

# PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

## 310 097

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

*G01P 15/093* (2006.01)  
*G01P 15/18* (2013.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2022-409**  
(22) Přihlášeno: **29.09.2022**  
(40) Zveřejněno: **10.04.2024**  
**(Věstník č. 15/2024)**  
(47) Uděleno: **27.06.2024**  
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **07.08.2024**  
**(Věstník č. 32/2024)**

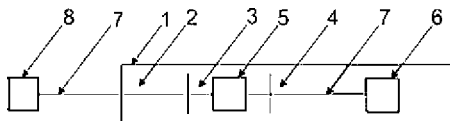
(56) Relevantní dokumenty:  
RU 2716867 C1; EP 1051629 A1; CN 105806468 A; CN 102621403 A; CN 112379127 A; US 2006139652 A1.

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

(72) Původce:  
Ing. Marcel Fajkus, Ph.D., Ostrava, Hrabůvka, CZ  
Ing. Michael Fridrich, Trutnov, Dolní Předměstí,  
CZ  
Ing. Michal Kostelanský, Hodonín, CZ  
Ing. Emil Bednár, Zubák, SK

(54) Název vynálezu:  
**Optovláknový vibrační snímač**

(57) Anotace:  
Optovláknový vibrační snímač svou podstatou spadá do oblasti měření a zkoušení. Zejména pak k monitorování vibrací, a tedy i životnosti například řezných nástrojů. Jeho součástí je základna (9) a pouzdro, které je s touto základnou rozěbitelně spojeno. Na základně (9) se nachází nejméně jedna drážka pro nejméně jeden vibrační element (1) vyrobený 3D tiskem a nejméně jedna drážka pro umístění nejméně jednoho optického vlákna (7). Všechny hlavní části optovláknového vibračního snímače jsou vytvořeny prostřednictvím 3D tisku. Samotný snímač představuje stavebnici, kterou je možné konfigurovat na jednoosý snímač pro měření vertikální složky vibrací nebo na dvouosý snímač, kdy je možné měřit vertikální i horizontální složku vibrací.



CZ 310097 B6

## Optovláknový vibrační snímač

### Oblast techniky

5

Vynález svou podstatou spadá do oblasti měření a zkoušení. Přímo se tak týká měření vibrací hydraulických strojů s možností sledování ostří a zároveň sledování životnosti řezných a lisovacích nástrojů.

10

### Dosavadní stav techniky

Ve výrobních hydraulických strojích jsou jejich stěžejními díly řezné nebo lisovací nástroje, jejichž životnost je v současnosti garantována počtem jimi vyrobených kusů nebo provedených cyklů řezů/lisů. Tento počet je ovšem všeobecně nadhodnocený. S využitím systémů pro monitorování stavu těchto nástrojů nebo kvality jimi vyráběných dílů je možné životnost těchto nástrojů prodloužit, což vede k úsporám nákladů při jejich opětovném nákupu.

Životnost těchto nástrojů je možné prodloužit několika způsoby. Prvním z nich je subjektivní pozorování vyráběných dílů obsluhou zařízení, která na základě výsledné kvality výrobků stanoví nutnost výměny nástroje. V případě subjektivního pozorování je tedy nutná přítomnost pracovníka po celou dobu výroby, v případě více strojů, je nutné pro tento typ kontroly mít i více pracovníků. Velkou nevýhodou subjektivní kontroly, kromě finanční náročnosti, je i fakt, že lidské oko nedokáže v rychlém procesu výroby kontrolovat detaily, nebo identifikovat vnitřní vady výrobku.

Variantním řešením předchozí metody je automatizovaná kontrola výrobků, kdy je člověk nahrazen strojem (např. strojové vidění). V této oblasti je k dispozici množství různých řešení jako jsou kamerové nebo laserové inspekční systémy apod. Tyto systémy mají dostatečnou rychlost při identifikaci problému v procesu výroby i dostatečné rozlišení. Nicméně tato zařízení jsou z technického hlediska komplikovaná a jejich velkou nevýhodou je rovněž jejich značná finanční náročnost. Tato finanční náročnost je pak přímo úměrná počtu nástrojů, které mají prostředky automatizované kontroly vyhodnocovat.

