

# PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

## 2014-744

(13) Druh dokumentu: **A3**

(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

(22) Přihlášeno: **04.11.2014**

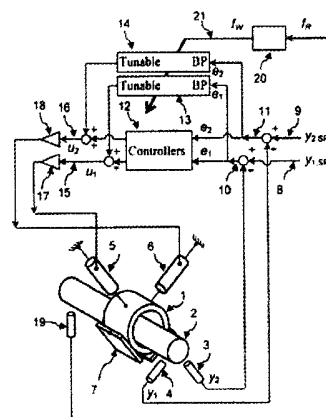
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **02.12.2015**  
(Věstník č. 48/2015)

(71) Přihlašovatel:  
Vysoká škola báňská- Technická univerzita  
Ostrava, Ostrava- Poruba, CZ

(72) Původce:  
Ing. Jiří Tůma, CSc., Štamberk, CZ  
Ing. Jiří Šimek, CSc., Praha 4, CZ  
Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D., Bánov, CZ  
Ing. Jaromír Škuta, Ph.D., Vratimov, CZ  
Ing. Pavel Šuránek, Hlučín, CZ  
doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D., Ostrava, CZ  
Vladimír Starý, Čavisov, CZ

(74) Zástupce:  
INPARTNERS GROUP, Ing. Dušan Kendereški,  
Lidická 51, 612 00 Brno

ložiska, uvnitř kterého se otáčí zmíněná hřídel (2).



(54) Název přihlášky vynálezu:  
**Způsob aktivního řízení vibrační kluzných ložisek s použitím piezoaktuátorů a zařízení k jeho provádění**

(57) Anotace:  
Způsob aktivního řízení vibrační kluzných ložisek s použitím piezoaktuátorů, jehož funkce je popsána formou blokového schématu na obr. 1, se příkladně provádí tak, že skutečné polohy  $y_1$  a  $y_2$  hřídele (2) se měří ve dvou navzájem kolmých směrech, prostřednictvím prvního a druhého snímače (3 a 4) polohy, vzhledem k ložiskovému tělesu, načež se odčítají od prvního a druhého žádané polohy  $y_{1,sp}$  a  $y_{2,sp}$ , přičemž výsledkem jsou první a druhá regulační odchylka  $e_1$  a  $e_2$ , jenž jsou vstupem dvouparametrového polohového regulátoru (12) a dvojice pásmových laditelných filtrů druhého řádu (13 a 14), jejichž propustná frekvence  $f_w$  je odvozena od frekvence  $f_R$  otáček hřídele (2), která je měřena snímačem (19), přičemž výstupy dvouparametrového polohového (12) a obou pásmových laditelných filtrů (13 a 14) v sumátorech sečteny jako první a druhá akční veličina  $u_1$  a  $u_2$  a zavedeny jako elektrické napětí ke dvojici zesilovačů (17 a 18) elektrického napětí, jenž napájejí první a druhý piezoaktuátor (5 a 6), působící ve dvou navzájem kolmých směrech na pohyblivé pouzdro (1) kluzného

PV2014-74  
2014-744

# ZPŮSOB AKTIVNÍHO ŘÍZENÍ VIBRACÍ KLUZNÝCH LOŽISEK S POUŽITÍM PIEZOAKTUÁTORŮ A ZAŘÍZENÍ K JEHO PROVÁDĚNÍ

## Oblast techniky:

Vynález se týká způsobu aktivního řízení vibrací kluzného radiálního ložiska, které sestává z ložiskového tělesa, ložiskového pouzdra, jehož pohyb je aktivně řízen prostřednictvím piezoaktuátorů uspořádaných mezi pohyblivým ložiskovým pouzdrem a úchyty, a dále zařízení k jeho provádění.

