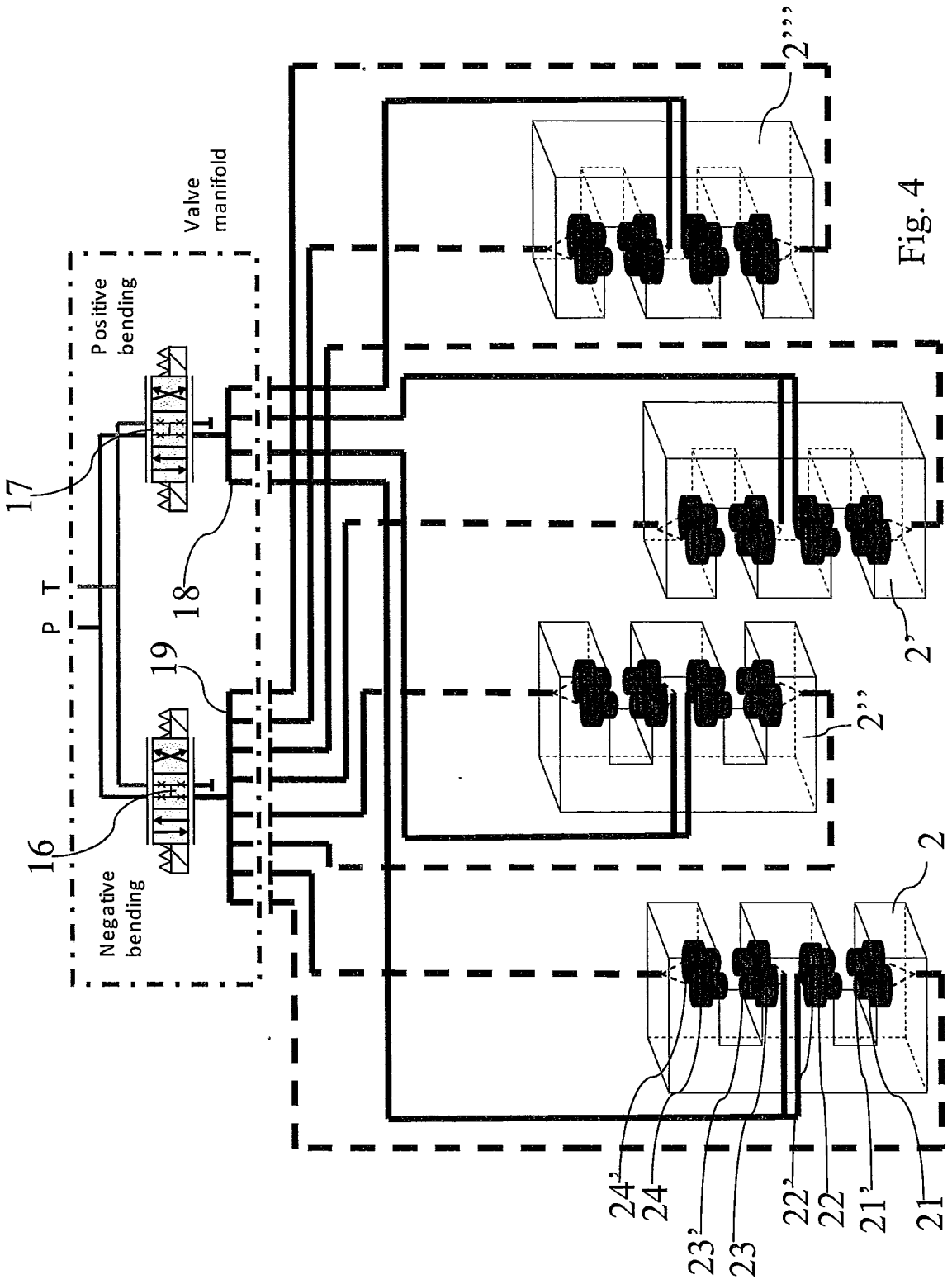

Valve manifold
Positive bending
Negative bending
P T
16
17
18
19
2
2'
2''
2'''
21
21'
22
22'
23
23'
24
24'

