

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

304 672

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

F16C 23/04 (2006.01)
F16C 23/10 (2006.01)
F16C 25/04 (2006.01)
F16C 17/00 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2012-506**
 (22) Přihlášeno: **24.07.2012**
 (40) Zveřejněno: **28.05.2014**
(Věstník č. 22/2014)
 (47) Uděleno: **16.07.2014**
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **27.08.2014**
(Věstník č. 35/2014)

(56) Relevantní dokumenty:
 Tůma, J. - Šimek, J. - Škuta, J. - Los, J. - Klečka, R. - Zavadil, J., Active vibration control of hydrodynamic bearings to prevent instability caused by an oil film. In 11th International Workshop on Research and Education in Mechatronics. September 9th-10st 2010, Ostrava, Czech Republic. ISBN 978-80-248-2258-7.; Tůma, J. - Šimek, J. - Škuta, J. - Los, J., Active vibration control of journal bearings with the use of piezoactuators. In: Dudas, L. (Editor) Engineering the Future. Rijeka, Croatia: Sciyo, 2010. Chapter 7, pp. 141-158..
 JP 2000205251; US 2006023985; JP 9126228; EP 1083348; KR 20110047339; CZ 2012-0461.

(73) Majitel patentu:
 Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava,
 Ostrava-Poruba, CZ

(72) Původce:
 prof. Ing. Jiří Tůma, CSc., Štramberk, CZ
 Ing. Jiří Šimek, CSc., Praha 4, CZ
 Ing. Jaromír Škuta, Ph.D., Vratimov, CZ
 prof. Ing. Antonín Víteček, CSc., Opava 1, CZ
 Ing. Jaroslav Los, Újezd u Uničova, CZ
 Ing. Jaromír Zavadil, Určice, CZ
 Vladimír Starý, Čavisov, CZ

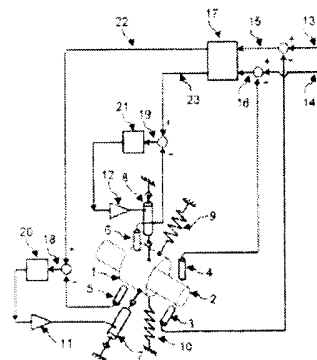
umístěny po stranách hřídele (2). První snímač (3) přiblížení je umístěn v rovině kolmé k ose hřídele (2). Druhý snímač (4) přiblížení je rovněž umístěn v rovině kolmé k ose hřídele (2) a pootočen o 90° oproti prvnímu snímači (3). Regulační odchylky (15, 16) jsou výsledkem porovnání tzv. žádaných poloh (13, 14) hřídele (2) ve dvou směrech. Tyto polohy (13, 14) jsou porovnány se skutečnou polohou, která je zjištěna pomocí snímačů (5, 6) přiblížení. Zjištěné odchylky (15, 16) vstupují do dvouparametrického regulátoru (17).

(54) Název vynálezu:

Způsob pro kaskádní aktivní řízení hydrodynamických kluzných ložisek piezoaktuátory a zařízení k provádění tohoto způsobu

(57) Anotace:

Způsob a zařízení pro aktivní řízení hydrodynamických kluzných ložisek s pohyblivým pouzdem (1) rozšiřuje provozní otáčky použitím elektronické stabilizační zpětné vazby zprostředkované piezoaktuátory (7, 8), které ovládají regulátory (20, 21) polohy. Jejich žádané hodnoty (22, 23) jsou výstupem dvouparametrického regulátoru (17) se vstupem od polohy hřídele (2) vzhledem k ložiskovému tělesu. Pouzdem (1) pohybují dva piezoaktuátory (7, 8) umístěné po stranách hřídele (2). První piezoaktuátor (7) je umístěn v rovině kolmé na osu hřídele (2). Druhý piezoaktuátor (8) je rovněž umístěn v rovině kolmé na osu hřídele (2) a je pootočen o 90° vůči prvnímu piezoaktuátoru (7). Pohyb pouzdra (1) vzhledem k ložiskovému tělesu umožňují pružné členy (9, 10). Polohu hřídele (2) vůči ložiskovému tělesu (1) je možné zjistit ve dvou vzájemně kolmých směrech pomocí dvou snímačů (3, 4) přiblížení, které jsou



CZ 304672 B6

Způsob pro kaskádní aktivní řízení hydrodynamických kluzných ložisek piezoaktuátory a zařízení k provádění tohoto způsobu

5 Oblast techniky

Vynález se týká strojírenství, hydrodynamicky mazaných kluzných radiálních ložisek, konkrétně způsobu tlumení vibrací.

