

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. April 2009 (09.04.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/043547 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F16F 7/10 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/008207

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. September 2008 (26.09.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 1533/2007 27. September 2007 (27.09.2007) AT

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): BERNARD INGENIEURE ZT GMBH [AT/AT]; Nordbahnstrasse 36/2/7, A-1020 Wien (AT).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): REITERER, Michael [AT/AT]; Grafenschachen 110, A-7423 Wien (AT). KLUIBENSCHEDL, Andreas [AT/AT]; Bahnhofstrasse 10, A-6410 Telfs (AT).

(74) Anwalt: PUCHBERGER, BERGER & PARTNER; Reichsratsstrasse 13, A-1010 Wien (AT).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LIQUID DAMPER FOR REDUCING VERTICAL AND/OR HORIZONTAL VIBRATIONS IN A BUILDING OR MACHINE STRUCTURE

(54) Bezeichnung: FLÜSSIGKEITSTILGER ZUR REDUKTION VON VERTIKALEN UND/ODER HORIZONTAL EN SCHWINGUNGEN AN EINER BAU- ODER MASCHINENKONSTRUKTION

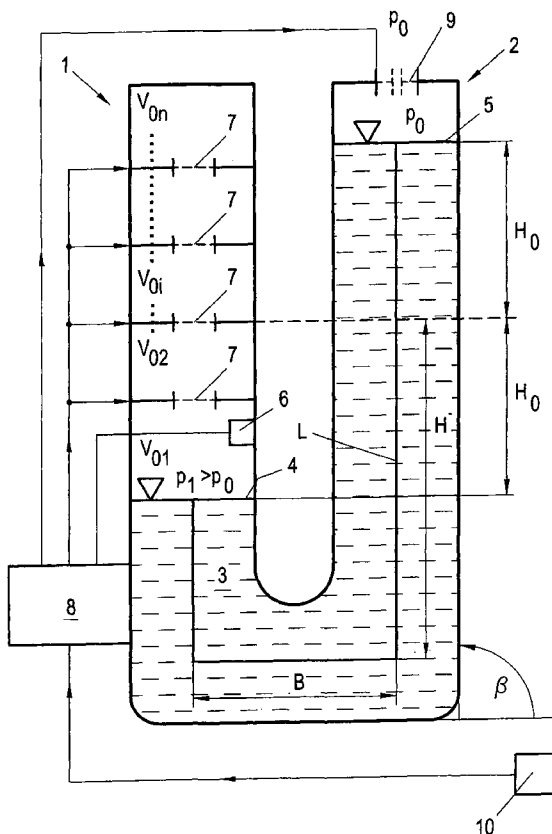


Fig. 1

(57) Abstract: In a liquid damper for reducing vertical and/or horizontal vibrations in a building or machine structure, having at least two chambers (1, 2) which are partially filled with liquid (3) and which communicate with one another at the lower ends thereof, wherein at least one chamber (1) is closed off in an air-tight fashion at the upper end thereof such that, by means of the liquid (3), a closed air chamber (V_0) is formed, and at least one other chamber (2) is at least partially open at the upper end thereof, the closed air chamber (V_0) is divided into at least two partial air chambers (V_{01} to V_{0n}), wherein one partial air chamber (V_{01}) is situated directly above the liquid (3) and one or more partial air chambers (V_{02} to V_{0n}) are connected via openings (7) to the partial air chamber (V_{01}) directly above the liquid (3) or to the respectively adjacent partial air chamber (V_{02} to V_{0n}), wherein said openings (7) can be sealingly closed off independently of one another.

(57) Zusammenfassung: Bei einem Flüssigkeitstilger zur Reduktion von vertikalen und/oder horizontalen Schwingungen an einer Bau- oder Maschinenkonstruktion mit mindestens zwei teilweise mit Flüssigkeit (3) gefüllten Kammern (1, 2), die an ihren unteren Enden miteinander kommunizieren, wobei mindestens eine Kammer (1) an ihrem oberen Ende luftdicht verschlossen ist, sodass über der Flüssigkeit (3) ein abgeschlossener Luftraum (V_0) gebildet ist und mindestens eine andere Kammer (2) an ihrem oberen Ende zumindest teilweise offen ist, ist der abgeschlossene Luftraum (V_0) in mindestens zwei Luftteilräume (V_{01} bis V_{0n}) unterteilt, wobei ein Luftteilraum (V_{01}) unmittelbar über der Flüssigkeit (3) liegt und ein oder mehrere Luftteilräume (V_{02} bis V_{0n}) über Öffnungen (7) mit dem Luftteilraum (V_{01})

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/043547 A1



MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,

BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

5

Flüssigkeitstilger zur Reduktion von vertikalen und/oder horizontalen Schwingungen an einer Bau- oder Maschinenkonstruktion

10

Die Erfindung betrifft einen Flüssigkeitstilger zur Reduktion von vertikalen und/oder horizontalen Schwingungen an einer Bau- oder Maschinenkonstruktion mit mindestens zwei teilweise mit Flüssigkeit gefüllten Kammern, die an ihren unteren Enden miteinander kommunizieren, wobei mindestens eine Kammer an ihrem oberen Ende luftdicht verschlossen ist, sodass über der Flüssigkeit ein abgeschlossener Luftraum gebildet ist und mindestens eine andere Kammer an ihrem oberen Ende zumindest teilweise offen ist.

15

Stand der Technik

20

Der Einsatz von Masse-Feder-Dämpfer-Tilgern, wie von Petersen, C., (2001). Schwingungsdämpfer im Ingenieurbau. 1. Auflage, Herausgeber: Maurer Söhne GmbH&Co.KG, München, ISBN 3-00-008059-7 ausführlich beschrieben, ist Stand der Technik und wird zur Reduktion von vertikalen Schwingungen an Bau- und Maschinenbaukonstruktionen erfolgreich eingesetzt. Zur Dämpfung von horizontalen Schwingungen werden sogenannte Pendel-Tilger eingesetzt. Das Prinzip dieser beiden Tilgerarten basiert auf der optimalen Abstimmung der Entwurfsparameter (Eigenfrequenz und Dämpfung) auf eine ausgewählte Eigenfrequenz der betrachteten schwingungsanfälligen Struktur. Eine nachträgliche Veränderung der optimalen Entwurfsparameter ist nur mit erheblichem Aufwand, z.B. durch Austausch von Federelementen und/oder Veränderung der schwingenden Masse, möglich.

30

Als Alternative zum Masse-Feder-Dämpfer-Tilger existieren sogenannte Flüssigkeitstilger, die aus einem teilweise mit Flüssigkeit gefüllten U-förmigen Rohrsystem bestehen. Erste theoretische Untersuchungen der Flüssigkeitstilger wurden für horizontale und vertikale Schwingungen von Sun et al. (Sun, L.M., Fujino,

35

Y., Koga, K., (1995). A Model Of Tuned Liquid Dampers For Suppressing Pitching Motions Of Structures. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 24, p. 625-636; und Sun, L.M., Nakaoka, T., et al., (1990). Tuned liquid damper for suppressing vertical vibration. In: Proc. 45th JSCE annual meeting, Vol.1, p. 978-979
5 (in Japanese)). durchgeführt. Eine umfassende Untersuchung von Flüssigkeitstilgern zur Reduzierung von horizontalen Brückenschwingungen wurde von Reiterer und Ziegler (Reiterer, M., Ziegler, F., (2006). Control of Pedestrian-Induced Vibrations of Long Span Bridges. Journal of Structural Control & Health Monitoring. John Wiley & Sons, Ltd. ISSN 1545-2255, Vol. 13, No. 6, p. 1003-1027) durchgeführt.