## Dosavadní stav techniky

Nestabilita rotorů uložených v hydrodynamických ložiskách, způsobující nadměrné vibrace po překročení hraničních otáček, je známý jev. Jejím charakteristickým rysem je sub-harmonická frekvence kmitání, která je buď závislá na frekvenci otáček hřídele a nazývá se „oilwhirl“, nebo má konstantní frekvenci rovnou obvykle první vlastní frekvenci systému a je označována jako „oilwhip“. Frekvence kmitání typu „oilwhirl“ je 0,42 až 0,48 násobek frekvence otáčení rotoru. Mezní otáčky pro vznik nestability u kluzného ložiska s cylindrickým pouzdrem závisí na radiální vůli a viskozitě mazacího oleje. Relativní radiální vůle je u přesných ložisek do 3 promile a viskozita oleje se přizpůsobuje jeho obvyklé teplotě kolem 40°C. Například kluzné ložisko pro hřídel o průměru 30 mm s radiální vůlí 40 μm, ve kterém se použije speciální olej pro vysokorychlostní vřetena brusek, má mezní otáčky asi 2000 za minutu. Nestabilitě rotoru v kluzných ložiskách se dosud čelí pasivním způsobem spočívajícím v úpravě profilu vnitřku pouzdra ložiska. Konstrukční úpravy mají vytvořit geometrii složenou z několika kluzných ploch, jejichž střed křivosti je posunut vzhledem ke středu ložiska, čímž je vytvořeno určité předpětí. Profil ložiska je tak např. citronový nebo přesazený (se dvěma kluznými plochami) případně víceplochý, když má ložisko více než dvě kluzné plochy. Nejlepší vlastnosti z hlediska stability mají ložiska s plovoucím pouzdrem a ložiska s naklápěcími segmenty, která jsou ovšem výrobně náročnější.

Ve světě se uskutečnil pokus aktivně řídit kluzné ložisko aktuátory s giant magnetostrikčními materiály na City University of Hongkong. Účelem bylo snížit vibrace vlivem vnějších sil. Laboratorní testy s ložisky, které jsou vzdáleny v praxi použitelným kluzným ložiskům, probíhaly bez mazání olejem. Na pracovišti původců patentu byl odzkoušen a také publikován rovněž řídicí systém s jednoduchým regulátorem.

V české přihlášce PV 1987-3949 je popsán vodící ložisko pro vrata s vertikálním pohybem sestávající z plunžru, který je uložen v kluzáku. Kluzák je spojen s rámem dveří pomocí svorníku a příložky. Uvnitř plunžru je pružina, která slouží jako zásobník energie a zajišťuje samostačitelnost ložiska. Vodící ložisko lze využít u vrat výrobních hal, seníku a dalších zemědělských staveb. Vodící ložisko se pohybuje ve vedení, které je tvořeno U profilem. Vodící ložisko sestává z kluzáku, na němž je umístěn plunžr. Plunžr je v podstatě dutý válec s průchozím otvorem. Plunžr je vedený v příložce, která má průchozí otvory a je přivařena na rám. Rám s plechovou nebo dřevěnou výplní tvoří vrata. Spojení mezi vraty a kluzákem je zajištěno pomocí svorníku, který je hlavou zapuštěn do kluzáku, prochází plunžrem a končí nad otvorem v rámu. Svorník je k plunžru připevněn maticí a k rámu pomocí aretační matice. Pružina uložena v dutině plunžru slouží jako zásobník energie pro vyvození příčného pohybu kluzáku. Při posouvání vrat se ložisko posouvá ve vedení. Toto řešení se týká mechanického řešení a pro zcela jiný typ ložisek jako v navrhovaném vynálezu. (04 104672)

V další české přihlášce PV 2012-506 je popsán způsob a zařízení pro aktivní řízení hydrodynamických kluzných ložisek s pohyblivým pouzdem rozšiřuje provozní otáčky použitím elektronické stabilizační zpětné vazby zprostředkované piezoaktuátory, které ovládají regulátory polohy. Jejich žádané hodnoty jsou výstupem dvouparametrového regulátoru se vstupem do polohy regulátoru a se vstupem do polohy hřídele vzhledem k ložiskovému tělesu. Pouzdem pohybují dva piezoaktuátory umístěné po stranách hřídele. První piezoaktuátor je umístěn v rovině kolmé na osu hřídele. Druhý piezoaktuátor je rovněž umístěn v rovině kolmé na osu hřídele a je pootočen o  $90^\circ$  vůči prvnímu piezoaktuátoru. Pohyb pouzdra vzhledem k ložiskovému tělesu umožňují pružné členy. Polohu hřídele vůči ložiskovému tělesu je možné zjistit ve dvou vzájemně kolmých směrech pomocí dvou snímačů přiblížení, které jsou umístěny po stranách hřídele. První snímač přiblížení je umístěn v rovině kolmé k ose hřídele. Druhý snímač přiblížení je rovněž umístěn v rovině kolmé k ose hřídele a pootočen o  $90^\circ$  oproti prvnímu snímači. Regulační odchylky jsou výsledkem porovnání tzv. žádaných poloh hřídele ve dvou směrech. Tyto polohy jsou porovnány se skutečnou polohou, která je zjištěna pomocí snímačů přiblížení. Zjištěné odchylky vstupují do dvouparametrového regulátoru.