Na toto téma existuje řada článků mezi které patří například: POCZEŚNY, Tomasz, Krzysztof PROKOPCZUK, Andrzej W. DOMAŃSKI, Francis BERGHMANS, Anna G. MIGNANI a Piet DE MOOR. Comparison of macrobend seismic optical fiber accelerometer and ferrule-top cantilever fiber sensor for vibration monitoring [online]. In: . 2012-4-23, 84392N- [cit. 2022-09-22]. Dostupné z: doi:10.1117/12.928306, kdy se jedná o snímač, který využívá ohybový člen kmitající vlivem působení vnější vibrace. Princip snímání je založen na dvou světelných vlnách snímaných fotodetektozem. Geometrické vlastnosti ohybového členu nijak neovlivňují optické vlákno, jelikož optické vlákno není v přímém kontaktu (fixováno) na ohybový člen. Toto zařízení využívá pro svůj chod úzkospektrální laserovou diodu. Samotná konstrukce umožňuje monitorovat vibrace pouze v jednom směru. V případě nutnosti monitorovat vibrace ve dvou směrech je nutné využít dva tyto snímače.

Dalším článkem z této oblasti je LEE, Young-Sup, Sang-Kwon LEE a Kihong SHIN. Comparative analysis of two impact-sensitive sensors for improved estimation of time difference of arrivals. Journal of Mechanical Science and Technology [online]. 2012, 26(10), 3193-3200 [cit. 2022-09-22]. ISSN 1738-494X. Dostupné z: doi:10.1007/s12206-012-0828-2. V článku je popsán snímač, který umožňuje monitorovat vibrace pouze v příčném směru, tedy nikoliv v horizontální nebo vertikální rovině. Díky měření vibrací pouze v příčném směru nelze za pomoci dvou těchto snímačů monitorovat vibrace ve dvou osách. Pro měření ohybu ohybového elementu je pak využít piezoelektrický převodník.

55

GUO, Tuan, Julian D. C. JONES, Liyang SHAO, Hoyin AU, Hwa-yaw TAM a Jacques ALBERT. Tilted fiber Bragg grating-based accelerometer [online]. In: . 2009-10-5, 750335- [cit. 2022-09-22]. Dostupné z: doi:10.1117/12.834936 v článku je popsáno řešení využívající ohybový člen s Braggovskou mřížkou. Tento ohybový člen je však tvořen polymerovou trubicí, ve které je umístěno optické vlákno s Braggovskou mřížkou, což snižuje možnost ovlivňovat citlivost tohoto typu snímače. Tento snímač je navržen pro měření vibrací, nedokáže však odlišit jejich jednotlivé složky (horizontální, vertikální, příčnou). Zařízení je konstruováno pro speciální optické vlákno v blízkosti tzv. „tilted FBG“, kdy jsou jednotlivé části vlákna mírně vyosené.

VALLAN, Alberto, Sabrina GRASSINI a Guido PERRONE. Surface Treatments to Enhance the Sensitivity of Plastic Optical Fiber Based Accelerometers. Key Engineering Materials [online]. 2013, 543, 297-301 [cit. 2022-09-22]. ISSN 1662-9795. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.543.297, v tomto případě je vibračním elementem tenký ocelový plátek s připevněným optickým vláknem, které však není vybaveno Braggovskou mřížkou a tedy i samotná citlivost tohoto zařízení je velmi malá.

KE, Tao, Tao ZHU, Yunjiang RAO a Ming DENG. Accelerometer based on all-fiber Fabry-Pérot interferometer formed by hollow-core photonic crystal fiber. Microwave and Optical Technology Letters [online]. 2010, 52(11), 2531-2535 [cit. 2022-09-22]. ISSN 08952477. Dostupné z: doi:10.1002/mop.25529. V tomto článku je popsáno řešení s ohybovým členem na kterém je umístěno speciální optické vlákno s tzv. Fabry-Perotovou dutinou, jejíž deformace ovlivňuje intenzitu odraženého světla na této dutině. Součástí optického vlákna není Braggovská mřížka. Konstrukce takového snímače pak umožňuje měřit vibrace pouze v jednom směru a pro měření ve dvou směrech je nutné využít dva identické snímače. Pro měření na tomto zařízení je využíván úzkospektrální laserový zdroj světla.