Fig. 4

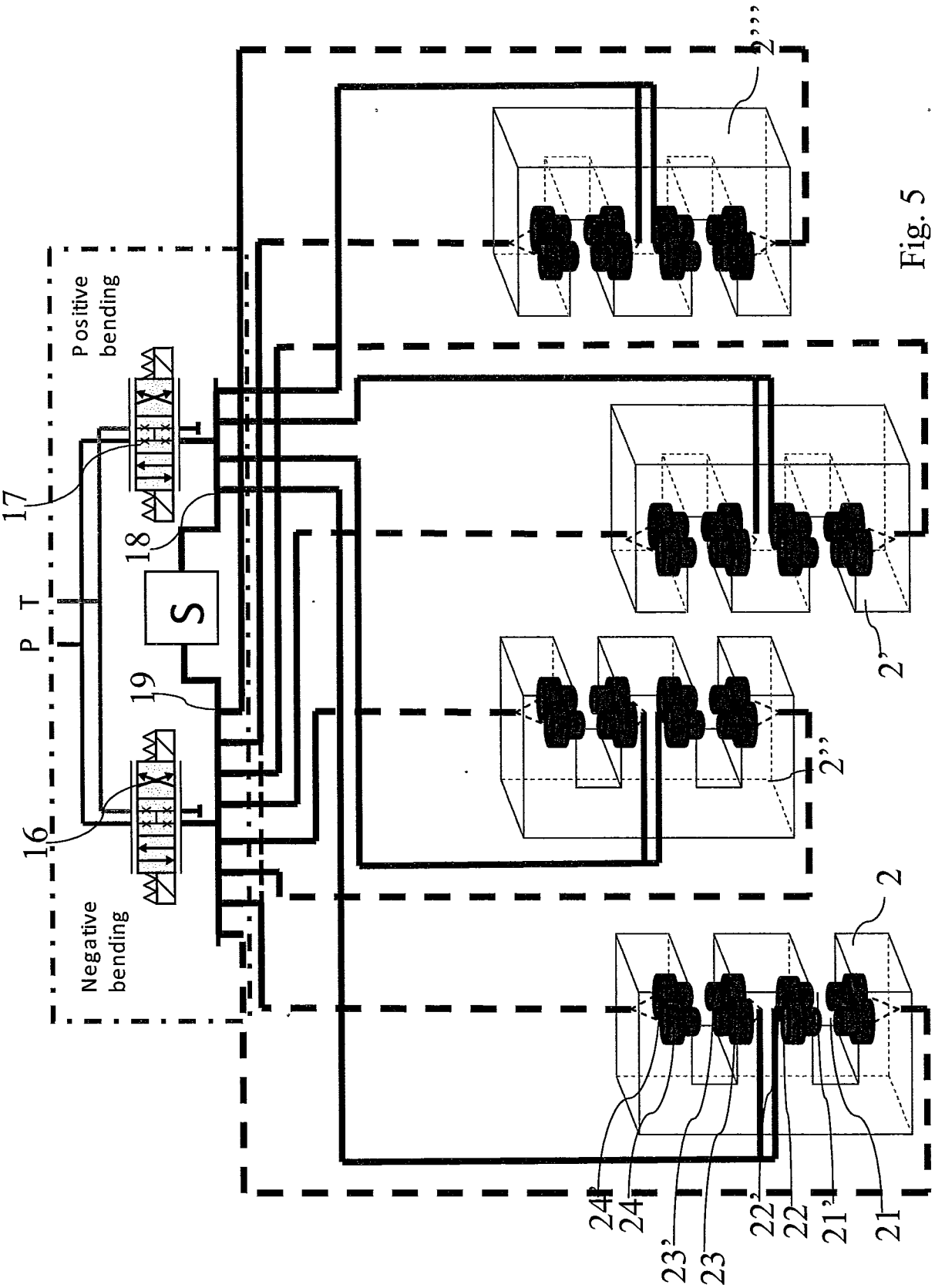

2'''
2'
2''
2
24'
24
23'
23
22'
22
21'
21
Positive bending
Negative bending
P T
S
16
17
18
19