V mezinárodní přihlášce č. EP2241770 je popsán vynález, který se týká zařízení s kluznými ložisky, schopným snížit koncentrace mechanického napětí. Tohle ložiskové zařízení je opatřeno pouzdem ložiska, které se opírá o základnu ložiska upevněnou na

těle rotačního stroje s rotačním hřídelem, dále vložkami, které jsou uspořádány tak, aby po obvodu obklopovali rotační hřídel, přičemž kontaktní plocha mezi vnějším obvodem pouzdra ložiska a vnitřním obvodem ložiska se rozprostírá podél směru osy rotačního hřídele a tvoří konvexní zakřivenou plochu. Vzdálenost mezi vnitřním obvodem pouzdra ložiska a vnějším obvodem vložky se postupně zvětšuje od středu směrem ke koncům podél axiálního směru. Vynález řeší konstrukční řešení, netýkají se řízení ani použití piezoaktuátorů.

V US americké přihlášce č. US4643592 je popsáno zařízení pro omezení mechanických vibrací rotačních strojů. Toto zařízení obsahuje jeden nebo více detektorů polohy na hřídeli rotoru, počítač s pamětí a řídicím algoritmem pro manipulaci se signály přicházejících z detektorů, elektronický regulátor pro manipulaci s hydraulickými ventily, pohyblivé podložky, kluzné ložiska, pomocné čerpací systémy, pohyblivé nosné podložky a pohony fungující pod kontrolou neustálé zpětné vazby z počítače, který kontroluje a reguluje optimální otáčky přístroje. Vynález se zaměřuje na potlačování nechtěných vibrací, aktivní prvky jsou hydraulické, tzn. jiné prvky než prezentovaný vynález.

Vynález si klade za úkol navržení systému aktivního řízení kluzných ložisek s použitím piezoaktuátorů a s cílem potlačit nestabilitu vlivem olejového filmu, přičemž ke stabilizaci je použit pásmový filtr, který je naladěn na frekvenci módu vibrací typu „whirl“.

### Podstata vynálezu

Cíle vynálezu je dosaženo způsobem aktivního řízení vibrací kluzných ložisek s použitím piezoaktuátorů, jehož podstata spočívá v tom, že skutečné polohy hřídele vůči ložiskovému tělesu se měří ve dvou navzájem kolmých směrech prostřednictvím prvního snímače skutečné polohy  $y_1$  a druhého snímače skutečné polohy  $y_2$  a tyto skutečné polohy  $y_1$  a  $y_2$  se odčítají od první žádané polohy  $y_{1,sp}$  a druhé žádané polohy  $y_{2,sp}$ , přičemž výsledkem jsou regulační odchylky  $e_1$  a  $e_2$ , které jsou vstupem, jednak pro dvouparametrový polohový regulátor a jednak pro první pásmový filtr a druhý pásmový filtr, jejichž propustná frekvence  $f_w$  je odvozena od frekvence  $f_R$  otáček hřídele, které jsou měřeny snímačem otáček hřídele, přičemž výstupy dvouparametrového polohového regulátoru a prvního pásmového filtru a druhého pásmového filtru jsou sečteny a zavedeny jako první a druhá akční veličina  $u_1$  a  $u_2$

k prvnímu stejnosměrnému zesilovači elektrického napětí a druhému stejnosměrnému zesilovači elektrického napětí, jenž jsou připojeny k prvnímu a druhému piezoaktuátoru, působícím ve dvou navzájem kolmých směrech na pohyblivé pouzdro kluzného ložiska, uvnitř kterého je otočně uložena zmíněná hřídel.

Zařízení k provádění způsobu zahrnuje hřídel uložený v pohyblivém pouzdru, jež je opatřeno oporou v podobě pružných členů s pohyblivým pouzdrem, se kterým jsou dále spřaženy první a druhý piezoaktuátor, jenž jsou uspořádány v ložiskovém tělese, a to v rovině kolmé na osu hřídele a jsou vzájemně otočeny o  $90^\circ$  jehož podstata spočívá v tom, že dále zahrnuje první snímač skutečné polohy  $y_1$  a druhý snímač skutečné polohy  $y_2$ , které jsou orientovány rovnoběžně s polohou prvního a druhého piezoaktuátoru, a snímač otáček hřídele, přičemž první snímač skutečné polohy  $y_1$  je připojen přes sumátor jednak ke vstupu regulátoru polohy, a jednak přes první pásmový filtr k sumátoru, který je dále připojen na vstup prvního stejnosměrného zesilovače napětí, který je propojen s prvním piezoaktuátorem, zatímco druhý snímač skutečné polohy  $y_2$  je připojen přes sumátor jednak ke vstupu regulátoru polohy a jednak přes druhý pásmový filtr k sumátoru, který je dále připojen na vstup druhého stejnosměrného zesilovače napětí, který je propojen s druhým piezoaktuátorem, přičemž snímač otáček hřídele je připojen na vstup proporcionálního bloku, jehož parametrický výstup je připojen na parametrické vstupy prvního a druhého pásmového filtru.

