

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

304 949

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

F15B 21/06 (2006.01)
F16K 31/06 (2006.01)
F16K 99/00 (2006.01)
G05D 7/00 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2013-1026**
(22) Přihlášeno: **18.12.2013**
(40) Zveřejněno: **04.02.2015**
(Věstník č. 5/2015)
(47) Uděleno: **29.12.2014**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **04.02.2015**
(Věstník č. 5/2015)

(56) Relevantní dokumenty:

CN 103062146; CN 202612241U; DE 102009050848; CN 201166029Y; CN 202280914U; CN 201202709Y.

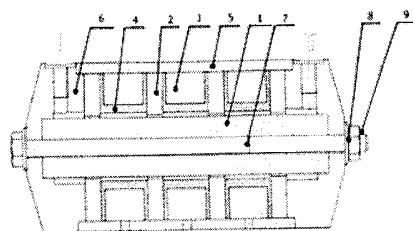
(73) Majitel patentu:
Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ

(72) Původce:
doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc., Brno, CZ
Ing. Jakub Roupec, Ph.D., Brno, CZ
Ing. Zbyněk Strecker, Jankovice, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Libor Markes, Grohova 54, 602 00 Brno

(54) Název vynálezu:
Magnetoreologický ventil

(57) Anotace:
Magnetoreologický ventil obsahující alespoň jednu napájenou indukční cívku vsazenou do magneticky vodivého tělesa tvořícího magnetický obvod má alespoň část magnetického obvodu vytvořenu z kompozitního materiálu, jehož elektrická rezistivita je větší než $10^{-4} \Omega m$, přičemž jeho relativní permeabilita v porovnání s permeabilitou vakua je v rozmezí frekvencí do 10 kHz, v rozmezí magnetické indukce 100 až 400 mT a za teploty od 0 do 100 °C větší než 500.



CZ 304949 B6

Magnetoreologický ventil

Oblast techniky

5

Vynález se týká magnetoreologického ventilu obsahujícího alespoň jednu napájenou indukční cívku vsazenou do magneticky vodivého tělesa tvořícího magnetický obvod.

10

Dosavadní stav techniky

V regulovaných hydraulických systémech se používají elektromagnetické ventily, které pomocí ovládacího proudu v řídicích cívkách proporcionálně regulují průtok kapaliny ventilem. Tyto ventily jsou, zejména u složitých a rychlých hydraulických systémů, velmi nákladné.

15

Po uvedení magnetoreologických kapalin na světové trhy přibyla další efektivní cesta pro konstrukci řízených hydraulických systémů. Magnetoreologická (MR) kapalina je vysoce koncentrovaná suspenze velmi malých částic magneticky měkkého železa v hydraulickém oleji. Magnetoreologický efekt nastává v MR kapalině po jejím vystavení magnetickému poli. Vlivem působení homogenního magnetického pole se původně rovnoměrně rozptýlené mikročástice stanou magnetickými dipóly a začnou se shlukovat do řetězců ve směru siločar magnetického pole. Tento jev se také projeví změnou některých fyzikálních vlastností kapaliny, jako je zdánlivá viskozita nebo mez tečení. Kapalina se pak chová jako viskózní plastická látka.

20

Když přestane magnetická síla působit, proces se obrátí a částice se opět v kapalině volně rozptýlí, a ta získá původní vlastnosti. Tímto způsobem lze pomocí magnetického pole regulovat tzv. zdánlivou viskozitu kapaliny a tím odpor kapaliny při průtoku ventilem resp. šterbinou ventilu vystavenou magnetickému poli.

25

Aplikací popsaného magnetoreologického jevu v různých částech hydraulického systému naplněného MR kapalinou lze tedy řídit průtok stejně jako elektromagnetickými solenoidovými ventily. Náklady na konstrukci takového systému mohou být při použití MR prvků výrazně nižší, protože nevyžaduje žádné přesné mechanické díly. Velké uplatnění nacházejí aplikace MR ventilů například v řízených hydraulických tlumičích vibrací.

30

35

Většímu uplatnění tohoto řešení zatím brání velká reakční doba MR ventilů. U regulovaných systémů je přitom schopnost co nejrychlejší reakce jedním z nejdůležitějších požadavků a nejsledovanějších faktorů. Doba odezvy resp. časová konstanta je pro dynamické systémy prvního řádu definována jako čas T nutný k dosažení 63,2 % konečné hodnoty výstupní veličiny (zde síly) v ustáleném stavu v odezvě na jednotkový skok vstupní veličiny.

