

**G01D 21/00** (2006.01)  
**G01D 5/353** (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

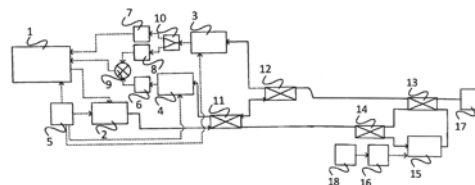
(21) Číslo přihlášky: **2019-628**  
(22) Přihlášeno: **09.10.2019**  
(40) Zveřejněno: **21.04.2021**  
**(Věstník č. 16/2021)**  
(47) Uděleno: **05.05.2021**  
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **16.06.2021**  
**(Věstník č. 24/2021)**

(56) Relevantní dokumenty:  
US 4552457 A1; JP 2004061407 A2; US 20190011253 A3; CN 104316106 A4.

(73) Majitel patentu:  
Vysoké učení technické v Brně, Brno, Veveří, CZ  
CESNET, zájmové sdružení právnických osob,  
Praha 6, Dejvice, CZ

(72) Původce:  
Ing. Petr Münster, Ph.D., Slavičín, CZ  
Ing. Josef Vojtěch, Ph.D., Praha 5, Zbraslav, CZ  
Ing. Tomáš Horváth, Ph.D., Ostrava, Zábřeh, CZ

(74) Zástupce:  
Ing. Václav Kratochvíl, Husníkova 2086/22, 158 00  
Praha 5, Stodůlky



(54) Název vynálezu:  
**Distribuovaný optický vláknový senzorický systém**

(57) Anotace:  
Distribuovaný optický vláknový senzorický systém je složen ze dvou jednotek – hlavní a vzdálené. Hlavní jednotka obsahuje první vazební člen (11) a druhý vazební člen (12), přičemž první vazební člen (11) zajišťuje interferenci signálů z referenčního a snímacího ramene šířících se CCW směrem, frekvenčně posunutý od nosné frekvence laserového zdroje (2) záření. Přes jeden vstupní port prvního vazebního členu (11) je navázán signál z laserového zdroje (2) záření napájeného napájecím modulem (5) do obou ramen interferometru. Druhý vazební člen (12) slouží k získání odraženého výsledku CW interferometru od reflektoru (17), jeho detekci prvním fotodetektorem (3) a k získání přesného frekvenčního posunu generovaného pomocí akusto-optického modulátoru (15) a oscilátoru (16) ve vzdálené jednotce. Oba signály, jak filtrovaný z prvního fotodetektoru (3), tak demodulovaný signál z druhého fotodetektoru (4) jsou propojeny s řídicí jednotkou (1), kde dochází k jejich digitalizaci a zpracování.

## Distribuovaný optický vláknový senzorický systém

### Oblast techniky

5

Technické řešení se týká distribuovaného optického vláknového systému na principu duálního Machova-Zehnderova interferometru umožňující lokalizaci událostí za využití jednoho páru optických vláken. Systém nalezne uplatnění jako distribuovaný akustický senzor sloužící k ochraně perimetrů a spadá do oblasti optoelektrických vláknových senzorů.

10

### Dosavadní stav techniky

Distribuované optické vláknové senzory spadají do kategorie intrinsických senzorů a jsou charakteristické tím, že modulace světla snímaným jevem probíhá přímo v optickém vlákne, zatímco je světlo vlákem vedeno. V současné době se ke snímání akustických/mechanických vibrací v okolí optických vláken využívá hlavně technik na principu reflektometrie, nebo na principu interferometrie. V případně reflektometrických systémů jsou to Rayleighův rozptyl a Brillouinův rozptyl, u interferometrických systémů využívají systémy Machova-Zehnderova, Michelsonova, případně Sagnacova interferometru. Právě interferometrické systémy jsou konstrukčně jednodušší a nabízí vyšší citlivost, nicméně pro lokalizaci události je nutné využít tři samostatných vláken nebo kombinaci více zapojení, což je značně neekonomické a neefektivní.

Při vhodném zapojení distribuované systémy umožňují detekci a lokalizaci událostí v blízkém okolí optických vláken/kabelů na vzdálenost až sto kilometrů s rozlišením desítky metrů, přestože je hloubka uložení mnohdy až jeden metr.

Současný výzkum se tedy převážně zaměřuje na optimalizaci zapojení, redukci frekvenčního šumu, zvětšení dosahu systému, optimalizaci v oblasti zpracování dat apod. Výhoda použití rozptylových jevů, ať už Rayleighův nebo Brillouinův rozptyl, je v relativně snadné lokalizaci události, využití pouze jednoho standardního telekomunikačního vlákna pro měření a v možnosti měření pouze z jedné strany vlákna. Nevýhodou je pak vysoká komplexnost zapojení a složité signálové zpracování, což má za následek vysoké pořizovací náklady. Typicky systémy pracují do vzdálenosti 40 až 100 km s prostorovým rozlišením 1 až 100 metrů. Rozlišovací schopnost tlaku/deformace vlákna běžně dosahuje hodnot  $0,1 \mu\epsilon^3$  při frekvenčním rozsahu 0,01 až 50 kHz.