VALLÉE, Réal, Ziyi ZHANG, Pingyu ZHU, et al. The mass loading effect on lightweight cantilever mode frequency measurement by optical fiber sensor [online]. In: . 2008-6-18, 70991X- [cit. 2022-09-22]. Dostupné z: doi:10.1117/12.804703 je dalším zajímavým článkem z této oblasti. Popsané zařízení využívá vibrační člen, na kterém je do oblouku uchyceno optické vlákno a je nutno zapojit oba konce optického vlákna, tedy v tomto případě je nutno využít dva kabely. Délka optického vlákna na ohybovém členu představuje délku několika metrů. K vyhodnocování měření je nutno mít k dispozici tzv. polarizační dělič – je nutno měřit intenzitu světla prostřednictvím fotodetektoru v každé větvi optického vlákna. Zařízení je rovněž nevhodné pro měření ve dvou osách, jelikož i pro měření vibrace pouze v jedné ose, jsou zapotřebí dva fotodetektory.

Z patentové literatury je pak známo řešení JPH 06201720 A „Optical fiber accelerometer“, kdy tělo senzoru obsahuje 3 konzole, na kterých jsou osazena zrcadla. Zařízení umožňuje snímat vibrace ve třech osách, nicméně toto zařízení využívá pro každý snímač tři různé zdroje záření. Vzhledem ke konstrukci se světlo ve snímači šíří volným prostorem, nikoliv v optickém vlákně. Konzole se v tomto případě neohýbají, ale kmitají v rovině, čímž mění vzdálenost, kterou musí světlo urazit od zrcadla k zrcadlu, což znamená, že zde nedochází ke změnám geometrických vlastností vibračního prvku. Zařízení není vybaveno Braggovskými mřížkami.

Dalším zajímavým řešením z patentové literatury je US 2022074966 A1 „Integrated fiber bragg grating accelerometer in a surgical instrument“, součástí tohoto zařízení je ohybový člen s Braggovskou mřížkou, nicméně tento snímač dokáže monitorovat pouze celkovou akceleraci, nikoliv akceleraci v jednotlivých osách. Zařízení je určeno pro specializované chirurgické nástroje, nikoliv pro strojírenský průmysl. Velmi zajímavým řešením je zařízení popsané ve spisu JP 2005030796 A „Optical accelerometer“, jehož součástí je ohybový člen s optickým vláknem, ve kterém je integrována Braggovská mřížka. Tento snímač monitoruje vibrace pouze v jednom směru. Zařízení je určeno pouze ke snímání ve vertikální poloze, a proto jej lze využít k průmyslovým aplikacím pouze v omezené míře.