10

Dosavadní stav techniky

Kluzná radiální ložiska jsou vhodná pro vysoké provozní otáčky a jejich hlavní předností je velký útlum. Využívají se zejména u větších rotačních strojů a strojů s vysokou rychloběžností, kde by valivá ložiska již neměla dostatečnou trvanlivost. Provozní rozsah otáček je však omezen tvorbou samobuzených kmitů vlivem destabilizujících účinků olejového filmu v mezeře mezi povrchem hřídele a vnitřním povrchem pouzdra ložiska.

Nestabilitě rotorů uložených v hydrodynamických ložiskách, způsobující nadměrné vibrace se dosud čelí pasivním způsobem spočívajícím v úpravě profilu vnitřku pouzdra ložiska. Konstrukční úpravy spočívají v rozdělení kluzné plochy na několik částí, jejichž středy křivosti jsou posunuty vzhledem ke středu ložiska, čímž je vytvořeno určité předpětí. Nejlepší vlastnosti z hlediska stability mají ložiska s plovoucím pouzdem a ložiska s naklápěcími segmenty, která jsou ovšem výrobně náročnější.

25

Byly činěny i pokusy aktivně řídit kluzné ložisko aktuátory s giant magnetostrikčními materiály, např. Lau Hoi Yam, Feasibility of using giant magnetostriptive material based actuators in active control of journal bearing system, City University of Hongkong, 2009. Účelem bylo snížit vibrace vlivem vnějších sil. Školní testy s ložisky, která jsou vzdálena v praxi použitelným kluzným ložiskům, probíhaly bez mazání olejem.

30

Rovněž jsou známy články jako Tůma, Šimek, Škuta, Los, Klečka, Zavadil, Active vibration control of hydrodynamic bearings to prevent instability caused by an oil film, 11th International Workshop on Research and Education in Mechatronics, Ostrava, 2010 a Tůma Šimek, Škuta, Los - Active vibration control of journal bearings with the use of piezoactuators, Engineering the Future, Rijeka, Croatia, 2010 přičemž oba tyto dokumenty popisují zkušenosti získané s použitím snímačů polohy a montáže piezoaktuátorů, které však nepopisují detaily řešení systému řízení. Dokumenty pouze uvádí fakt, že vibrace kluzného ložiska lze aktivně tlumit. Metoda aktivního řízení kluzných ložisek s použitím piezoaktuátorů s cílem potlačit nestabilitu vlivem olejového filmu však dosud nebyla realizována.

40

Podstata vynálezu

Uvedené nevýhody pasivních opatření proti nestabilitě a nemožnosti polohování hřídele řeší níže popsany vynález, jehož podstatou je doplnění mechanického systému o elektronickou zpětnou vazbu. Doplněním elektronické záporné zpětné vazby do původně mechanického systému se kompenzuje vliv vnitřní kvadrurní síly, která působí jako kladná (destabilizující). Tato kladná zpětná vazba se zesiluje přímo úměrně rychlosti otáčení hřídele a po překročení hraničních otáček mechanický systém destabilizuje. Nestabilita tedy vzniká, jestliže zesílení kladné zpětné vazby vyruší zápornou zpětnou vazbu.

50

Záporná elektronická zpětná vazba obsahuje snímače polohy hřídele ve dvou navzájem kolmých směrech se sondami přiblížení. Signály těchto sond přiblížení jsou zavedeny do dvouparametro-

vého regulátoru, ve kterém se oba tyto signály odečtou od žádané referenční polohy, a pak se výsledné regulační odchylky transformují zmíněným dvouparametrovým regulátorem na dvojici akčních veličin, které jsou žádanými hodnotami dvou regulátorů posunutí piezoaktuátorů. Pro aktivní řízení jsou využity piezoaktuátory se snímači polohy, které jsou integrovány uvnitř, a proto se kaskádně řídí poloha každého piezoaktuátoru zvlášť. Podřízená regulační smyčka obsahuje polohový regulátor, jehož vstupem je regulační odchylka mezi žádaným a skutečným posunutím. Výstup tohoto podřízeného regulátoru je veden do zesilovače, který svým výstupním napětím ovládá piezoaktuátor. Oba piezoaktuátory ovládají pohyb pouzdra ve dvou navzájem kolmých směrech. Pohyblivé pouzdro ložiska je těsněno O-kroužky. Změna polohy pouzdra se prostřednictvím olejového filmu přenáší na polohu rotujícího hřídele. Výhodou navrženého řešení je možnost udržovat hřídel v zadané poloze s menšími odchylkami než je radiální vůle ložiska.