10

Die folgenden Patente liegen in Bezug auf Flüssigkeitstilger vor:

D1: JP 10220522 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 21. August 1998

D2: AT 201870 B1 (TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN) 15. August 2007

15

D3: JP 9151986 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 10. Juni 1997

D4: JP 5248491 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 24. September 1993

Die Druckschrift D1 beschreibt eine Vorrichtung zur Schwingungsdämpfung, mit einem U-förmigen Tank, der im unteren Bereich mit einer Flüssigkeit gefüllt ist und
20 über der Flüssigkeit jeweils nur einen einzelnen Gasraum (links- oder rechtsseitig) besitzt, deren Druck unter Energieaufwand über Ein-/Auslassventile gesteuert wird.

Die Druckschrift D2 beschreibt einen Flüssigkeitstilger mit zwei Kammern, die beide gegenüber der Umgebung gasdicht verschlossen sind oder von denen zumindest
25 eine symmetrisch zur Hochachse des Flüssigkeitstilgers, vorzugsweise symmetrisch zur Hochachse der ersten Kammer ausgeführt ist. Diese Druckschrift offenbart ferner eine Anpassung des gewünschten Tilgungsverhaltens durch gesteuerte Zu- und Abfuhr von Gas in mindestens einen der Gasräume, was jedoch von Seiten des Energiebedarfs für die Steuerung und für das Zu- und Abführen von Gas praktische
30 Schwierigkeiten macht.

Die Druckschrift D3 beschreibt ein rein passives System mit jeweils einer über der links- und rechtsseitigen Flüssigkeitsoberfläche gelegenen Luftkammer. Aus der Druckschrift D3 ist weiters eine Kammer bekannt, bei der an dem nach oben offenen
35 Ende ein in seiner Durchtrittsfläche veränderbarer Austritt angeordnet ist.

Die Druckschrift D4 beschreibt ebenfalls ein rein passives System, wo die über der Flüssigkeit angeordneten Kammern nach oben hin über ein Ventil dicht abgeschlossen sind. Die Ventile führen direkt ins Freie und dienen vermutlich dem
5 Druckausgleich bei Temperaturänderungen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es einen Flüssigkeitstilger zu schaffen, der mit geringem Energieaufwand ein unproblematisches Anpassen des Tilgungsverhaltens an die zu erwartende Belastung einer Bau- oder
10 Maschinenbaukonstruktion erlaubt.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass bei dem eingangs genannten Flüssigkeitstilger nur eine der beiden Kammern luftdicht verschlossen wird und die zweite Kammer eine Luftaustrittsöffnung nach oben hin aufweist. Der
15 abgeschlossene Luftraum ist in mindestens zwei Luftteilräume unterteilt, wobei ein Luftteilraum unmittelbar über der Flüssigkeit liegt und ein oder mehrere Luftteilräume über Öffnungen mit dem Luftteilraum unmittelbar über der Flüssigkeit oder mit dem jeweils benachbarten Luftteilraum verbunden sind, wobei diese Öffnungen unabhängig von einander dichtend verschließbar sind.

20 Dabei können die Luftteilräume der dicht verschlossenen Kammer in Serie übereinander oder parallel nebeneinander liegen und können als Rechteck- oder Rundrohrkammern ausgeführt sein.

25 Durch Öffnen und Schließen der Öffnungen kann das Gesamtvolumen von dem unmittelbar über der Flüssigkeit befindlichen Luftteilraum und von mit diesem kommunizierenden Luftteilräumen verändert werden und damit die Eigenfrequenz des Flüssigkeitstilgers verändert werden.

30 Im Gegensatz zum Stand der Technik arbeitet die vorliegende Erfindung ohne das gesteuerte Zu- und Abführen von Gas. Die Tilgerfrequenz wird mit wesentlich geringerem Energieaufwand über die passend gewählte Größe des über der Flüssigkeit gelegenen Gesamtvolumens (Summe der parallel oder seriell geschalteten offenen Luftkammern) eingestellt. Die optimale Tilgerdämpfung wird bei

der vorliegenden Erfindung über passende Wahl der in seiner Durchtrittsfläche adaptiv veränderbaren Luftaustrittsöffnung eingestellt.

In die Öffnungen sind vorzugsweise über eine Steuerung, z.B. über einen
5 Microcontroller ansteuerbare Ventile eingebaut.

Vorzugsweise weist die Kammer mit dem oben offenen Ende einen in seiner Durchtrittsfläche veränderbaren Austritt auf, der vorzugsweise eine über eine Steuerung, wie den oben genannten Microcontroller, ansteuerbare Drosseleinrichtung
10 ist. Durch Veränderung der Durchtrittsfläche kann eine Dämpfungsanpassung an die Belastung erfolgen.

Zur Verstärkung der Dämpfungswirkung ist die Anwendung von Flüssigkeiten mit einer Dichte $\rho > 1000 \text{ kg/m}^3$ vorteilhaft. Hierbei werden insbesondere flüssige
15 Medien mit einer Dichte von $\rho = 1000 - 5000 \text{ kg/m}^3$ (z.B. Betonit $\rho = \text{ca. } 2300 \text{ kg/m}^3$) vorgesehen.

Beim Einsatz des erfindungsgemäßen Flüssigkeitstilgers wird die Eigenfrequenz der Bau- und Maschinenkonstruktion unter einer bevorstehenden Belastung berechnet,
20 die dazu optimale Eigenfrequenz des Flüssigkeitstilgers ermittelt und das Gesamtvolumen von dem unmittelbar über der Flüssigkeit befindlichen Luftteilraum und den mit diesem kommunizierenden Luftteilräumen an das aus der optimalen Eigenfrequenz resultierende optimale Volumen möglichst gut angenähert, indem Öffnungen zwischen den Luftteilräumen, vorzugsweise über von einer Steuerung
25 gesteuerte Ventile, geöffnet und/oder geschlossen werden.

Ferner wird vorzugsweise die optimale Dämpfung unter einer bevorstehenden Belastung berechnet und die Fläche des Austritts der zumindest teilweise offenen Kammer für die optimale Dämpfung, vorzugsweise über eine von einer Steuerung
30 gesteuerten Drosseleinrichtung, eingestellt. Die Daten für die Anpassung der Fläche des Austritts an die optimale Dämpfung für verschiedene Belastungen können vorab experimentell für jeden Flüssigkeitstilger bestimmt werden.

Als Basis für die Berechnung der Eigenfrequenz und der optimalen Dämpfung der Bau- oder Maschinenkonstruktion unter einer bevorstehenden Belastung wird vorteilhafterweise das Gewicht der belastenden Elemente, insbesondere über eine dynamische Waage, bestimmt.

5

Nunmehr soll die Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnungen verdeutlicht werden, in denen Fig.1 einen Flüssigkeitstilger für vertikale Schwingungen, Fig.2 einen Flüssigkeitstilger für horizontale Schwingungen und Fig.3 einen Flüssigkeitstilger für horizontale und vertikale Schwingungen zeigt, und in denen die Figuren 4 und 5 zwei mögliche Ausführungen des luftdicht geschlossenen Endes erfindungsgemäßer Flüssigkeitstilger und die Figuren 6 bis 9 Querschnitte durch mögliche Ausführungen des luftdicht geschlossenen Endes erfindungsgemäßer Flüssigkeitstilger zeigen, und in denen schließlich Fig.10 den Querschnitt durch eine Brückenkonstruktion mit darin angebrachten Flüssigkeitstilgern zeigt.