### Podstata vynálezu

- U řezných nebo hydraulických strojů vznikají v procesu výroby vibrace, které jsou závislé na mechanickém uspořádání stroje, na způsobu výroby (řezání/lisování), na materiálu, který je obráběn, ale také na stavu ostří řezných/lisovacích nástrojů. Se snižující se ostrostí (kvalitou) nástrojů dochází k zesilování úrovně těchto vibrací, které se tak stávají indikátorem stavu ostří, a tedy faktorem určujícím zbývající životnost/životnosti nástroje/nástrojů.
- Pro monitorování vibrací hydraulických strojů, ve dvou navzájem kolmých osách (vertikální osa a horizontální osa) slouží níže popsany optovláknový vibrační snímač. Samotná konstrukce základního jednoosého snímače je tvořena kulatou základnou s drážkou/drážkami, vibračním elementem a ochranným pouzdrem.
- Základna slouží k upevnění snímače na stroj. Do této základny je rozebíratelným způsobem fixován nejméně jeden vibrační element, tvořený tenkým plátkem, který se kmitavě ohýbá vlivem působícího zrychlení generovaného vibracemi stroje. Poslední částí zařízení je ochranné pouzdro, jehož úkolem je ochrana zařízení před mechanickým poškozením, ale také vnikem nežádoucích prachových částí.
- Stěžejní částí zařízení je tedy vibrační element, na který je fixováno optické vlákno s Braggovskou mřížkou. Při působení vibrací na snímač je vibrační element rozkmitán. Rozkmitáním vibračního elementu dochází ke změně geometrických rozměrů jak samotného vibračního elementu, tak optického vlákna s Braggovskou mřížkou. Jinými slovy řečeno, kmitání vibračního elementu představuje zkracování jedné jeho strany a prodlužování strany druhé, které se v čase střídá. Změnou délek vibračního elementu tedy dochází také ke změně geometrických vlastností Braggovské mřížky a tím i ke změně spektrální polohy odraženého světla (modulaci světla), které prochází vláknem a odráží se na Braggovské mřížce. Vyhodnocením spektrálních změn světla je pak možné určit velikost vibrací nebo jejich frekvenční složení.
- V ideálním stavu je však vhodné měřit oba druhy vibrací – vertikální i horizontální. Ziskáním informací o stavu vibrací v obou osách je možné dosáhnout lepších odhadů o stavu ostří nástrojů. V tomto případě vibrační snímač obsahuje dva vibrační elementy, které jsou vůči sobě pootočený o 90°. Na každém vibračním elementu je jedno vlákno s jednou s Braggovskou mřížkou nebo se dvěma Braggovskými mřížkami.
- V případě, že vibrační element/elementy je/jsou vybaven/vybaveny dvěma Braggovskými mřížkami, pak umožňuje provést konverzi změny spektrální polohy na jiný parametr světla, nejlépe optický výkon, a proto optické vlákno obsahuje na každém vibračním elementu dvě Braggovské mřížky, jejichž odrazná spektra se částečně překrývají. Díky tomuto uspořádání je možné vyhodnocovat vibrace pomocí snímání výkonu odraženého světla měřičem optického výkonu – fotodetektořem.
- Citlivost vibračního elementu na měřené vibrace lze nastavovat prostřednictvím volby tloušťky ohybové části vibračního elementu. Čím větší je tloušťka ohybové části, tím je citlivost na působící vibrace menší. Dále je možné citlivost zařízení řídit volbou výplně prostřednictvím 3D tisku – vibrační element tak může být celistvý nebo s dutinkami. Případně je možné na horní část vibračního elementu/elementů nasadit závaží.
- Mezi výhody zařízení patří jeho imunita vůči elektromagnetickému rušení, které v místech s hydraulickými stroji a napájecími transformátory jsou. Není tedy nutné řešit komplikované odstínění přívodních kabeláží nebo elektronických ochran v elektronické jednotce. Dále elektrická pasivita – vibrační snímače v místech měření nevyžadují elektrické napájení, čímž se snižují nároky na přívodní kabeláž. Zařízení je výhodné i z hlediska měření vertikální a horizontální složky vibrací pomocí jediného snímače. Nespornou výhodou je modulárnost a

jednoduchost zařízení. Dále je možné snadno rozšířit měřicí místa o další vibrační snímače a tedy tak vytvořit měřicí systém, který je finančně nenáročný. Modulárnost zařízení rovněž umožňuje zvolit výkonové nebo spektrální vyhodnocení a také možnost využít vibrační snímač jako jednoosý nebo dvouosý. Zařízení rovněž přináší nižší pořizovací náklady na monitorovací systém, a to díky tomu, že s jedinou vyhodnocovací jednotkou je možné monitorovat více strojů současně. Například, oproti kamerovému systému, kdy je nutné implementovat ke každému stroji jednu kameru, jejichž pořizovací náklady jsou nesrovnatelně vyšší.

## 10 Objasnění výkresů

- Obr. 1 představuje uspořádání základny jednoosého vibračního snímače.
- Obr. 2 představuje uspořádání základny dvouosého vibračního snímače pro implementaci dvou vibračních elementů pootočených o 90°.
- Obr. 3 Vibrační element s měřicí Braggovskou mřížkou – pro vyhodnocení spektrálním analyzátozem.
- Obr. 4 Vibrační element s dvojicí Braggovských mřížek – pro vyhodnocení měřičem optického výkonu.
- Obr. 5 Různé tloušťky ohybové části vibračního elementu.
- Obr. 6 Schéma vibračního elementu se dvěma Braggovskými mřížkami a přívodním optickým vláknem, zakončený konektorem.
- Obr. 7 Průběh celkového měření vibračního jednoosého snímače podle příkladu uskutečnění 5.
- Obr. 8 Průběh měření z jednoosého vibračního snímače podle příkladu uskutečnění 5- detail s 9ti řezy.

## Příklady uskutečnění vynálezu

35

### Příklad 1

Optovláknový vibrační snímač, který je v tomto případě jednoosý a spektrální, má v tomto případě kruhovou základnu 9 mimo jejíž střed se nachází drážka A pro umístění vibračního elementu 1, přičemž s touto drážkou A tvoří dvojici drážka A1 12 pro optické vlákno 7. Tato drážka A1 12 pro optické vlákno 7 je od kraje základny 9 až po drážku A 10.