Fig. 5

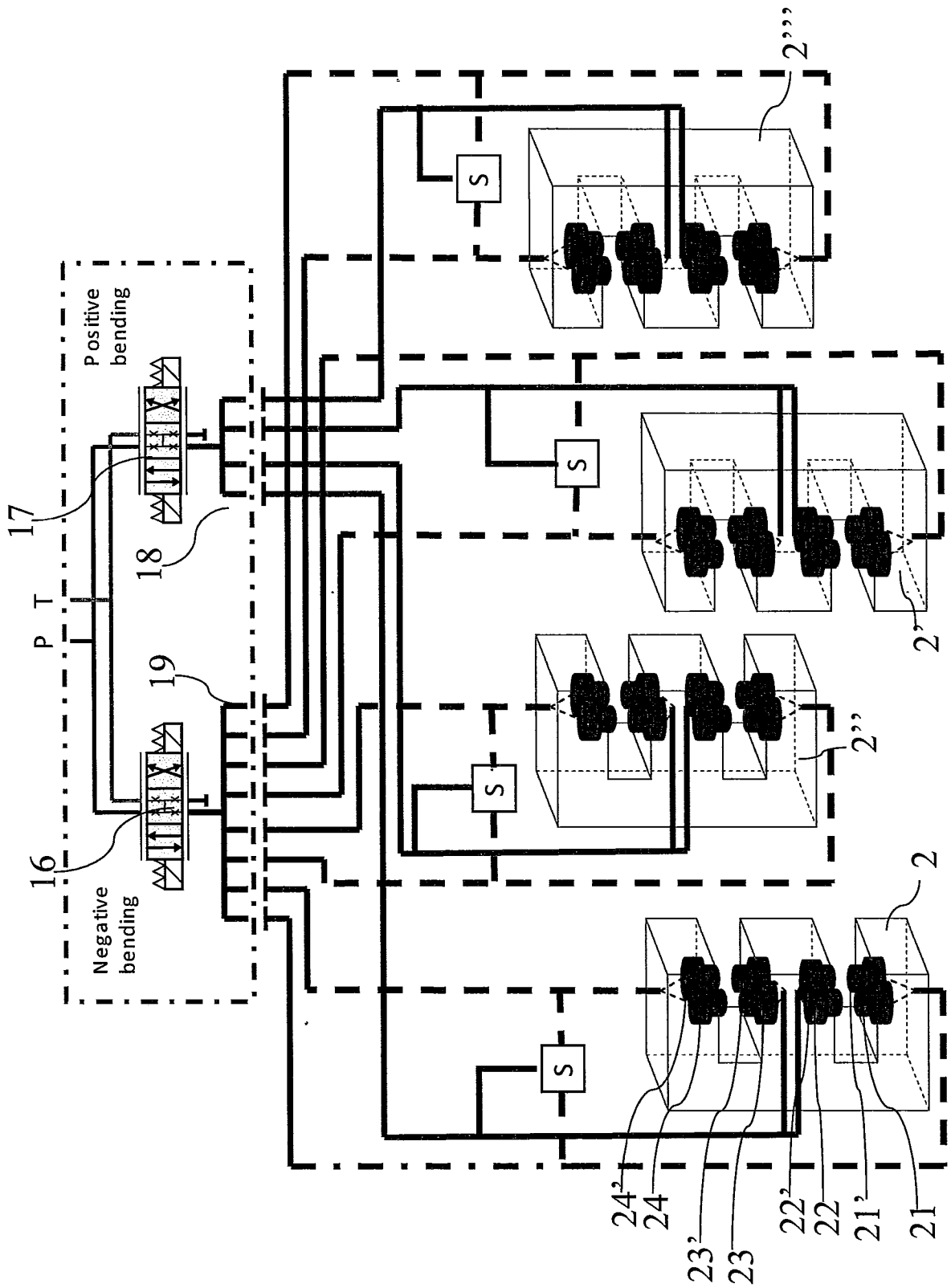

Positive bending
Negative bending
P T
16
17
18
19
S
2
2'
2''
2'''
21
21'
22
22'
23
23'
24
24'