15

Die Bauweise des Flüssigkeitstilgers zur Dämpfung von horizontalen und/oder vertikalen Schwingungen zeichnet sich durch die über einen Microcontroller gesteuerte optimale Eigenfrequenz- und Dämpfungsanpassung aus. Der Flüssigkeitstilger besteht aus einem teilweise mit Flüssigkeit der Dichte ρ gefüllten Rohrsystem mit dem Querschnitt A von beliebiger Form. Prinzipiell werden in der Erfindungsbeschreibung die folgenden drei Arten von Flüssigkeitstilger unterschieden:

20

- Vertikal – Flüssigkeitstilger (Fig.1)
- Horizontal – Flüssigkeitstilger (Fig.2)
- Kombiniertes Horizontal - und Vertikal – Flüssigkeitstilger (Fig.3)

25

Vertikal – Flüssigkeitstilger (Fig.1)

Der Vertikal-Flüssigkeitstilger wird zur Dämpfung von vorzugsweise vertikalen Strukturschwingungen eingesetzt. Das teilweise mit Flüssigkeit 3 gefüllte Rohrsystem besteht aus einem luftdicht verschlossenen Rohrteil 1, wobei der Luftraum mit dem Volumen V_0 oberhalb des Flüssigkeitsspiegels in Luftteilräume mit Teilvolumina V_{01} bis V_{0n} unterteilt ist. Im luftdicht verschlossenen Rohrteil 1 wird der Überdruck $p_1 = p_0 + 2\rho gH_0$ aufgeprägt, wobei p_0 der Atmosphärendruck ist und $2H_0$ das Maß ist, um das der Flüssigkeitsspiegel 4 im geschlossenen Rohrteil 1 gegenüber

30

dem Flüssigkeitsspiegel 5 im offenen Rohrteil 2 versetzt ist. Die zeitliche Änderung des Überdruckes wird mit Hilfe eines Drucksensors 6 überwacht. Damit ist auch die Ermittlung der statischen und dynamischen Flüssigkeitsspiegelschwankungen möglich.

5

Die Anordnung der Luftteilräume ist sowohl in Serien- (Fig.4) als auch in Parallelschaltung (Fig.5) möglich, wobei Rechtecks- (Fig.6 und Fig.7) und Rundrohrkammern (Fig.8 und Fig.9) ausgeführt werden können. Im Falle der Serienschaltung ist eine Kammer mit der nächst folgenden über ein offenbares Ventil

10

7 verbunden. Bei der Parallelschaltung sind die Kammern nebeneinander angeordnet. Das Öffnen und Schließen der Kammern wird über einen Microcontroller 8 aktiv gesteuert. Die Anzahl der geöffneten Kammern und damit das aktuell vorhandene Luftvolumen V werden in Abhängigkeit von der gewünschten

Eigenfrequenz (=erster Entwurfparameter) des Flüssigkeitstilgers optimal eingestellt.

15

Der Zusammenhang zwischen Öffnungsgröße der Drossel und der daraus resultierenden Flüssigkeitsdämpfung wurde von Fried, E., Idelchik, I.E., (1989). Flow Resistance: a Design Guide for Engineers, Hemisphere, New York., für strömende Medien experimentell untersucht und tabellarisch gelistet.

20

Der zweite Rohrteil 2 des Vertikal-Flüssigkeitstilgers wird teilweise offen ausgeführt. Hier ist der Flüssigkeitsspiegel 5 um das Maß $2H_0$ gegenüber dem geschlossenen Rohrteil 1 in vertikaler Richtung versetzt. Oberhalb des Flüssigkeitsspiegels 5 befindet sich ein Luftvolumen das den natürlichen Atmosphärendruck p_0 aufgeprägt hat. Bei Bewegung der Flüssigkeitssäule kann die Luft über eine variable Drosseleinrichtung nach oben hinausströmen. Die aktuelle Größe der Drosselöffnung 9, wird über einen Microcontroller 8 in Abhängigkeit von der gewünschten Flüssigkeitsdämpfung (=zweiter Entwurfparameter) optimal eingestellt.

25

Der Microcontroller 8 des Vertikal-Flüssigkeitstilger wird an eine dynamische Waage

30

10 und/oder an ein beliebiges System zur Gewichtsbestimmung (z.B. Weigh-In-Motion-System) gekoppelt. In Abhängigkeit von den unterschiedlichen dynamischen Belastungszuständen der zu bedämpfenden Struktur (unbelastet, teilweise belastet, vollbelastet) wird über einen Beschleunigungssensor die Änderung der Eigenfrequenz und damit die Größe der Zusatzlast bestimmt. Das Weigh-In-Motion-

System wird z.B. vor Brücken angeordnet und erlaubt die Ermittlung von Achslasten und damit die Vorausberechnung der geänderten Brückeneigenfrequenz. Die Ermittlung des aktuellen Gewichts über die dynamische Waage 10 und Weitergabe der Information an den Microcontroller 8 erlaubt die Berechnung der optimalen
 5 Eigenfrequenz und Dämpfung des Flüssigkeitstilgers. Die optimale Eigenfrequenz und Dämpfung wird dann über passende Wahl der geöffneten Luftteilraumanzahl und über die Öffnungsweite der Drosseleinrichtung 9 eingestellt.

Die lineare Eigenfrequenz des Vertikal-Flüssigkeitstilgers ergibt sich durch
 10 Anwendung der instationären Bernoulligleichung im bewegten Bezugssystem entlang einer relativen inkompressiblen Stromline,

$$f_A = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{L} \left[\sin \beta + \frac{n h_0}{2H_a} \left(1 + \frac{2H_0}{h_0} \right) \right]}, \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2, \quad h_0 \cong 10 \text{ m}, \quad (1)$$

15 wo $h_0 = p_0 / \rho g$ die dem Atmosphärendruck p_0 äquivalente Flüssigkeitssäule und $1 \leq n \leq 1,4$ den Exponent der linearisiert eingesetzten polytropen Gaskompression bezeichnen. Die Gesamtlänge des Flüssigkeitsfadens und der Neigungswinkel der vertikalen Rohrteile werden mit L und β bezeichnet. Die fiktive Höhe der sich im luftdicht verschlossenen Rohrteil einstellenden Luftfeder $H_a = \sum V_{0i} / A$ ist der
 20 wesentliche Einflussparameter auf die Eigenfrequenz des Vertikal-Flüssigkeitstilgers. Die aktive Steuerung der Eigenfrequenz erfolgt durch Aktivierung einer optimalen Anzahl von in Serie oder parallel geschalteten Luftteilräumen über offenbare Ventile 7.

Der zweite wesentliche Entwurfparameter des Vertikal-Flüssigkeitstilgers ist die
 25 Flüssigkeitsdämpfung. Diese wird mit dem linearisierten Lehr'schen Dämpfungsmaß ζ_A definiert. Die aktive Regelung der Flüssigkeitsdämpfung auf den optimalen Wert erfolgt ebenfalls mit Hilfe des Microcontrollers 8 über eine Drosseleinrichtung 9. Die dem linearisierten Dämpfungsmaß ζ_A zugehörige Größe der Drosselöffnung kann vorab experimentell für jeden Flüssigkeitstilger bestimmt werden.