Základním tvarem vibračního elementu 1 je obdélník jehož středem je vedeno optické vlákno 7 s Braggovskou mřížkou, které přesahuje dolní část vibračního elementu 1, přičemž tato přesahující, volná část optického vlákna 7 je zakončena konektorem 8. Vibrační element 1 je rozdělen do tří částí – jedná se o ohybovou část 4 vibračního elementu 1 pro umístění měřicí Braggovské mřížky 6, doraz 3 vibračního elementu 1 a fixační část 2 vibračního elementu 1. Fixační část 2 je v tomto případě určena pro zasunutí do drážky A 10. Součástí vibračního snímače je i kryt, který je rozebíratelně spojen se základnou 9. Optické vlákno 7 je fixováno na ohybové části 4 vibračního elementu 1. Vibrační element 1 je tvořen prostřednictvím 3D tisku.

### Příklad 2

Příklad 2 se od příkladu 1 odlišuje tím, že snímač je vybaven dvěma vibračními elementy 1, které jsou umístěny v drážce A 10 a drážce B 11, přičemž tyto drážky A, B 10, 11 jsou vůči sobě

umístěny tak, aby svíraly úhel  $90^\circ$ . Tento úhel svírá i drážka A1 12 s drážkou B1 13 pro optické vlákno 7, přičemž drážka B1 13 ústí do drážky A1 12. V tomto případě zařízení představuje optovláknový dvouosý spektrální vibrační snímač.

5    Příklad 3

Příklad 3 se od předchozích příkladů odlišuje tím, že vibrační element 1 není celistvý, ale je vytvořen technologií 3D tisku s dutinkami řídicími jeho citlivost.

10    Příklad 4

Příklad 4 se od předchozích příkladů odlišuje tím, že pro měření jsou využity dva snímače a tvoří tak monitorovací síť, tedy je možné měřit na více místech monitorované oblasti.

15    Příklad 5

Příklad 5 se od příkladu 1 odlišuje tím, že na vibračním elementu 1 jsou v tomto případě v optickém vláknu 7 umístěny dvě Braggovské mřížky. V tomto provedení, je na zesíleném dorazu 3 vibračního elementu 1 umístěna referenční Braggovská mřížka 5 a na ohybové části 4 vibračního elementu 1 je umístěna měřicí Braggovská mřížka 6. Optické vlákno 7 je v tomto případě fixováno na ohybové části 4 vibračního elementu 1 a na dorazu 3. Zařízení, tedy snímač, v tomto případě představuje optovláknový jednoosý vibrační snímač pro měření vibrací prostřednictvím optického výkonu.

25    Při praktické aplikaci optovláknového jednoosého vibračního snímače byl sledován hydraulický stroj, který pomocí řezného nástroje cyklicky řezal ocelovou pásovinu pro následnou výrobu dílů kolejnic používaných pod automobilovými sedačkami. Jednoosý optovláknový vibrační snímač byl implementován tak, aby monitoroval vertikální vibrace stroje. Měření probíhalo po dobu 1000 min, při kterých došlo k 2125 řezů ocelového pásu, viz obr. 7. Na obr. 8 je zobrazen detail průběhu pouze s devíti řezy tohoto výše zmíněného hydraulického stroje.

30    Příklad 6

Příklad 6 se od příkladu 2 odlišuje tím, že představuje kombinaci příkladu 2 a 5 – tedy jedná se o snímač s drážkou A 10 a drážkou B 11, které jsou obě určeny pro umístění vibračních elementů 1 a dále s drážkou A1 12 pro optické vlákno 7 a s drážkou B1 13 pro optické vlákno 7, přičemž každý z vibračních elementů 1 disponuje dvěma Braggovskými mřížkami – měřicí Braggovskou mřížkou 6 a referenční Braggovskou mřížkou 5. V tomto případě představuje zařízení optovláknový dvouosý vibrační snímač pro měření vibrací prostřednictvím optického výkonu.

40

Příklad 7

Příklad 7 se od předchozích příkladů 5 a 6 odlišuje tím, že pro měření jsou využity dva snímače pro měření vibrací prostřednictvím optického výkonu a tvoří tak monitorovací síť, tedy je možné měřit vibrace na dvou místech zařízení.