Podstata navrhovaného řešení spočívá v tom, že zpětná vazba je doplněna pásmovými filtry, jejichž propustná frekvence je naladěna na frekvenci vibračního módu, který způsobuje vibrace typu „oilwhirl“. Střední frekvence  $f_w$  propustného pásma filtru je konstantním násobkem frekvence otáček  $f_R$  čepu ložiska. Pásmový filtr je součástí zpětné vazby, která se stává ze sond přiblížení, což jsou snímače polohy  $y_1$  a  $y_2$  hřídele, které jsou orientovány ve dvou navzájem kolmých směrech a rovnoběžně s piezoaktuátory. Regulační odchylky  $e_1$  a  $e_2$  polohy hřídele, jako rozdíl mezi žádanou  $y_{1,sp}$   $y_{2,sp}$  a skutečnou  $y_1$ ,  $y_2$  polohou hřídele ve zmíněných směrech, jsou zavedeny souběžně do dvouparametrového regulátoru a do dvojice pásmových filtrů, které jsou naladěny na frekvenci  $f_w$  vibrací typu „oilwhirl“. Každý ze dvou výstupů dvouparametrového regulátoru se sečte s odpovídajícím výstupem pásmového filtru. Dvě akční veličiny  $u_1$  a  $u_2$  se přemění na dvojici elektrických napětí, které jsou po zesílení připojeny k dvojici piezoaktuátorů. Piezoaktuátory ovládají pohyb pouzdra ve dvou navzájem kolmých směrech. Pohyblivé pouzdro ložiska je těsněno O-kroužky.

Rovnováha síly odporu proti deformaci těsnících kroužků, dále síly deformační síly vrstvených piezoaktuátorů a elektrickým napětím vybuze síly obou piezoaktuátorů určují rovnovážnou polohu pouzdra kluzného ložiska. 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.

Doplněním elektronické záporné zpětné vazby do původně mechanického systému se kompenzuje vliv vnitřní kvadratické síly, která působí jako kladná zpětná vazba ve směru tečném k obvodu čepu ložiska a která způsobuje zmíněnou nestabilitu polohy čepu typu „oilwhirl“.

Nestabilita vzniká, jestli zesílení kladné zpětné vazby překoná přirozenou tlumící zápornou zpětnou vazbu vlivem tuhosti a tlumení olejového filmu.

Účinek aktivního řízení kluzných ložisek s polohovým regulátorem a stabilizačním regulátorem v zapojení pásmového filtru je takový, že mezní otáčky hřídele pro vznik nestability se zvýší z 2000 za minutu na 12 tisíc za minutu. Pásmový filtr ve zpětné vazbě omezuje přenos měřicího šumu snímačů polohy do obvodu zpětné vazby.

### Objasnění výkresů

Vynález je schematicky znázorněn na výkrese, kde obr. 1 znázorňuje blokové schéma zařízení pro aktivní řízení vibrací kluzných ložisek s použitím piezoaktuátorů a cylindrickým pohyblivě uloženým pouzdrem.

### Příklady uskutečnění vynálezu

Vynález řeší polohování čepu ložiska a rozšíření provozního rozsahu otáček potlačením vzniku samobuzených kmitů vlivem destabilizujících účinků olejového filmu v mezeře mezi povrchem hřídele a vnitřním povrchem pouzdra ložiska, čehož je dosaženo tím, že mechanický systém kluzného ložiska je doplněn o elektronickou zpětnou vazbu, zprostředkující vliv polohy hřídele na polohu pohyblivého pouzdra.