30 Die Effektivität des Vertikal-Flüssigkeitstilgers wird über den Geometriefaktor $\kappa_V = 2H_0 \sin \beta / L$ definiert. Eine möglichst große Anfangsauslenkung H_0 in

statischer Ruhelage sowie $\beta = \pi/2$ ist daher von Vorteil. Die aktive Masse des Vertikal-Flüssigkeitstilgers ist mit $m_A = \kappa_V m_f$ definiert, wobei $m_f = \rho A L$.

Horizontal – Flüssigkeitstilger (Fig.2)

5 Der Horizontal-Flüssigkeitstilger wird zur Dämpfung von vorzugsweise horizontalen Strukturschwingungen eingesetzt. Das teilweise mit Flüssigkeit 3 gefüllte Rohrsystem besteht aus einem luftdicht verschlossenen Rohrteil 1, wobei der Luftraum mit dem Volumen V_0 oberhalb des Flüssigkeitsspiegels in Luftteilräume mit den Teilvolumina V_{01} bis V_{0n} unterteilt wird. In der statischen Ruhelage der Flüssigkeitsspiegel 11 ist
10 beidseitig der natürliche Atmosphärendruck p_0 aufgeprägt, d.h. es wirkt kein Überdruck. Der innerhalb des luftdicht verschlossenen Rohrteils 1 angebrachte Drucksensor 6 liefert den Wert der Druckänderung bei Einsetzen der Flüssigkeitsschwingungen. Die restlichen Details zur Ausführung und Steuerung des Horizontal-Flüssigkeitstilgers sind analog zum Vertikal-Flüssigkeitstilger.

15

Die lineare Eigenfrequenz des Horizontal-Flüssigkeitstilgers ergibt sich durch Anwendung der instationären Bernoulligleichung im bewegten Bezugssystem entlang einer relativen inkompressiblen Stromline,

$$20 \quad f_A = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{L} \left[\sin \beta + \frac{nh_0}{2H_a} \right]}, \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2, \quad h_0 \cong 10 \text{ m}, \quad (2)$$

wo $h_0 = p_0 / \rho g$ die dem Atmosphärendruck p_0 äquivalente Flüssigkeitssäule und $1 \leq n \leq 1,4$ den Exponent der linearisiert eingesetzten polytropen Luftkompression bezeichnen. Die Gesamtlänge des Flüssigkeitsfadens und der Neigungswinkel der
25 vertikalen Rohrteile werden mit L und β bezeichnet. Die fiktive Höhe der der sich im luftdicht verschlossenen Rohrteil einstellenden Luftfeder $H_a = \sum V_{0i} / A$ ist der wesentliche Einflußparameter auf die Eigenfrequenz des Vertikal-Flüssigkeitstilgers.

Die Effektivität des Horizontal-Flüssigkeitstilgers wird über den Geometriefaktor
30 $\kappa_H = (B + 2H \cos \beta) / L$ definiert. Eine möglichst große horizontale Länge B in

statischer Ruhelage ist daher von Vorteil. Die aktive Masse des Horizontal-Flüssigkeitstilgers ist mit $m_A = \kappa_H m_f$ definiert.

5 **Kombinierter Vertikal – und Horizontal – Flüssigkeitstilger (Fig.3)**

Der kombinierte Vertikal– und Horizontal–Flüssigkeitstilger wird zur Dämpfung von vertikalen und/oder horizontalen Strukturschwingungen eingesetzt. Prinzipiell handelt es sich hierbei um eine Kombination der beiden o.a. Flüssigkeitstilger, wo die Geometrie so gewählt wird, dass eine möglichst optimale Dämpfung von vertikalen und/oder horizontalen Schwingungen möglich ist. Die lineare Eigenfrequenz und Ausführung ist analog zum Vertikal-Flüssigkeitstilger, wobei der horizontale Rohrteil verlängert wird. Die großen Vorteile dieses Flüssigkeitstilgers sind:

- Bei Auftreten von gekoppelten Vertikal- und Horizontalschwingungen kann mit einem einzigen Flüssigkeitstilger die gekoppelte Schwingung optimal gedämpft werden.
- In Abhängigkeit von der Belastung (Krafrichtung und Erregerfrequenz) können kritische Eigenfrequenzen mit zugehörigen Schwingungsformen in vertikaler oder horizontaler Richtung angeregt werden. Durch passende Wahl der Anzahl an geöffneten Luftteilräumen kann die Eigenfrequenz des Flüssigkeitstilgers optimal auf die vertikale oder horizontale Schwingung abgestimmt werden.

Die Effektivität des kombinierten Vertikal- und Horizontal-Flüssigkeitstilgers wird über die Geometriefaktoren $\kappa_V = 2H_0 \sin \beta / L$ und $\kappa_H = (B + 2H \cos \beta) / L$ definiert. Es besteht die Möglichkeit dominante Schwingungen in eine bestimmte Richtung mit höherer Effektivität zu gewichten.

Optimale Abstimmung der Flüssigkeitstilger

Die optimale Abstimmung des Flüssigkeitstilgers erfolgt in Analogie zum konventionellen Masse-Feder-Dämpfer Tilger, wie von Reiterer (Reiterer, M., Ziegler, F., (2006). Control of Pedestrian-Induced Vibrations of Long Span Bridges. Journal of Structural Control & Health Monitoring. John Wiley & Sons, Ltd. ISSN 1545-2255, Vol. 13, No. 6, p. 1003-1027) gezeigt. Die optimalen Entwurfparameter für den Masse-Feder-Dämpfer-Tilger wurden erstmalig von Den Hartog (Den Hartog, J.P., (1936). Mechanische Schwingungen. Verlag von Julius Springer, Berlin) vorgelegt,

f_S^* und M^* bezeichnen die lineare Eigenfrequenz und die modale Masse der Struktur,

$$\delta_{opt}^* = \frac{f_A^*}{f_S^*} = \frac{1}{1 + \mu^*}, \quad \zeta_{A,opt}^* = \sqrt{\frac{3\mu^*}{8(1 + \mu^*)}}, \quad \mu^* = \frac{m_A^*}{M^*} \quad (3)$$

5

wo δ_{opt}^* und $\zeta_{A,opt}^*$ das optimale Frequenzverhältnis und das optimal Lehr'sche Dämpfungsmaß des äquivalenten linearen Masse-Feder-Dämpfer-Tilger definieren. Für die Berechnung der optimalen Entwurfparameter des Flüssigkeitstilgers wird das äquivalente Massenverhältnis wie folgt definiert,

10

$$\mu^* = \frac{m_A^*}{M^*} = \frac{\mu \kappa^2}{1 + \mu(1 - \kappa^2)}, \quad \mu = \frac{m_f}{M}. \quad (4)$$

Für den dimensionslosen Geometriefaktor κ sind die entsprechenden Faktoren κ_V bzw. κ_H einzusetzen. Die optimalen Entwurfparameter des Flüssigkeitstilgers sind dann wie folgt definiert,

15

$$\delta_{opt} = \frac{f_A}{f_S} = \frac{\delta_{opt}^*}{\sqrt{1 + \mu(1 - \kappa^2)}}, \quad \zeta_{A,opt} = \zeta_{A,opt}^*. \quad (5)$$

Anwendungsbeispiel Stahlbrücke

20 Als praktisches Beispiel wird eine einfeldrige Stahlbrücke mit offenem Querschnitt und einer Spannweite von $l = 30 \text{ m}$ betrachtet. Die Längsträger der Brücke bestehen aus I-Profilen mit einer Höhe von 1,2m die über Querträger miteinander verbunden sind. Die Masse pro Längeneinheit und Biegesteifigkeit der Brücke betragen $\rho A = 2670 \text{ kg}$ und $EJ = 1,1 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$. In weiterer Folge werden zwei
25 unterschiedliche dynamische Belastungszustände, z.B. zufolge Zugsüberfahrt, untersucht:

- Fall 1: Zusatzmasse pro Längeneinheit $(\rho A)_{ZUS1} = 700 \text{ kg/m}$

- Fall 2: Zusatzmasse pro Längeneinheit $(\rho A)_{ZUS2} = 2100 \text{ kg/m}$
- Fall 3: Brücke unbelastet

Der Zustand „Brücke unbelastet“ wird im Hinblick auf das Ausschwingen der Brücke, z.B. nach erfolgter Zugsüberfahrt oder Böenanstregung, untersucht. Die modalen (bewegten) Massen der Brücke betragen somit für das Einfeldsystem $M_{ZUS1} = [\rho A + (\rho A)_{ZUS1}] l / 2 = 50550 \text{ kg}$, $M_{ZUS2} = [\rho A + (\rho A)_{ZUS2}] l / 2 = 71550 \text{ kg}$ und $M = \rho A l / 2 = 40050 \text{ kg}$, (siehe Reiterer, M., (2004). Schwingungsdämpfung von Baukonstruktionen, insbesondere von Brücken. Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen, Technische Universität Wien, Institut für Allgemeine Mechanik). Aufgrund der unterschiedlichen Belastungszustände ergeben sich die Grundfrequenzen mit dominant vertikaler Schwingungsform der Brücke zu, (siehe auch Reiterer, M. (2004)).

- Fall 1: Grundfrequenz vertikal $f_{S,ZUS1} = 3,15 \text{ Hz}$
- Fall 2: Grundfrequenz vertikal $f_{S,ZUS2} = 2,65 \text{ Hz}$
- Fall 3: Grundfrequenz vertikal $f_S = 3,54 \text{ Hz}$

Zur Schwingungsdämpfung der Brücke wird ein Vertikal-Flüssigkeitstilger installiert, wobei die Gesamtmasse der Flüssigkeit mit $m_f = 800 \text{ kg}$ gewählt wird. Es werden mit einem einzigen Flüssigkeitstilger die Schwingungen aller drei verschiedenen Belastungszustände (Fall 1 bis 3) reduziert. Die Verhältnisse von Flüssigkeitsmasse zur modalen (bewegten) Brückenmasse ergeben sich in Abhängigkeit vom betrachteten dynamischen Belastungszustand entsprechend Gleichung (4) zu $\mu_{ZUS1} = 1,6\%$, $\mu_{ZUS2} = 1,2\%$ und $\mu = 2,0\%$. Die Stromfadenlänge, die vertikale Flüssigkeitsspiegelhöhendifferenz und der Neigungswinkel der vertikalen Rohrschenkel werden mit $L = 1,5 \text{ m}$, $H_0 = 0,3 \text{ m}$ und $\beta = \pi/2$ gewählt. Die Querschnittsfläche des Rohrsystems beträgt damit $A = 0,53 \text{ m}^2$. Der Geometriefaktor des Vertikal-Flüssigkeitstilgers ergibt sich zu $\kappa_V = 0,4$, (siehe oben).

Nach Festlegung der Konfiguration des Vertikal-Flüssigkeitstilgers können durch Auswerten der Gleichungen (4), (3) und (5) die optimalen Entwurfparameter des Flüssigkeitstilgers in Abhängigkeit vom jeweiligen dynamischen Belastungszustand berechnet werden,

5

- Fall 1: $f_{A,opt,ZUS1} = 3,12 \text{ Hz}$, $\zeta_{A,opt} = 3,1\%$
- Fall 2: $f_{A,opt,ZUS2} = 2,63 \text{ Hz}$, $\zeta_{A,opt} = 2,7\%$
- Fall 3: $f_{A,opt} = 3,50 \text{ Hz}$, $\zeta_{A,opt} = 3,4\%$

10 Die für den jeweiligen Belastungszustand einzustellende fiktive Höhe der Luftfeder ergibt sich durch Umformung der Gleichung (1) mit $n = 1,2$ zu

- Fall 1: $H_{a,ZUS1} = 0,23 \text{ m}$
- Fall 2: $H_{a,ZUS2} = 0,32 \text{ m}$
- 15 • Fall 3: $H_a = 0,18 \text{ m}$

Die Gesamthöhe der Luftfeder im luftdicht verschlossenen Rohrteil wird demnach mit dem Maximalwert von 0,32m festgelegt und die weitere Unterteilung der Luftkammern erfolgt in den Stufen 0,23m und 0,18m von der Flüssigkeitsspiegeloberfläche in statischer Ruhelage aus gemessen. In Abhängigkeit vom jeweiligen dynamischen Belastungszustand kann somit die zugehörige optimale Eigenfrequenz des Flüssigkeitstilgers über Aktivierung des entsprechenden Luftvolumens eingestellt werden.

Die Einstellung der optimalen Flüssigkeitsdämpfung erfolgt über die variable Drosseleinrichtung am offenen Rohrteil. Die erforderliche Größe der Öffnung wird experimentell bestimmt.

25

Patentansprüche

1. Flüssigkeitstilger zur Reduktion von vertikalen und/oder horizontalen Schwingungen an einer Bau- oder Maschinenkonstruktion mit mindestens zwei teilweise mit Flüssigkeit gefüllten Kammern, die an ihren unteren Enden miteinander kommunizieren, wobei mindestens eine Kammer an ihrem oberen Ende luftdicht verschlossen ist, sodass über der Flüssigkeit ein abgeschlossener Luftraum gebildet ist und mindestens eine andere Kammer an ihrem oberen Ende zumindest teilweise offen ist, dadurch gekennzeichnet, dass der abgeschlossene Luftraum (V_0) in mindestens zwei Luftteilräume (V_{01} bis V_{0n}) unterteilt ist, wobei ein Luftteilraum (V_{01}) unmittelbar über der Flüssigkeit (3) liegt und ein oder mehrere Luftteilräume (V_{02} bis V_{0n}) über Öffnungen (7) mit dem Luftteilraum (V_{01}) unmittelbar über der Flüssigkeit (3) und/oder mit dem jeweils benachbarten Luftteilraum (V_{02} bis V_{0n}) verbunden sind, wobei diese Öffnungen (7) unabhängig von einander dichtend verschließbar sind.
2. Flüssigkeitstilger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Luftteilräume (V_{01} bis V_{0n}) als Rechteck- oder Rundrohrkammern ausgeführt sind.
3. Flüssigkeitstilger nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in die Öffnungen (7) über eine Steuerung (8) ansteuerbare Ventile eingebaut sind.
4. Flüssigkeitstilger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kammer (2) mit dem oben offenen Ende in an sich bekannter Weise einen in seiner Durchtrittsfläche veränderbaren Austritt (9) aufweist.
5. Flüssigkeitstilger nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der in seiner Durchtrittsfläche veränderbarer Austritt (9) eine über eine Steuerung (8) ansteuerbare Drosseleinrichtung ist.

6. Flüssigkeitstilger nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die im Flüssigkeitstilger enthaltene Flüssigkeit eine Dichte $\rho > 1000 \text{ kg/m}^3$, vorzugsweise eine Dichte von $\rho = 1000 - 5000 \text{ kg/m}^3$ hat.