Přehled obrázků na výkresech

Vynález je dále blíže osvětlen pomocí obrázků, kde na obrázku 1 je příklad uspořádání hřídele, pouzdra, snímačů polohy hřídele a snímačů polohy pouzdra a piezoaktuátorů (typ open-loop). Na obrázku 2 je uspořádání hřídele, pouzdra, piezoaktuátorů, snímačů polohy hřídele a snímačů protažení piezoaktuátorů (typ closed-loop).

Příklad provedení vynálezu

Způsob aktivního řízení hydrodynamických kluzných ložisek s piezoaktuátory a cylindrickým pohyblivě uloženým pouzdem se provádí tak, že táhla dvojice piezoaktuátorů v rovině kolmé na osu hřídele jsou orientována vertikálně a horizontálně a dvojice snímačů polohy nebo přiblížení jsou orientovány také v rovině kolmé na osu hřídele vertikálně a horizontálně. Jestliže je absolutní radiální vůle mezi vnitřním povrchem pouzdra a vnějším povrchem hřídele do 1 mm, pak lze použít snímače polohy na principu vířivých proudů. Pro absolutní radiální vůli do 100 μm vyhoví snímač kapacitní v provedení bez připojení hřídele k elektronickým obvodům snímače. Zdvih piezoaktuátoru je stejný jako je absolutní radiální vůle. Táhla piezoaktuátorů jsou přes ohebnou spojku a těsnicí průchodku připojena pevně ke zmíněnému pohyblivému pouzdu. Snímače přiblížení jsou instalovány těsně vně ložiska a snímají takto polohu hřídele vzhledem k pevnému rámu stroje, resp. jeho ložiskovému domku. Pohyblivé pouzdro je v ložiskovém pouzdu těsněno O-kroužky, aby mazací olej nemohl uniknout z prostoru, ze kterého je mazacím otvorem ve stěně pouzdra přiváděn do mezery mezi rotující hřídel a toto neotáčející se pouzdro. Poloha pouzdra je měřena snímači přiblížení ve směru osy piezoaktuátorů. Poloha pouzdra může být snímána také prostřednictvím snímače protažení, který je integrován s piezoaktuátorem. Protože spojení piezoaktuátoru je v jeho ose tuhé, nahrazuje protažení piezoaktuátoru přímé měření polohy pouzdra. Piezoaktuátor, který má integrován snímač protažení, je typu closed-loop. Piezoaktuátor bez snímače protažení je typu open-loop.

Zvýšen mezních otáček hřídele ze 4300 na 7300 za minutu:

Použito kluzné ložisko pro hřídel o průměru 30 mm s radiální vůlí 40 μm , ve kterém je použit speciální olej pro vysokorychlostní vřetena brusek. Mezní otáčky jsou 4300 za minutu. Systém podle obr. 2, kde jsou integrovány snímač 5 a piezoaktuátor 7, respektive snímač 6 a piezoaktuátor 8 do jednoho celku.

Kaskádní aktivní řízení vibrací je provedeno pohyblivým cylindrickým pouzdem 1, ve kterém se otáčí hřídel 2. Poloha hřídele je měřena vzhledem k pevnému ložiskovému tělesu ve dvou vzájemně kolmých směrech snímači 3 a 4 přiblížení. Pouzdem ložiska pohybují dva piezoaktuátory 7 a 8, které jsou uspořádány rovněž ve dvou navzájem kolmých směrech. Pohyb pouzdra vzhledem k ložiskovému tělesu zprostředkovávají pružné členy 9 a 10, které plní také funkci těsnicí.