Způsob aktivního řízení vibrací kluzných ložisek s použitím piezoaktuátorů, jehož funkce je popsána formou blokového schématu na obr. 1, se příkladně provádí tak, že skutečné polohy  $y_1$  a  $y_2$  hřídele 2 se měří ve dvou navzájem kolmých směrech, prostřednictvím prvního a druhého snímače 3 a 4 polohy, vzhledem k ložiskovému

tělesu, načež se se odčítají od první žádané polohy  $y_{1,SP}$  a druhé žádané polohy  $y_{2,SP}$ , přičemž výsledkem jsou první a druhá regulační odchylka  $e_1$  a  $e_2$ , jež jsou vstupem dvouparametrového polohového regulátoru 12 a dvojice pásmových laditelných filtrů druhého řádu 13 a 14, jejichž propustná frekvence  $f_w$  je odvozena od frekvence  $f_R$  otáček hřídele 2, která je měřena snímačem 19, přičemž výstupy dvouparametrového polohového 12 a obou pásmových laditelných filtrů 13 a 14 v sumátorech sečteny jako první a druhá akční veličina  $u_1$  a  $u_2$  a zavedeny jako elektrické napětí ke dvojici zesilovačů 17 a 18 elektrického napětí, jež napájejí první a druhý piezoaktuátor 5 a 6, působící ve dvou navzájem kolmých směrech na pohyblivé pouzdro 1 kluzného ložiska, uvnitř kterého se otáčí zmíněná hřídel 2.

Zařízení k provádění způsobu aktivního řízení vibrací kluzných ložisek s použitím piezoaktuátorů a cylindrickým pohyblivě uloženým pouzdrem je znázorněno na obr. 1. Zařízení v tomto provedení zahrnuje hřídel 2 uložený v pohyblivém pouzdru 1, jež je opatřeno oporou v podobě pružných členů 7. S pohyblivým pouzdrem 1 jsou dále spřaženy první a druhý piezoaktuátor 5 a 6, které jsou uspořádány v ložiskovém tělese, a to v rovině kolmé na osu hřídele 2, přičemž jsou vzájemně otočeny o 90°. Dále zařízení zahrnuje první snímač 3 skutečné polohy  $y_1$  a druhý snímač 4 skutečné polohy  $y_2$ , které jsou orientovány rovnoběžně s polohou prvního a druhého piezoaktuátoru 5 a 6 a snímač otáček 19 hřídele 2. První snímač 3 skutečné polohy  $y_1$  je připojen přes sumátor jednak ke vstupu regulátoru 12 polohy a jednak přes první pásmový filtr 13 k sumátoru, který je dále připojen na vstup prvního stejnosměrného zesilovače 17 napětí, který je propojen s prvním piezoaktuátorem 5, zatímco druhý snímač 4 skutečné polohy  $y_2$  je připojen přes sumátor jednak ke vstupu regulátoru 12 polohy a jednak přes druhý pásmový filtr 14 k sumátoru, který je dále připojen na vstup druhého stejnosměrného zesilovače 18 napětí, který je propojen s druhým piezoaktuátorem 6, zatímco snímač 19 otáček hřídele 2 je připojen na vstup proporcionálního bloku 20, jehož parametrický výstup je připojen na parametrické vstupy 21 prvního a druhého pásmového filtru 13 a 14. Dále je zpětná vazba doplněna prvním a druhým pásmovým filtrem 13 a 14, jejichž propustná frekvence je naladěna na frekvenci vibračního módu, který způsobuje vibrace typu oilwhirl. Střední frekvence  $f_w$  propustného pásma filtrů je konstantním násobkem frekvence otáček  $f_R$  čepu ložiska. Jak vyplývá z obr. 1, první a druhý pásmový filtr 13 a 14 jsou součástí zpětné vazby, která se sestává z prvního snímače 3 a druhého snímače 4 skutečné polohy  $y_1$  a  $y_2$  hřídele 2, jež jsou orientovány

ve dvou navzájem kolmých směrech a rovnoběžně s prvním a druhým piezoaktuátorem 5 a 6. První regulační odchylka  $e_1/10$  hřídele 2, jako výsledný rozdíl mezi žádanou polohou  $y_{1,SP}$  a skutečnou polohou  $y_1$  hřídele 2 a také druhá regulační odchylka  $e_2/11$  mezi žádanou polohou  $y_{2,SP}$  a skutečnou polohou  $y_2$  hřídele 2 ve zmíněných směrech jsou zavedeny souběžně do dvouparametrového regulátoru 12 polohy a do prvního a druhého pásmového filtru 13 a 14, které jsou naladěny na frekvenci  $f_w$  vibrací typu oilwhirl. Každý ze dvou výstupů dvouparametrového regulátoru 12 polohy se sečte s odpovídajícím výstupem prvního a druhého pásmového filtru 13 a 14. Dvě akční veličiny  $u_1/15$  a  $u_2/16$  se přemění na elektrická napětí  $U_1$  a  $U_2$ , která jsou po zesílení přivedena k prvnímu a druhému piezoaktuátoru 5 a 6. První a druhý piezoaktuátor 5 a 6 ovládají pohyb pohyblivého pouzdra 1 ve dvou navzájem kolmých směrech. Pohyblivé pouzdro 1 ložiska je těsněno O-kroužky. Rovnováha síly odporu proti deformaci těsnících kroužků, dále síly deformační síly prvního a druhého piezoaktuátoru 5 a 6 a elektrickým napětím vybuzečné síly prvního a druhého piezoaktuátoru 5 a 6 určují rovnovážnou polohu pohyblivého pouzdra 1 kluzného ložiska. Změna polohy pohyblivého pouzdra 1 se prostřednictvím olejového filmu přenáší na polohu rotujícího hřídele 2.