40

V současnosti se reakční doba běžně vyráběných MR ventilů nachází v řádu desítek až stovek ms, což brání jejich uplatnění v rychlých regulovaných systémech. Pro efektivní regulaci systému by časová konstanta ventilu neměla být větší než je 1/10 převrácené hodnoty největší regulované frekvence systému. Pokud je časová konstanta ventilu delší, regulace se stává neúčinnou.

45

Měřením doby odezvy MR ventilů, zejména u tlumičů se zabývalo mnoho výzkumných týmů. V článku vědeckého týmu Xinchunga, viz *XINCHUN, G, G. PENGFEI a O. JINGPING. Study of the response time of MR dampers. In: Proc. SPIE 7493. Weihai, China, 2009. DOI: 10.1117/12.840217*, se uvádí, že byla změřena časová odezva MR tlumiče s maximální tlumicí silou 270 kN (MR tlumič určený k tlumení seismických vibrací budov). Změřená časová odezva tlumiče byla určena v rozmezí 160 až 240 ms v závislosti na počátečním a konečném proudu a pístové rychlosti.

50

V rozsáhlém a často citovaném experimentu provedeném týmem Koo, viz KOO, J. H., F. D. GONCALVES a M. AHMADIAN. *A comprehensive analysis of the response time of MR dampers. Smart Mater. Struct.* 2006, roč. 15, č. 2. se uvádí, že byla změřena celková doba odezvy komerčně běžně dostupného tlumiče Lord Motion Master[®] určeného pro automobily, a to ve výši 20 ms k dosažení 95 % konečné hodnoty výstupní veličiny.

Časová odezva MR tlumičů se v závislosti na konstrukci MR tlumiče samotného a způsobu řízení značně liší. Příčiny časové prodlevy MR zařízení jsou popsány týmem Maase, viz MAAS, J. a D. GÚTH. *Experimental Investigation of the Transient Behavior of MR Fluids. In: ASME Conference on Smart Material, Adaptive Structures and Intelligent System. Scottsdale, Arizona, USA, ASME, 2011. ISBN 978-0-7918-5471-6.*

Jako hlavní identifikované příčiny, které se kumulativně podílejí na časové prodlevě, lze označit:

1. Časovou odezvu MR kapaliny
2. Indukčnost cívky MR tlumiče
3. Vířivé proudy v jádře

Odezva MR kapaliny je způsobena polarizací železných částic v MR kapalině a následným formováním těchto částic do řetězců, jakmile se MR kapalina ocitne v magnetickém poli. Tato časová odezva, která se pohybuje v závislosti na druhu kapaliny a způsobu měření v rozmezí cca 0,45 až 1,30 ms, je sama o sobě vyhovující i pro regulaci systémů kmitajících s vysokou frekvencí.

Druhý faktor, tj. prodlevu, kterou do systému vnáší průběh magnetické indukce, lze uspokojivě potlačit vhodným řízením zesilovače.

Zbývá tedy třetí podstatná příčina prodlevy, která se v článku Xinchunga na základě jednoduchého FEM modelu vysvětluje vířivými proudy v jádře. Teprve po časovém úseku nezbytném pro rozvoj vířivých proudů je ventil schopen plně funkce.

Výzkumný tým původce provedl simulaci tohoto jevu na běžném MR ventilu se železným jádrem. Při napájení cívky stejnosměrným napětím je v tomto případě zřejmé celkem rovnoměrné rozložení magnetické indukce. Při napájení cívky střídavým proudem o frekvenci 200 Hz (tato situace odpovídá rychlé změně proudu) je zřejmý výrazný nárůst magnetické indukce v tělese MR ventilu vlivem vířivých proudů a pokles magnetické indukce ve šterbině MR ventilu.

Vynález si klade za úkol navrhnout magnetoreologický ventil, který by podstatně zkrátí odezvu magnetoreologického systému na vstupní impulz.