45

Průmyslová využitelnost

50    Optovláknový vibrační snímač lze využít v aplikacích, kde je nutné měřit směrové vibrace nebo akceleraci, a to až ve dvou navzájem kolmých osách. Mezi tyto praktické aplikace patří měření vibrací strojů (hydraulické stroje, turbíny, čerpadla, apod.), dále měření vibrací ocelových a stavebních konstrukcí (stožáry, jeřáby, mosty, komíny, apod.) a je možné jej užít například i pro měření vibrací kolejnic.

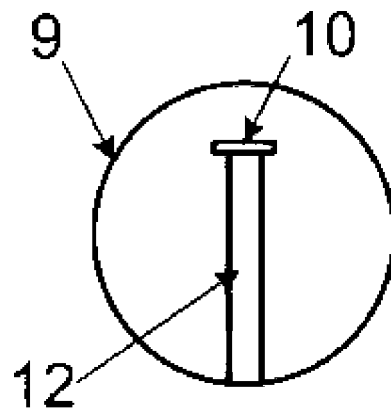
## PATENTOVÉ NÁROKY

- 5 1. Optovláknový vibrační snímač, jehož součástí je optické vlákno (7) a nejméně jedna Braggovská mřížka, **vyznačující se tím**, že jde o stavebnicový systém, jehož součástí je základna (9) a pouzdro, které je s touto základnou (9) rozebíratelně spojeno, přičemž na základně (9) se nachází nejméně jedna drážka pro nejméně jeden vibrační element (1) a nejméně jedna drážka pro umístění nejméně jednoho optického vlákna (7), přičemž tento vibrační element (1) je vytvořen jako celistvý nebo s dutinkami prostřednictvím 3D tisku.
- 10 2. Optovláknový vibrační snímač podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že vibrační element (1) má tvar obdélníku a skládá se ze tří částí z horní ohybové části (4), dorazu (3) a dolní fixační části (2), přičemž v jeho středu je upevněno optické vlákno (7) s nejméně jednou Braggovskou mřížkou a volná část optického vlákna (7) přesahující fixační část (2) vibračního elementu (1) je zakončena konektorem (8).
- 15 3. Optovláknový vibrační snímač podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že doraz (3) je určen pro umístění referenční Braggovské mřížky (5), na horní ohybové části (4) je umístěna měřicí Braggovská mřížka (6).
- 20 4. Optovláknový vibrační snímač podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že na základně (9) se nachází drážka A (10) pro vibrační element (1) pro měření vertikální složky vibrací a drážka B (11) pro vibrační element (1) pro měření horizontální složky vibrací, které jsou vůči sobě pootočený o 90°, přičemž k drážce A (10) vede drážka A1 (12) pro optické vlákno (7), která vede až ke kraji základny (9) a kříží se v úhlu 90° s drážkou B1 (13) pro optické vlákno (7), která vede k drážce B (11).

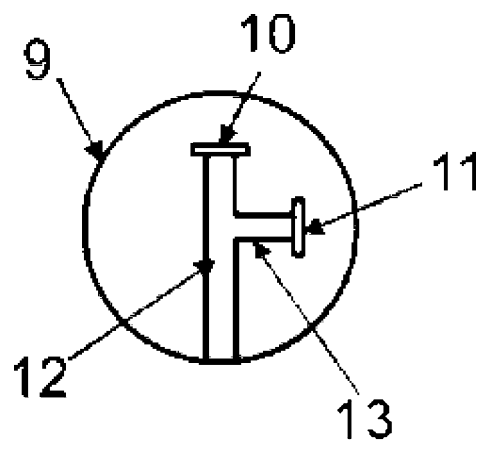
## 4 výkresy

Seznam vztahových značek:

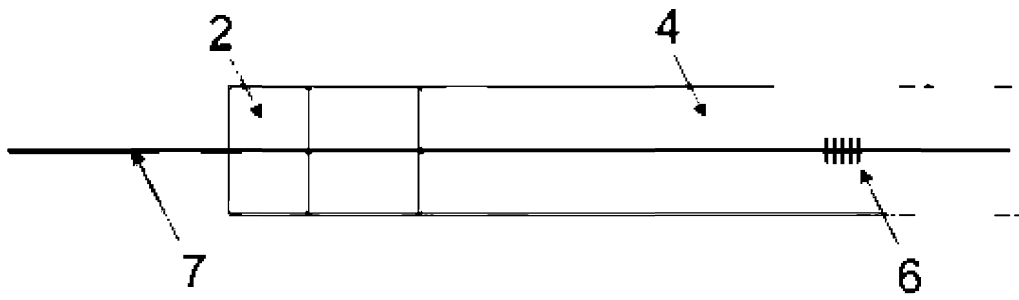
1. Vibrační element
2. Fixační část vibračního elementu
3. Doraz vibračního elementu
4. Ohybová část vibračního elementu
5. Referenční Braggovská mřížka
6. Měřicí Braggovská mřížka
7. Optické vlákno
8. Konektor pro ukončení optického vlákna
9. Základna snímače
10. Drážka A pro vibrační element měřící vertikální složku vibrací
11. Drážka B pro vibrační element měřící horizontální složku vibrací
12. Drážka A1 pro optické vlákno vibračního elementu drážky A
13. Drážka B1 pro optické vlákno vibračního elementu drážky B