Aktivní řízení se příkladně provádí tak, že první a druhý piezoaktuátor 5 a 6, které jsou uspořádány v ložiskovém tělese v rovině kolmé na osu hřídele 2, působí na pohyblivé pouzdro 1, přičemž první a druhý snímač 3 a 4 skutečné polohy jsou orientovány rovnoběžně s polohou prvního a druhého piezoaktuátoru 5 a 6.

Aktivní řízení vibrací je umožněno pohyblivým pouzdem 1, s výhodou cylindrickým, ve kterém se otáčí hřídel 2. Poloha hřídele 2 je měřena vzhledem k rámu stroje nebo pevnému ložiskovému tělesu pomocí prvního anebo druhého snímače 3 a 4 skutečné polohy  $y_1$ ,  $y_2$ . Pouzdem 1 kluzného ložiska pohybují první a druhý piezoaktuátor 5 a 6. Oporu pouzdra 1 oproti pevnému ložiskovému tělesu zprostředkovávají pružné elementy 7 a již zmíněné pružné gumové těsnící kroužky. Pružný element 7 je určen k předepnutí vrstveného prvního nebo druhého piezoaktuátoru 5 a 6 v případě, že není vnitřně mechanicky předepnut. První žádaná poloha  $y_{1,SP}/8$  hřídele 2 a druhá žádaná poloha  $y_{2,SP}/9$  hřídele 2 v obou směrech, které jsou kolmé na osu hřídele 2, se porovná v řídicím systému se skutečnou polohou změřenou prvním nebo druhým snímačem 3 a 4 polohy  $y_1$ ,  $y_2$  hřídele 2. Výsledkem srovnání jsou regulační odchylky  $e_1/10$  a regulační odchylky  $e_2/11$ , které jsou rozdílem první žádané polohy  $y_{1,SP}/8$  hřídele 2 a druhé žádané polohy  $y_{2,SP}/9$  hřídele 2 a skutečné polohy  $y_1$ ,  $y_2$ , které vstupují do dvouparametrového regulátoru 12 polohy. Obě

regulační odchylky  $e_1/10$  a  $e_2/11$  jsou zavedeny do prvního a druhého pásmového filtru 13 a 14, jejichž výstupy jsou sečteny s výstupy dvouparametrového regulátoru 12 polohy, přičemž výsledné akční veličiny  $u_1/15$  a  $u_2/16$  pro oba směry pohybu kluzného pouzdra 1 jsou zavedeny do prvního a druhého stejnosměrného zesilovače 17 a 18 elektrického napětí, kde elektrické napětí na jejich výstupech ovládá první a druhý piezoaktuátor 5 a 6, čímž je uzavřena polohová regulační smyčka se zápornou zpětnou vazbou. Frekvence vibračního modu ložiska s označením  $f_w$ , na kterou se ladí střed propustného pásma pásmových filtrů 13 a 14, je odvozena od frekvence otáčení hřídele 2 s označením  $f_R$ . Frekvence otáčení hřídele 2 se měří snímačem 19 otáček hřídele. Frekvence vibračního módu  $f_w$  je výstupem proporcionálního bloku 20. Výstup bloku 20 je parametrickým vstupem 21 obou pásmových filtrů 13 a 14. Snímač otáček 19 je libovolného typu, přičemž jeho výstup je veličina, jejíž velikost je rovna okamžité frekvenci otáčení v hertzech.