Podstata vynálezu

Uvedený úkol řeší magnetoreologický ventil obsahující alespoň jednu napájenou indukční cívku vsazenou do magneticky vodivého tělesa tvořícího magnetický obvod. Jeho podstata spočívá v tom, že alespoň část magnetického obvodu ventilu je vytvořena z kompozitního materiálu, jehož elektrická rezistivita je větší než $10^{-4} \Omega\text{m}$, přičemž jeho relativní permeabilita v porovnání s permeabilitou vakua je v rozmezí frekvencí do 10 kHz, v rozmezí magnetické indukce 100 až 400 mT a za teploty od 0 do 100 °C větší než 500. Materiál s těmito vlastnostmi potlačí vířivé proudy v tělese ventilu a přitom zajistí vytvoření potřebného magnetického pole ve šterbině ventilu.

Magnetický obvod ventilu může být vytvořen ze slinutého materiálu o složení: NiZn nebo MnZn.

Magnetický obvod ventilu může být též vytvořen z feromagnetických plechů proložených dielektrikem.

- 5 Magnetoreologický ventil ve výhodném provedení je tvořen válcovým jádrem s nasazenými kotouči svírajícími mezi sebou indukční cívky, kotouče a cívky jsou obklopeny pláštěm a mezi kotouči a jádrem jsou vytvořeny štěrby pro průtok MR kapaliny, přičemž jádro, kotouče a plášť tvoří magnetický obvod ventilu.

10 Objasnění výkresu

Vynález bude dále objasněn pomocí výkresu, na němž obr. 1 představuje v řezu výhodné provedení MR ventilu podle vynálezu a na obr. 2 je detail jedné sekce ventilu s vyznačenými siločarami magnetického pole.

15

Příklady uskutečnění vynálezu

- 20 Třístupňový MR ventil podle obr. 1 je tvořen válcovým jádrem 1, na němž jsou nasazeny kotouče 2 svírající indukční cívky 3 uložené v magneticky nevodivém nosiči 4, přičemž kotouče 2 a cívky 3 jsou obklopeny vnějším trubkovým pláštěm 5. Tato sestava je stažena víky 6 prostřednictvím svorníku 7 s podložkami 8 a maticí 9. MR kapalina vstupuje do ventilu otvorem v levém víku 6 a její průtok ventilem omezují zejména štěrby mezi kotouči 2 a jádrem 1. Kapalina z ventilu vystupuje otvorem v pravém víku. Jak je zřejmé z obr. 2, magnetický obvod vytvářený cívkami 3 probíhá jádrem 1, kotouči 2 a je uzavřen pláštěm 5. Pokud je do cívek 3 ventilu vpuštěn elektrický proud, vytvoří se magnetické pole, jehož siločáry jsou naznačeny na obr. 2. Zvýšená hustota siločar protínajících štěrbinu kolmo na směr průtoku způsobí ve štěrbině nárůst zdánlivé viskozity MR kapaliny a tím ztížený průtok MR kapaliny ventilem.

- 30 Jádro 1, kotouče 2 a plášť 5 jsou zhotoveny z materiálu s vysokou magnetickou vodivostí, ale s nízkou elektrickou vodivostí. Konkrétně se jedná o Siferit N95 s těmito parametry:

Relativní permeabilita: 2300

za těchto podmínek: frekvence magnetického pole: 10 kHz, magnetická indukce:

- 35 250 mT, teplota materiálu: 20 °C

Elektrická rezistivita: 8 Ωm

- 40 Shodné a podobné vlastnosti vymezené v nároku 1 jeví řada sintrovaných materiálů o obecném složení: NiZn, MnZn a rovněž kompozitní materiály tvořené feromagnetickými niklovými magneticky měkkými plechy proloženými dielektrikem, obdobně jako jádra transformátorů.

- Pro srovnání je třeba uvést parametry materiálů doposud užívaných v MR ventilech: Elektrická rezistivita oceli činí 10^{-7} Ωm, feritu 10 Ωm, je tedy o tři řády nižší než u navrhovaných materiálů a tedy vodivost o tři řády vyšší, zatím co relativní permeabilita pro ocel se uvádí 7800 a pro ferit 1000 až 5000, přičemž relativní permeabilita u navrhovaných materiálů se i ve spodní hranici 500 jeví jako postačující.