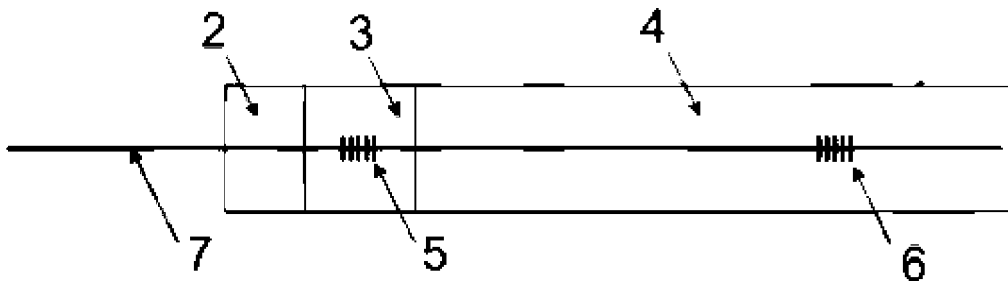
Obr. 1



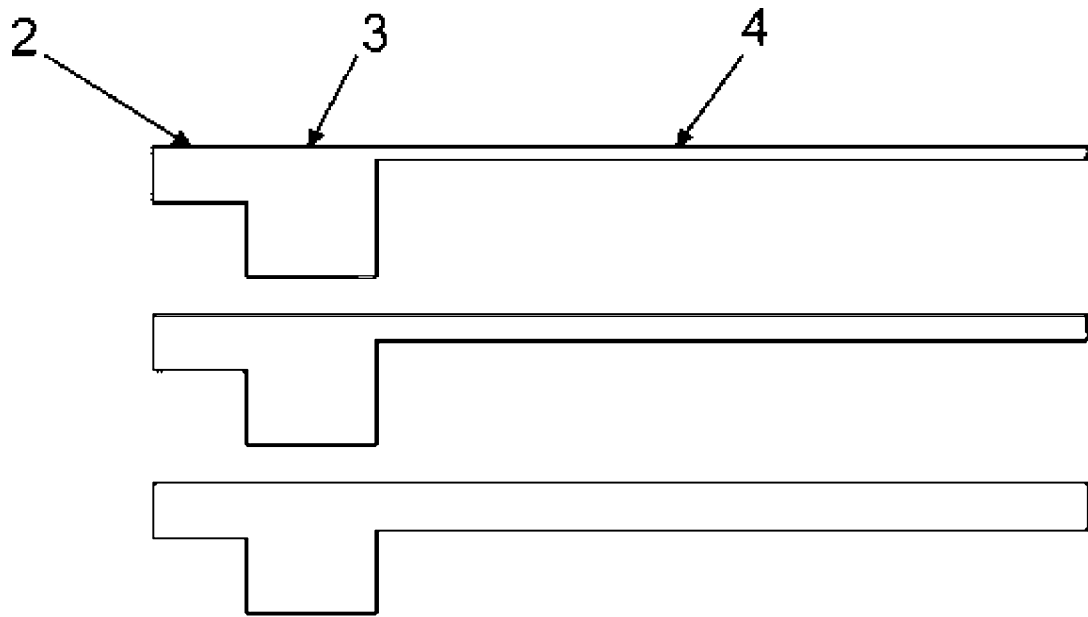
Obr. 2



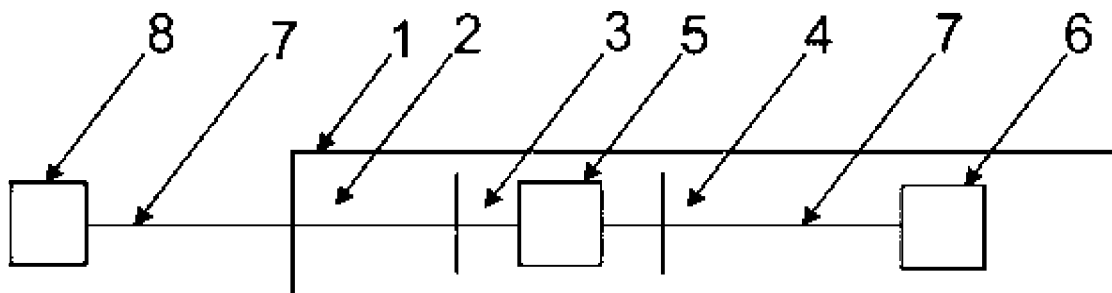
Obr. 3



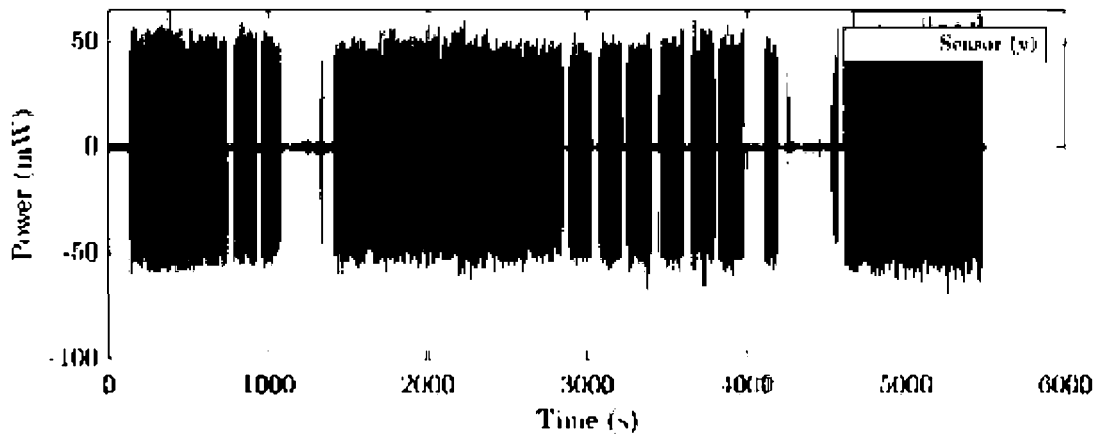
Obr. 4



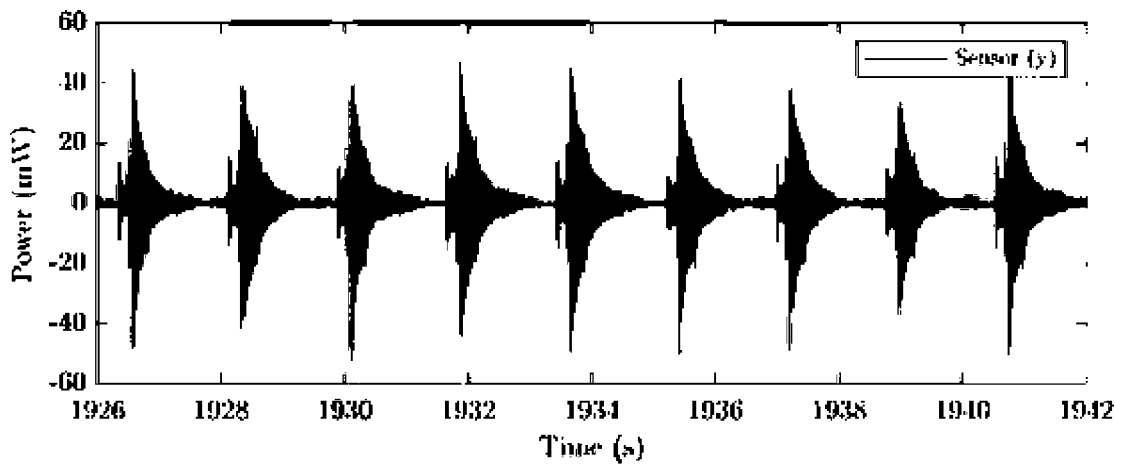
Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8