Dvojparametrový regulátor může být například složen z dvojice konvenčních regulátorů typu PID. Doplněním křížové vazby se tento regulátor změní na dvojparametrový. Aktivní řízení vibrací kluzného ložiska vykazuje pozitivní účinek i pro proporcionální regulátor. Laditelný pásmový (Band Pass) filtr druhého řádu, jehož propustná frekvence je nastavena na frekvenci  $f_w$  vibrací typu „oilwirl“ v hertzech, resp.  $\omega/\omega_w$  v radiánech za sekundu, má frekvenční přenos

$$G_{BP}(j\omega) = K \frac{j2\xi_{BP} \omega/\omega_w}{(j\omega/\omega_w)^2 + j2\xi_{BP} \omega/\omega_w + 1}$$

kde

$\omega = 2\pi f$  je úhlová frekvence,

$K$  je zesílení filtru

a parametr  $\xi_{BP}$  má význam tlumení s obdobným významem jako u kmitavého članku.

Zesílení filtru pro úhlovou frekvenci  $\omega_w$  je  $G_{BP}(j\omega_w) = K$  a pro ostatní frekvence je nižší, než toto v absolutní hodnotě maximální zesílení filtru, přičemž pro  $\omega = 0$  a  $\omega \rightarrow \infty$  je zesílení nulové. Šířka propustného frekvenčního pásma je závislá na parametru  $\xi_{BP}$ , který určuje poměrné tlumení filtru, například o velikosti 0,7.

- Obvody aktivního řízení vibrací kluzného ložiska mohou být provedeny jako analogové obvody, které zpracovávají analogové signály. Druhou možností je řešení obvodů s použitím mikroprocesoru. Analogový pásmový filtr může být navržen jen pro stacionární otáčky hřídele ložiska. Pro otáčky, které se v čase podstatně mění jako za rozběhu a doběhu stroje, lze přeladitelný filtr realizovat jen číslicově programem mikroprocesoru. Stejnosměrný zesilovač napětí může být sestaven z diskrétních součástek, nebo to může být integrovaný obvod.
- Dvojparametrový regulátor lze zkonstruovat analogový a číslicový. Zapojení takového regulátoru typu PID je všeobecně známé.

#### Průmyslová využitelnost

Aktivně řízené kluzné ložisko má uplatnění ve strojích s vysokými otáčkami a zatížením hřídele. Má potenciál být použito všude tam, kde valivá ložiska nemají dostatečnou životnost pro zatížení vnější dráhy odstředivou silou valivého členu. Uplatnění je v uložení vřeten pro vysoce rychlostní obrábění, centrifugy, setrvačníky pro uchování kinematické energie a gyroskopy.

### Seznam vztahových značek

- 1 pohyblivé pouzdro kluzného ložiska
- 2 hřídel
- 3 první snímač skutečné polohy  $y_1$
- 4 druhý snímač skutečné polohy  $y_2$
- 5 první piezoaktuátor
- 6 druhý piezoaktuátor
- 7 pružný element
- 8 první žádaná poloha  $y_{1,SP}$  hřídele
- 9 druhá žádaná poloha  $y_{2,SP}$  hřídele
- 10 první regulační odchylka  $e_1$
- 11 druhá regulační odchylka  $e_2$
- 12 polohový regulátor - Controller
- 13 první pásmový filtr
- 14 druhý pásmový filtr
- 15 první akční veličina  $u_1$
- 16 druhá akční veličina  $u_2$
- 17 první stejnosměrný zesilovač elektrického napětí
- 18 druhý stejnosměrný zesilovač elektrického napětí
- 19 snímač otáček hřídele
- 20 proporcionální blok
- 21 parametrický vstup obou pásmových filtrů (Tunable BP)

-11- X

7V 2014-744

## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob aktivního řízení vibrační kluzných ložisek s použitím piezoaktuátorů, **vyznačující se tím**, že skutečná poloha hřídele (2) vůči ložiskovému tělesu (1) se měří ve dvou navzájem kolmých směrech prostřednictvím prvního snímače (3) skutečné polohy  $y_1$  a druhého snímače (4) skutečné polohy  $y_2$  a tyto skutečné polohy  $y_1$  a  $y_2$  se odčítají od první žádané polohy ( $y_{1,SP}$  (8)) a druhé žádané polohy ( $y_{2,SP}$  (9)), přičemž výsledkem jsou regulační odchylky ( $e_1$  (10)) a ( $e_2$  (11)), které jsou vstupem jednak pro dvojparametrický polohový regulátor (12) a jednak pro první pásmový filtr (13) a druhý pásmový filtr (14), jejichž propustná frekvence  $f_w$  je odvozena od frekvence  $f_R$  otáček hřídele (2), která je měřena snímačem (19) otáček hřídele (2), přičemž výstupy dvojparametrického polohového regulátoru (12) a prvního pásmového filtru (13) a druhého pásmového filtru (14) jsou sečteny a zavedeny jako první a druhá akční veličina ( $u_1$  (15)) a ( $u_2$  (16)) k prvnímu stejnosměrnému zesilovači (17) elektrického napětí a druhému stejnosměrnému zesilovači (18) elektrického napětí, které jsou připojeny k prvnímu a druhému piezoaktuátoru (5) a (6), které působí ve dvou navzájem kolmých směrech na pohyblivé pouzdro (1) kluzného ložiska, uvnitř kterého je otočně uložena zmíněná hřídel (2).