5

10

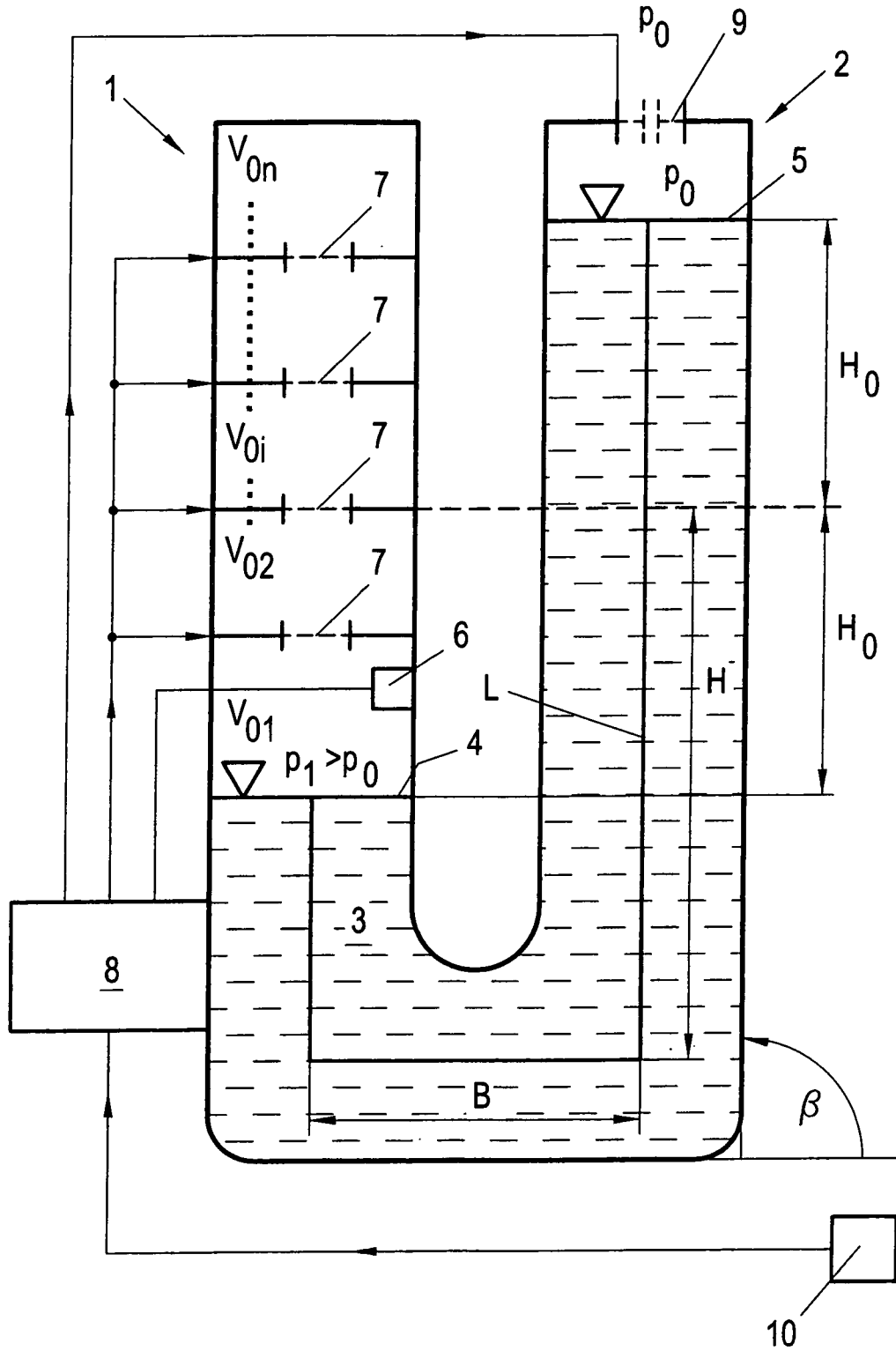


Fig. 1

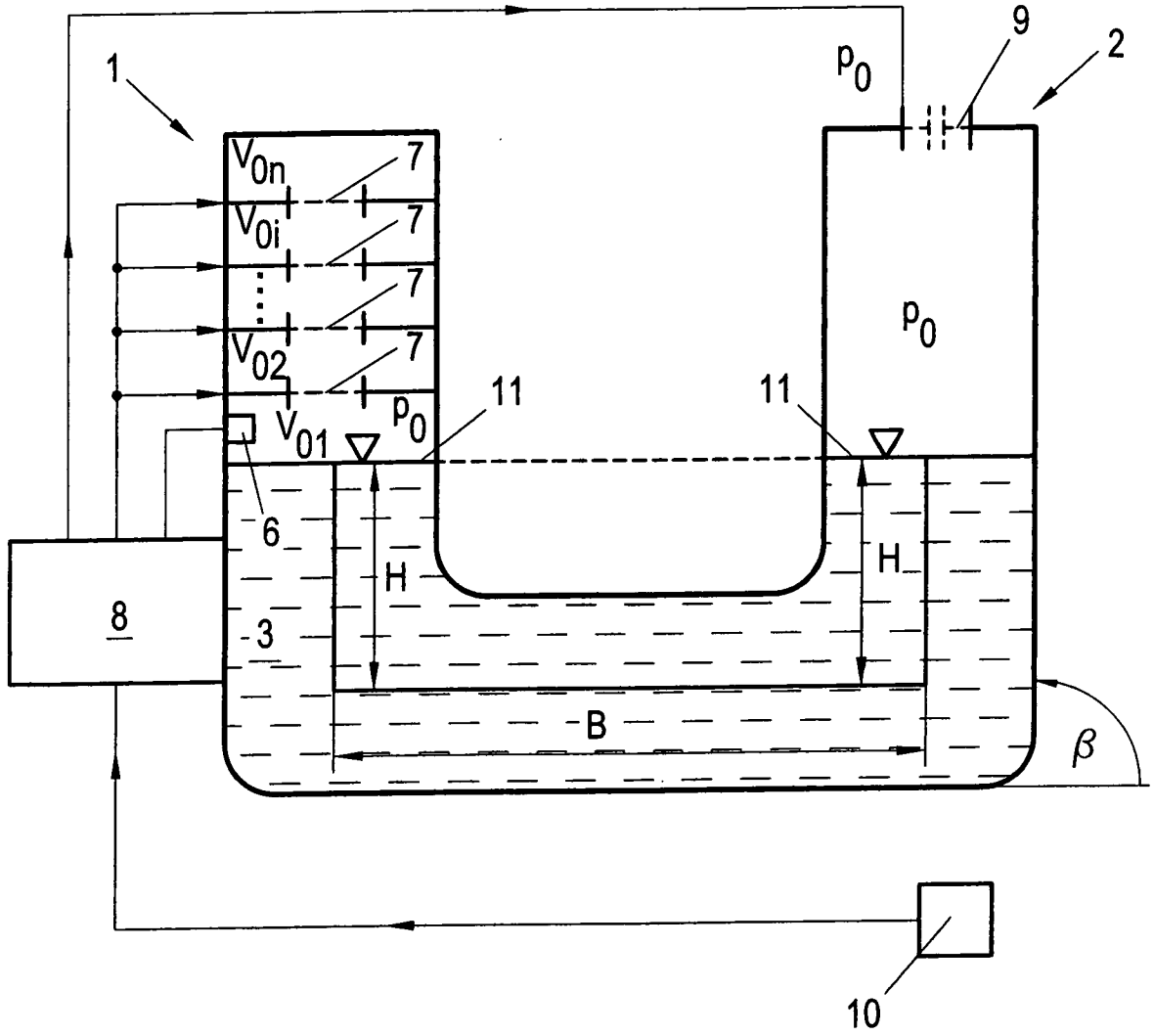


Fig. 2

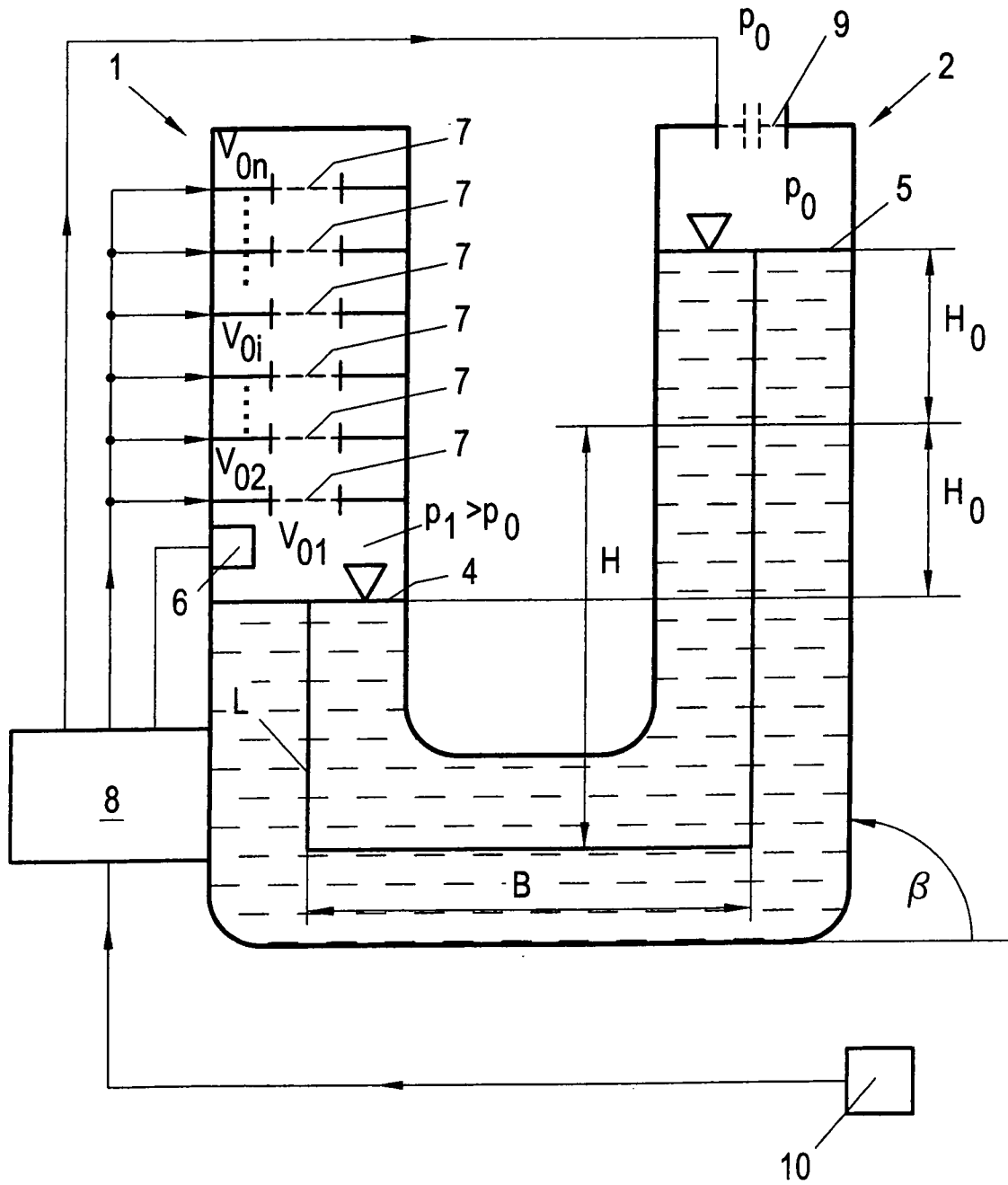


Fig. 3

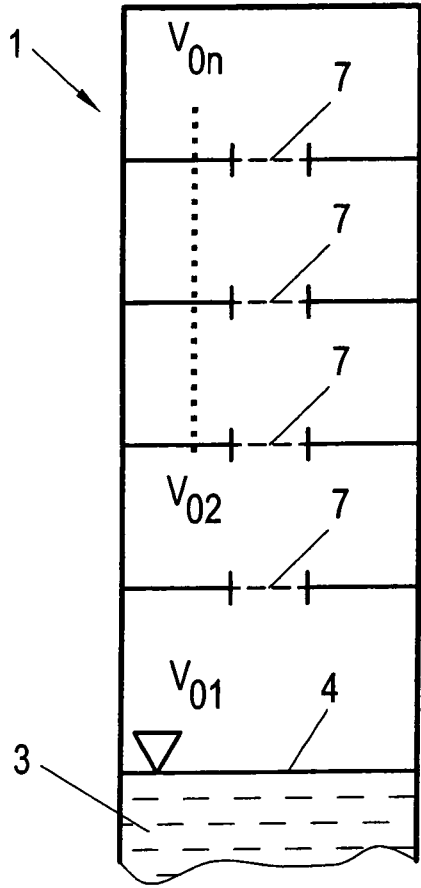


Fig. 4

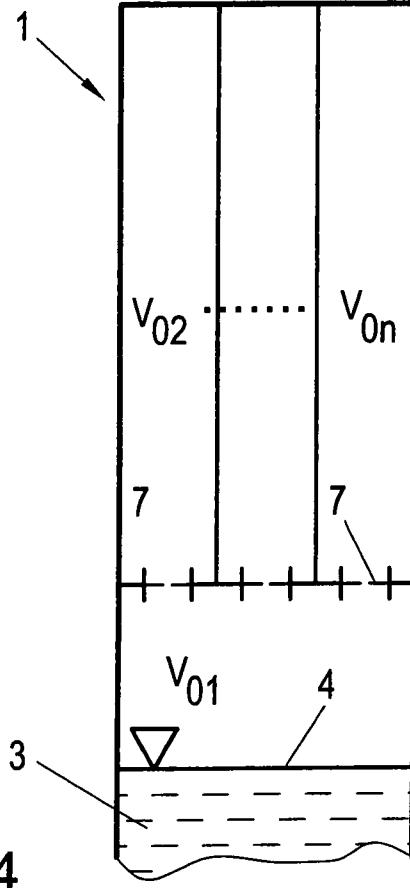


Fig. 5

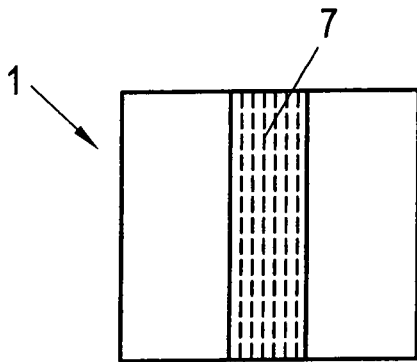


Fig. 6

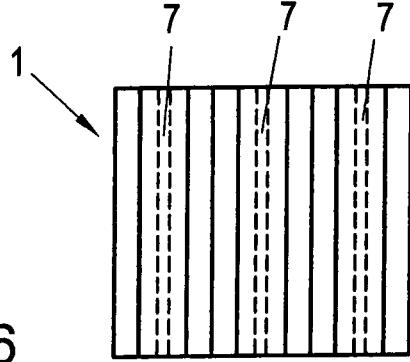


Fig. 7

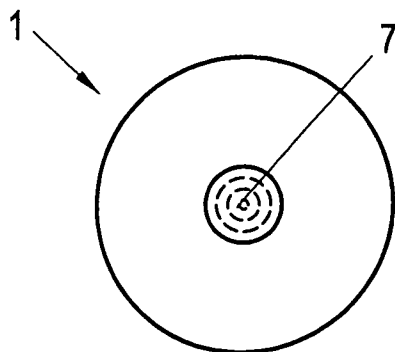


Fig. 8

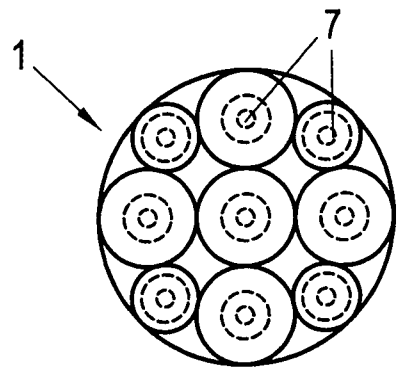


Fig. 9

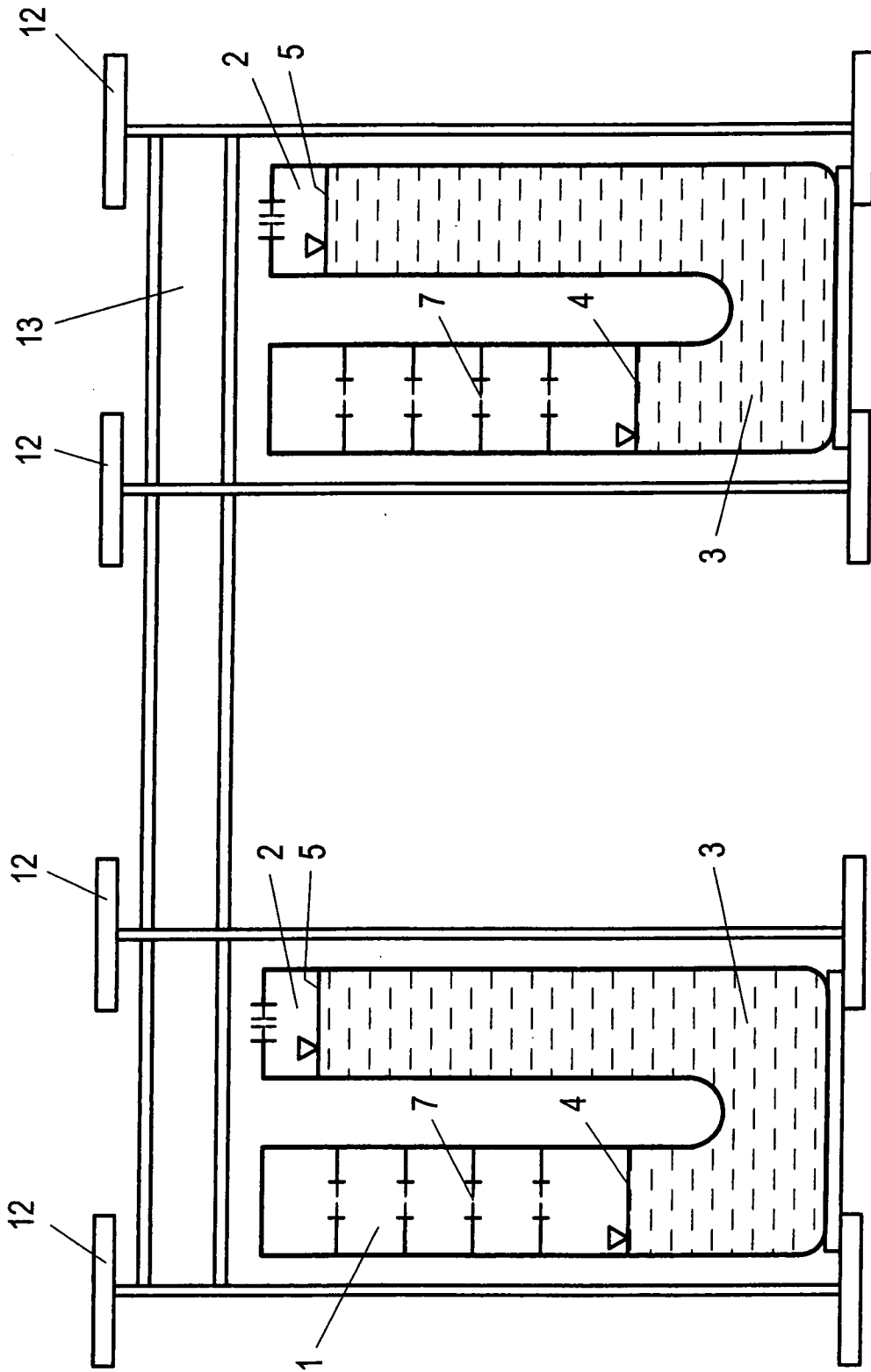


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/008207A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F16F7/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F16F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 02 278033 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 14 November 1990 (1990-11-14) the whole document	1-6
Y	JP 2000 018322 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 18 January 2000 (2000-01-18) the whole document	1-6
Y	JP 09 151986 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 10 June 1997 (1997-06-10) cited in the application the whole document	4,5
A	FR 2 197 434 A (ATLANTIQUE CHANTIERS [FR]) 22 March 1974 (1974-03-22) the whole document	1