Fig. 6

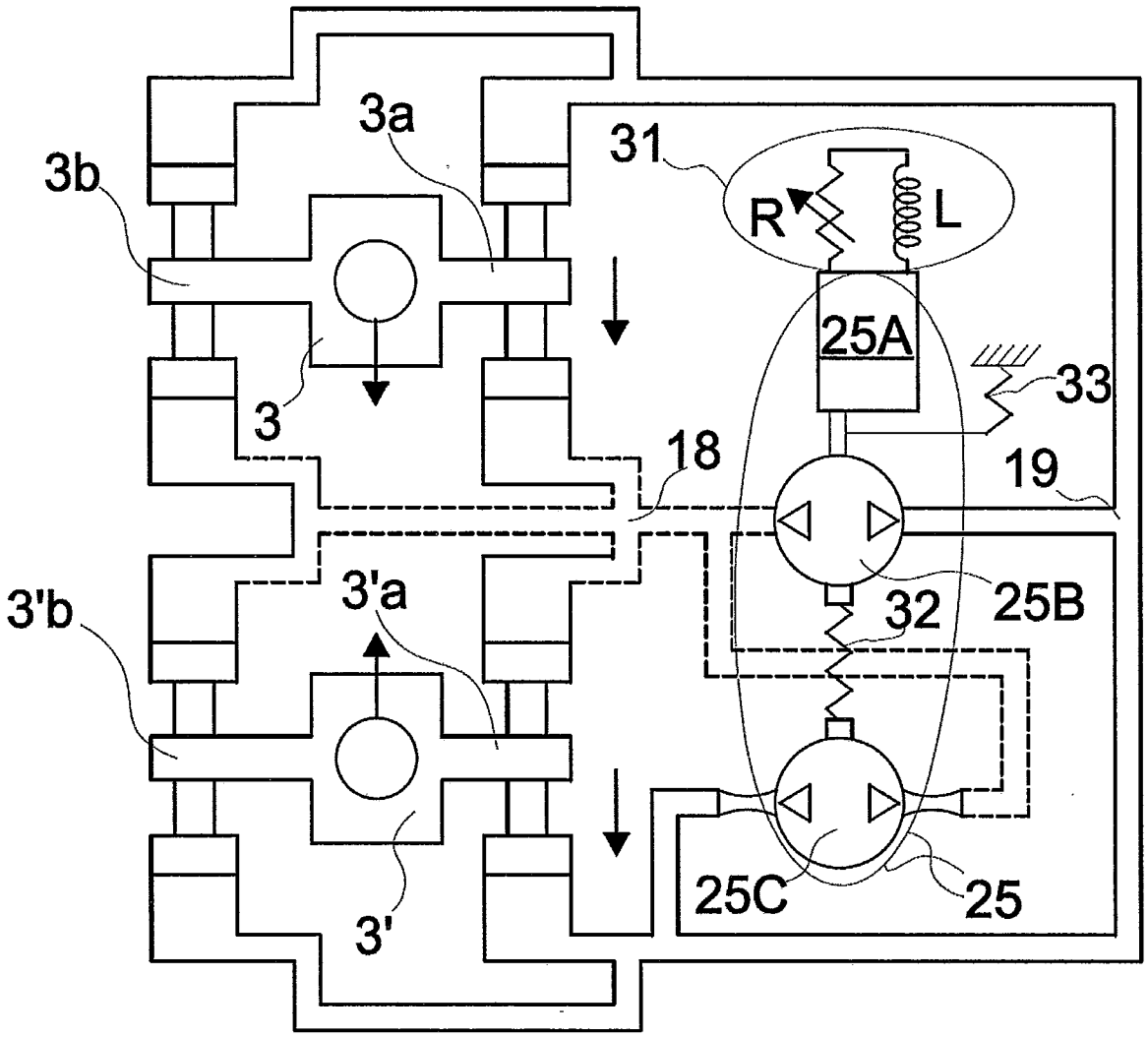


Fig. 7

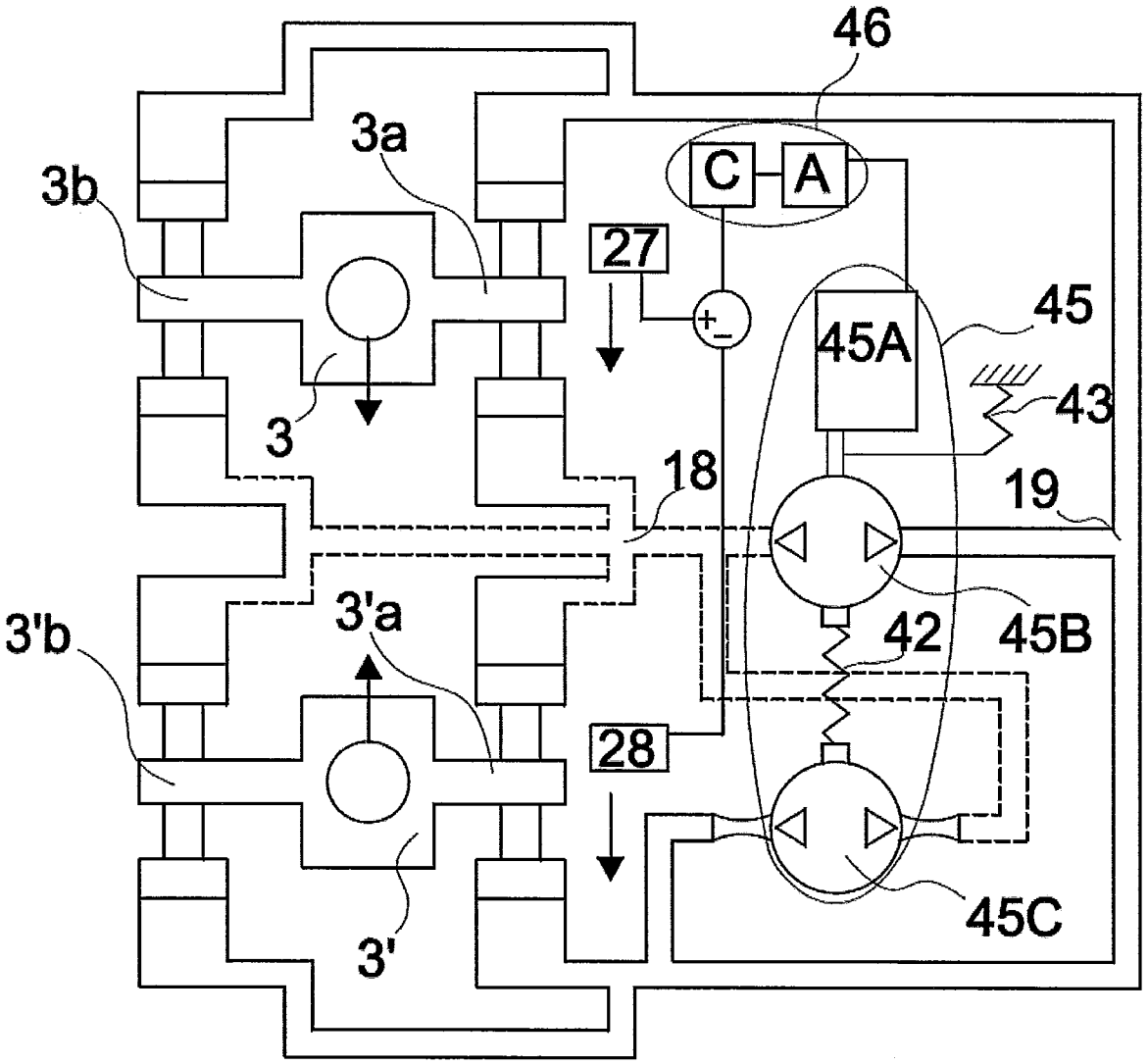


Fig. 8

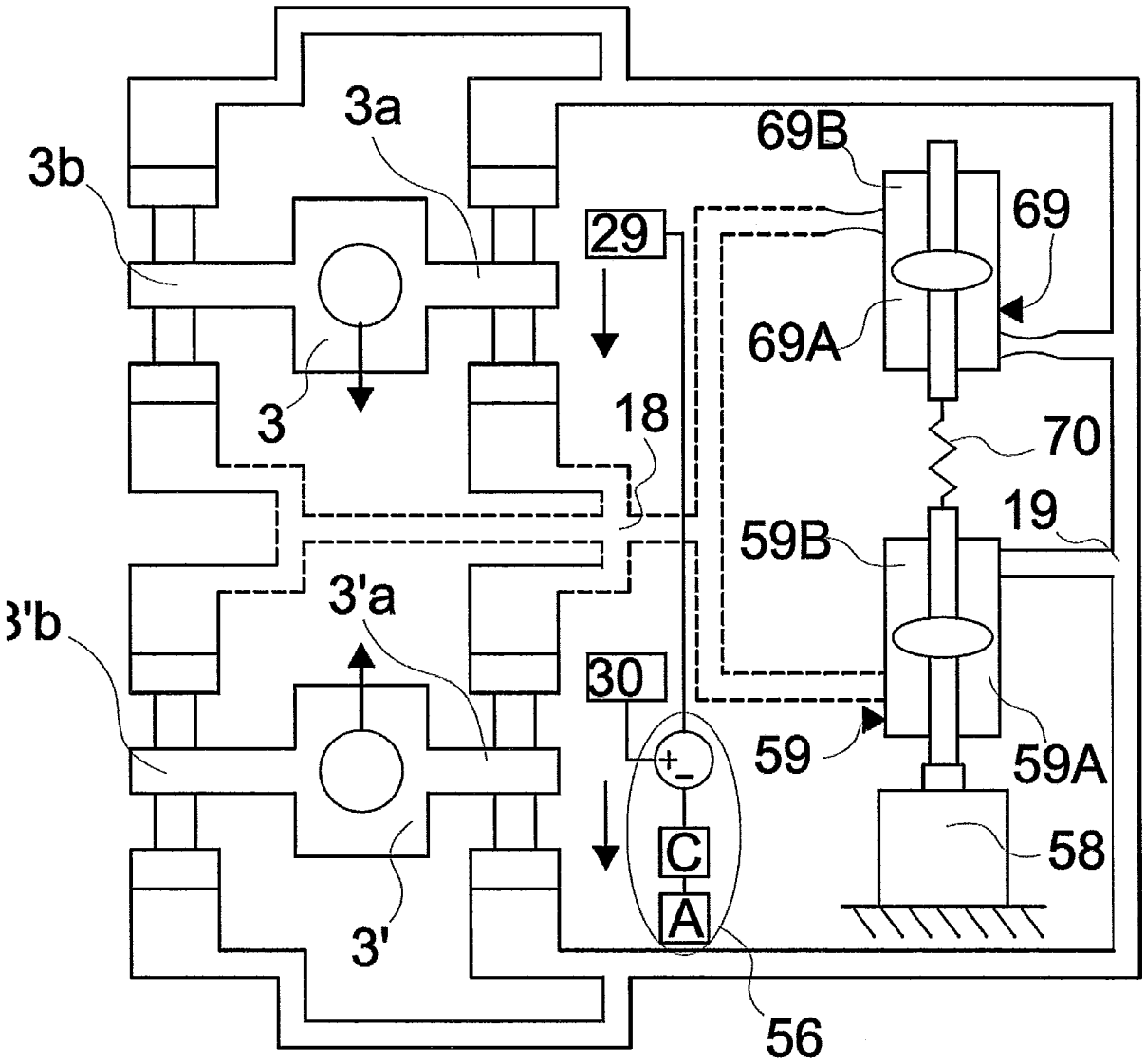