2. Zařízení k provádění způsobu podle nároku 1, zahrnuje hřídel (2) uložený v pohyblivém pouzdru (1), jež je opatřeno oporou v podobě pružných členů (7) s pohyblivým pouzrem (1), se kterým jsou dále spřaženy první a druhý piezoaktuátor (5 a 6), jenž jsou uspořádány v ložiskovém tělese, a to v rovině kolmé na osu hřídele (2) a jsou vzájemně otočeny o  $90^\circ$ , **vyznačující se tím**, že dále zahrnuje první snímač (3) skutečné polohy  $y_1$  a druhý snímač (4) skutečné polohy  $y_2$ , které jsou orientovány rovnoběžně s polohou prvního a druhého piezoaktuátoru (5 a 6) a snímač otáček (19) hřídele (2), přičemž první snímač (3) skutečné polohy  $y_1$  je připojen přes sumátor jednak ke vstupu regulátoru (12) polohy a jednak přes první pásmový filtr (13) k sumátoru, který je dále připojen na vstup prvního stejnosměrného zesilovače (17) napětí, který je propojen s prvním piezoaktuátorem (5), zatímco druhý snímač (4) skutečné polohy  $y_2$  je

-12-

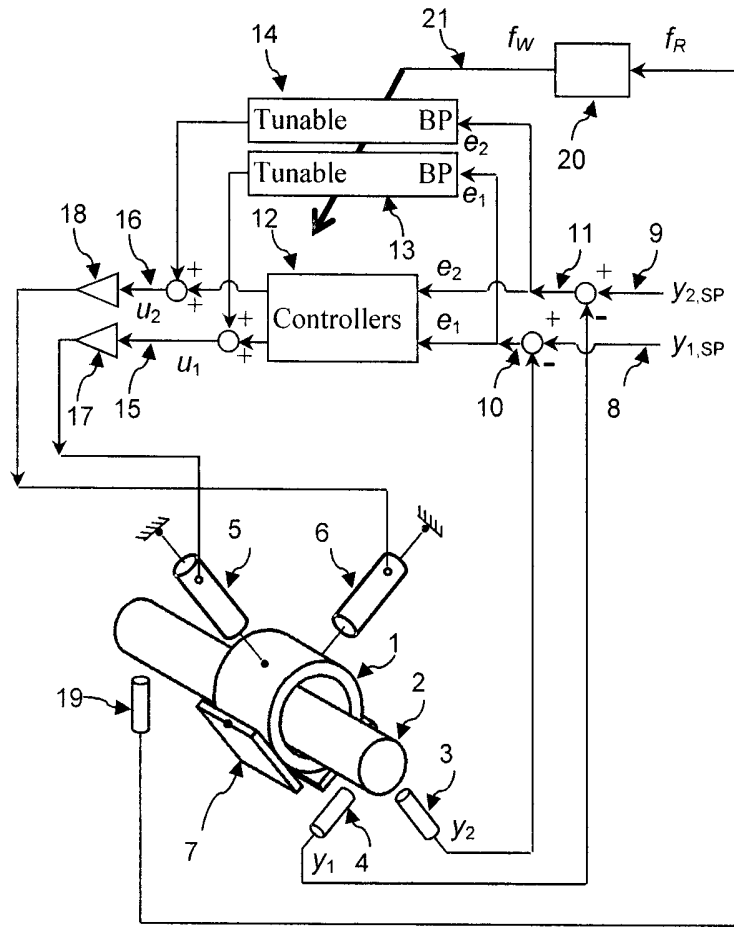
X



připojen přes sumátor jednak ke vstupu regulátoru (12) polohy a jednak přes druhý pásmový filtr (14) k sumátoru, který je dále připojen na vstup druhého stejnosměrného zesilovače (18) napětí, který je propojen s druhým piezoaktuátorem (5), přičemž snímač (19) otáček hřídele (2) je připojen na vstup proporcionálního bloku (20), jehož parametrický výstup je připojen na parametrické vstupy (21) prvního a druhého pásmového filtru (13 a 14).

1/1 x

PV 2014-744



Obr. 1