	-/--	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 Januar 2009

Date of mailing of the international search report

29/01/2009

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pirog, Pawel

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/008207

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10 073144 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 17 March 1998 (1998-03-17) the whole document -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2008/008207

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2278033	A	14-11-1990	JP 2074867 C JP 7113393 B	25-07-1996 06-12-1995
JP 2000018322	A	18-01-2000	NONE	
JP 9151986	A	10-06-1997	NONE	
FR 2197434	A	22-03-1974	GB 1442217 A JP 970084 C JP 49058282 A JP 54001865 B	14-07-1976 31-08-1979 06-06-1974 30-01-1979
JP 10073144	A	17-03-1998	JP 3564238 B2	08-09-2004

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F16F7/10

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTER GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F16F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	JP 02 278033 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 14. November 1990 (1990-11-14) das ganze Dokument	1-6
Y	JP 2000 018322 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 18. Januar 2000 (2000-01-18) das ganze Dokument	1-6
Y	JP 09 151986 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 10. Juni 1997 (1997-06-10) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	4,5
A	FR 2 197 434 A (ATLANTIQUE CHANTIERS [FR]) 22. März 1974 (1974-03-22) das ganze Dokument	1
	-/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie, ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. Januar 2009

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

29/01/2009

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Pirog, Pawel

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	JP 10 073144 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 17. März 1998 (1998-03-17) das ganze Dokument -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/008207

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2278033	A	14-11-1990	JP 2074867 C JP 7113393 B	25-07-1996 06-12-1995
JP 2000018322	A	18-01-2000	KEINE	
JP 9151986	A	10-06-1997	KEINE	
FR 2197434	A	22-03-1974	GB 1442217 A JP 970084 C JP 49058282 A JP 54001865 B	14-07-1976 31-08-1979 06-06-1974 30-01-1979
JP 10073144	A	17-03-1998	JP 3564238 B2	08-09-2004