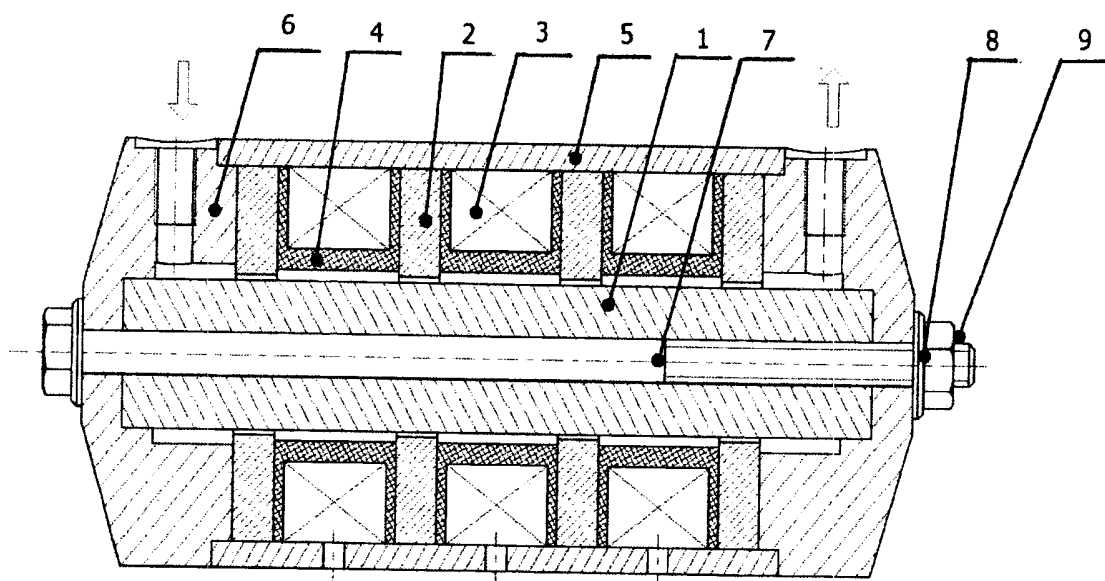
- 50 Navrhovaný MR ventil lze aplikovat samostatně do regulovaného hydraulického obvodu, nebo jako součást pístu řízeného tlumiče vibrací, což umožní semiaktivní regulaci pružícího vibroizolačního systému s frekvencí až 100 Hz.

PATENTOVÉ NÁROKY

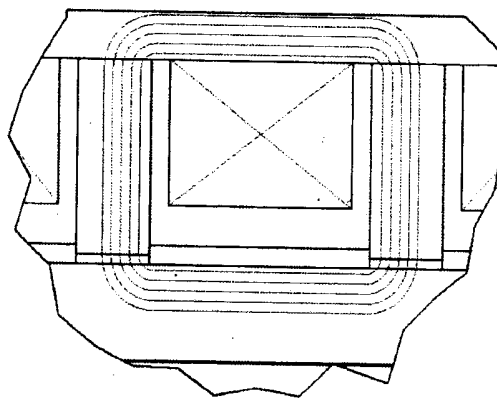
- 5 1. Magnetoreologický ventil obsahující alespoň jednu napájenou indukční cívku vsazenou do magneticky vodivého tělesa tvořícího magnetický obvod, **vyznačující se tím**, že alespoň část magnetického obvodu ventilu je vytvořena z kompozitního materiálu, jehož elektrická rezistivita je větší než $10^{-4} \Omega\text{m}$, přičemž jeho relativní permeabilita v porovnání s permeabilitou vakua je v rozmezí frekvencí do 10 kHz, v rozmezí magnetické indukce 100 až 400 mT a za teploty od 0 do 100 °C větší než 500.
- 10 2. Magnetoreologický ventil podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že jeho magnetický obvod je vytvořen ze slinutého materiálu o složení: MnZn nebo NiZn.
- 15 3. Magnetoreologický ventil podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že jeho magnetický obvod je vytvořen z feromagnetických plechů proložených dielektrikem.
- 20 4. Magnetoreologický ventil podle nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že je tvořen válcovým jádrem (1) s nasazenými kotouči (2) svírajícími mezi sebou indukční cívky (3), přičemž kotouče (2) a cívky (3) jsou obklopeny pláštěm (5) a mezi kotouči (2) a jádrem (1) jsou vytvořeny štěrby pro průtok MR kapaliny a přičemž jádro (1), kotouče (2) a plášť (5) tvoří magnetický obvod ventilu.

25

1 výkres



Obr. 1



Obr. 2

Konec dokumentu