Poloha pouzdra je měřena snímači 5 a 6 polohy. Oba piezoaktuátory napájí zesilovače 11 a 12 elektrického napětí. Žádaná poloha hřídele ve dvou směrech 13 a 14 v rovině kolmé na její osu vzhledem k ložiskovému tělesu se porovná v řídicím systému se skutečnou polohou hřídele 2, která je změřena snímači 3 a 4 přiblížení také vzhledem k ložiskovému tělesu. Výsledkem srovnání 5 žádané a skutečné polohy hřídele, dané, jejich rozdílem, jsou regulační odchylky 15 a 16, které vstupují do proporciálního nebo proporciálně-derivačního dvoupřímého regulátoru 17. Akční veličiny 22 a 23 dvoupřímého regulátoru 17 jsou žádané hodnoty pro regulátory polohy pouzdra 20 a 21 ve směrech os piezoaktuátorů 7 a 8. První regulátor 20 má na vstupu první regulační odchylku 18, což je rozdíl první žádané hodnoty 22 polohy pouzdra 1 ve směru 10 osy prvního piezoaktuátoru 7 a skutečné polohy pouzdra měřené prvním snímačem 5 polohy. Druhý regulátor 21 má na vstupu druhou regulační odchylku 19, což je rozdíl druhé žádané hodnoty 23 polohy pouzdra 1 ve směru osy druhého piezoaktuátoru 8 a skutečné polohy pouzdra měřené druhým snímačem 6 polohy. Výstupy polohových kaskádně řízených regulátorů 20 a 21 ovládají stejnosměrné zesilovače elektrického napětí 11 a 12. Tím jsou uzavřeny podřízené regulační smyčky se zápornou zpětnou vazbou. Výsledkem je zvětšení výchylky hřídele 2 oproti rámu 15 jako vstupu regulátoru 17 na výchylku pouzdra ložiska 1 oproti rámu jako výstupu regulátoru 17, což představuje zesílení účinku aktivního řízení kluzných ložisek s proporcionální elektronickou vazbou na hodnotu přibližně rovnou 2, tedy zvýšení mezních otáček hřídele pro vznik nestability na 7300 za minutu.

Průmyslová využitelnost

Způsob tlumení vibrací podle vynálezu je použitelný k rozšíření provozního rozsahu otáček hřídelí strojů a k jejich přesnému polohování.

P A T E N T O V É N Á R O K Y

1. Způsob pro kaskádní aktivní řízení hydrodynamických kluzných ložisek piezoaktuátory, **v y z n a ě n ý t í m**, že regulační odchylky (15, 16) jsou zjištěny porovnáním žádané polohy hřídele (2) ve dvou směrech (13, 14) se skutečnou polohou hřídele (2), která je zjištěna pomocí snímačů (3, 4) přiblížení a tyto odchylky (15, 16) vstupují do dvoupřímého regulátoru (17), jehož výstupem jsou akční veličiny (22, 23) pro dvě podřízené regulační smyčky pouzdra (1), kde první smyčka polohy pouzdra (1) obsahuje první regulátor (20) s žádanou první hodnotou (22) a první regulační odchylkou (18), dále první zesilovač (11) elektrického napětí pro napájení prvního piezoaktuátoru (7) a první snímač (5) pro polohu pouzdra ve směru osy prvního piezoaktuátoru (7) a druhá smyčka obsahuje druhý regulátor (21) s druhou žádanou hodnotou (23) a druhou regulační odchylkou (19), dále druhý zesilovač (12) elektrického napětí pro napájení druhého piezoaktuátoru (8) a druhý snímač (6) pro polohu pouzdra ve směru osy druhého piezoaktuátoru (8), přičemž oba piezoaktuátory (7) a (8) působí na pohyblivé pouzdro (1), uvnitř 45 kterého se otáčí hřídel (2).

2. Zařízení pro kaskádní aktivní řízení hydrodynamických kluzných ložisek, pro provádění způsobu podle nároku 1, s pohyblivým pouzdem (1), ve kterém je uložen hřídel (2), po jehož stranách jsou dva piezoaktuátory (7, 8) pro pohyb pouzdra (1) a dva pružné členy (9, 10) pro pohyb pouzdra (1) vzhledem k ložiskovému tělesu a dále dva snímače (3, 4) přiblížení polohy hřídele (2) vůči pevnému ložiskovému tělesu **v y z n a ě n é t í m**, že dva snímače (5, 6) polohy pouzdra (1) jsou integrovány tak, že první snímač (5) polohy pouzdra je integrovaný s prv-

ním piezoaktuátorem (7) a druhý snímač (6) polohy pouzdra je integrovaný s druhým piezoaktuátorem (8) do jednoho celku.