Fig. 9

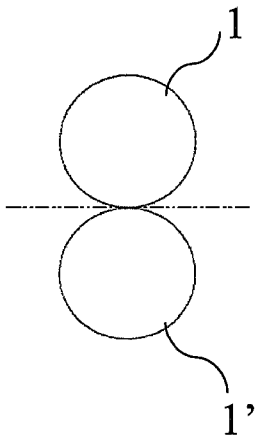


Fig. 10a

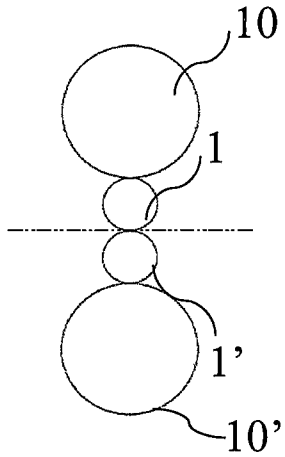


Fig. 10b

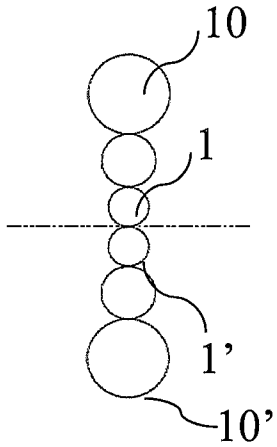


Fig. 10c

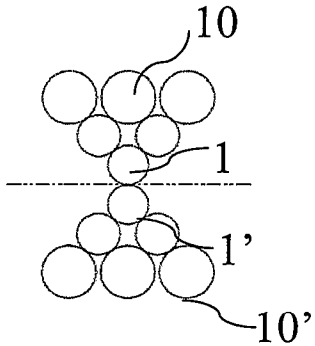


Fig. 10d

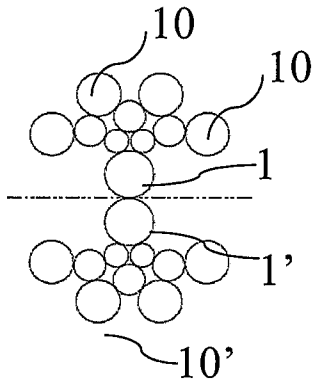


Fig. 10e

NOTARBARTOLO & GERVASI S.p.A.