5 3. Zařízení pro kaskádní aktivní řízení hydrodynamických kluzných ložisek podle nároku 2, **v y z n a ě n ý t í m**, že piezoaktuátory (7, 8) a s nimi integrované snímače (5, 6) polohy, umístěné po stranách hřídele (2), jsou uspořádány tak, že první piezoaktuátor (7) integrovaný s prvním snímačem (5) polohy je umístěn v rovině kolmé na osu hřídele (2) a druhý piezoaktuátor (8) integrovaný s druhým snímačem (6) polohy je rovněž umístěn v rovině kolmé na osu hřídele (2) a zároveň je pootočen o 90° vůči prvnímu piezoaktuátoru (7).

10

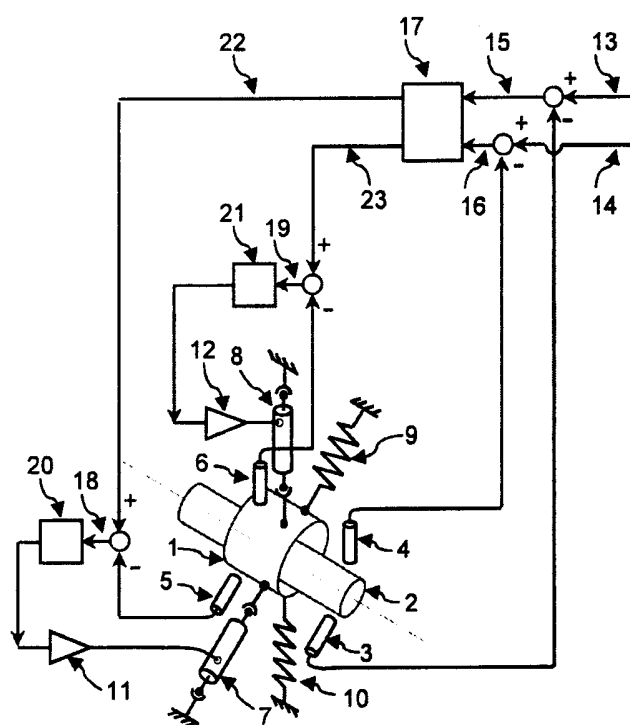
4. Zařízení pro kaskádní aktivní řízení hydrodynamických kluzných ložisek podle kteréhokoli z nároků 2, 3, **v y z n a ě n ý t í m**, že snímače (3, 4) přiblížení, umístěné po stranách hřídele (2), jsou uspořádány tak, že první snímač (3) přiblížení je umístěn v rovině kolmé k ose hřídele (2) a druhý snímač (4) přiblížení je rovněž umístěn v rovině kolmé k ose hřídele (2) a zároveň je pootočen o 90° oproti prvnímu snímači (3).

15

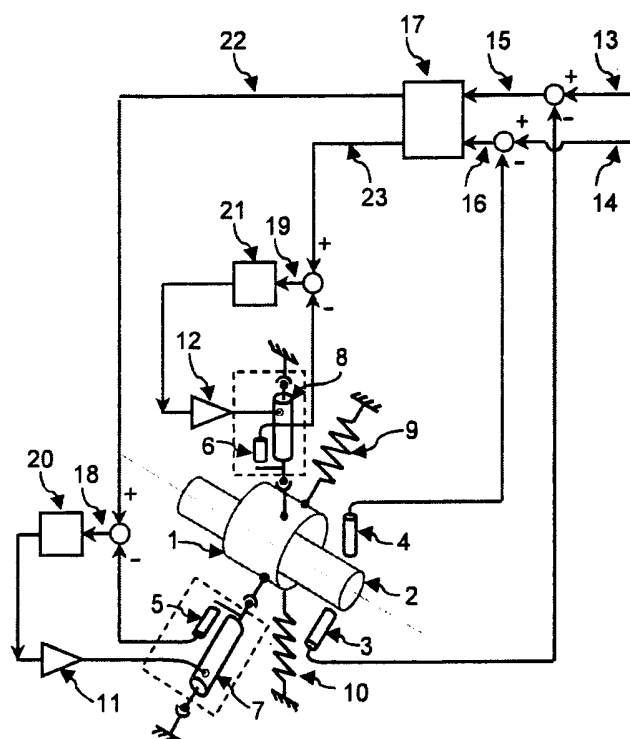
5. Zařízení pro kaskádní aktivní řízení hydrodynamických kluzných ložisek podle kteréhokoli z nároků 2 až 4, **v y z n a ě n ý t í m**, že regulátory (20, 21) jsou typu PID.

20

1 výkres



Obrázek 1



Obrázek 2

Konec dokumentu