Interferometry pracují na principu interference, což znamená, že se porovnává rozdíl šíření drah optického svazku mezi měřicím a referenčním ramenem. Fáze světla se může měnit při působení vnějších vlivů na optické vlákno, proto je možné změny fáze světla využít pro detekci fyzikálních veličin, jako jsou například i akustické vibrace, či elektromagnetické signály. Mezi nejběžnější zapojení patří Machův-Zehnderův interferometr a Michelsonův interferometr.

Použití Machova-Zehnderova interferometru (MZI) pro měření vibrací našlo velké využití z důvodu jednoduchého zapojení. MZI je považován za cenově efektivní řešení distribuovaného optického vláknového snímání. Zdrojem světla je obvykle vysoce koherentní laserová dioda, dále zapojení obsahuje vazební člen pro rozdělení světelného paprsku do dvou ramen. Vnější vibrace jsou aplikovány na měřicí rameno, zatímco referenční rameno je izolováno od vnějších vibrací. Změny délky a indexu lomu tedy způsobují fázovou modulaci mezi měřicím ramenem a referenčním ramenem. Následně se fázové modulace převedou na modulaci intenzity pomocí druhého vazebního členu a převedou na elektrický signál pomocí fotodetektoru. V základním zapojení je možné pouze detekovat události. Aby bylo možné lokalizovat místo vzniku události je nutné kombinovat MZI s jinou metodou. Běžné je například zapojení duálního MZI. U duálního MZI je signál rovnoměrně rozdělen do dvou cest -- CW (clockwise) a CCW (counterclockwise), přičemž u CW je signál navázán přímo a u CCW je signál navázán z opačného konce vlákna. Jakmile se na měřicí rameno přivede vnější vibrace, vytvoří se v odpovídajícím bodě fázová změna

55

mezi oběma rameny. Na obou koncích jsou signály přijímány fotodetektory. Díky tomu, že na stejná vlákna jsou nasazeny dva interferometry šířící se protichůdně, může být bod vibrací, kde dochází k vnějším vibracím, dopočítán. Aby mohl být signál navázán z opačného konce vlákna, je nutné použít třetí vlákno, které slouží jen k transportu optického svazku na druhý konec interferometru.

Michelsonův interferometr (MI) je stejně jako Machův-Zehnderův interferometr široce používanou technikou. Typické zapojení MI používá signál z vysoce koherentního laserového zdroje, který je prostřednictvím prvního vazebního členu rozdělen na dva paprsky, které jsou navázány do dvou vláken - referenční a měřicí. Na konci vláken jsou umístěny FRM (Faraday rotator mirror) zrcátka, na kterých jsou signály odraženy zpět a následně jsou rekombinovány ve stejném vazebním členu. Důležité je, aby rozdíl optických drah mezi těmito dvěma paprsky byl menší než koherenční délka laseru. Stejně jako u Machova-Zehnderova interferometru není možné v základním zapojení určit lokaci vzniklé události, proto je nutná kombinace s jinou metodou.

Výhoda použití optických vláknových interferometrů je v relativně snadném zapojení i následném signálovém zpracování. Nevýhodou však je složitá lokalizace události, kdy je nutné použít tři samostatných telekomunikačních vláken nebo kombinovat více metod, což má za následek vysoké náklady. Typicky systémy pracují do vzdálenosti 50 až 200 km s prostorovým rozlišením 1 až 100 metrů. Frekvenční rozsah je omezen pouze parametry použitých komponent.

Ve světě existují společnosti nabízející systémy pro detekci akustických/mechanických vibrací, jako např.:

- nejvýznamnější společnost v oblasti distribuovaných optických vláknových systémů nabízí několik typů systémů pro měření až do vzdálenosti 100 km. Všechny jsou převážně určeny pro ropný a těžbařský průmysl;
- další významný představitel v oblasti snímání na dlouhé vzdálenosti pro ropovody, plynovody, apod. snímá namáhání a teplotu pomocí Brillouinova rozptylu;
- další řešení umožňuje detekci napětí a teploty podél optického vlákna na vzdálenost 30 km s využíváním Brillouinova rozptylu;
- další řešení umožňuje detekci napětí podél optického vlákna na vzdálenost 20 km s využíváním Rayleighova rozptylu;
- další řešení umožňuje detekci napětí podél optického vlákna na vzdálenost až 50 km s využíváním Rayleighova rozptylu.

Řešení zmiňovaná například v dokumentu US 8923663 B2 Hill et al využívají reflektometrické zapojení na principu Rayleighova rozptylu pro měření akustických vibrací v okolí optických vláken. Zařízení pracuje se dvěma rozdílnými prostorovými rozlišeními. Vysílací i přijímací části systému jsou modifikovány tak, aby bylo možné detekovat dvě prostorová rozlišení, například změnou trvání pulsů nebo pomocí prostorového rozlišení. První i druhé prostorové rozlišení lze navíc generovat simultánně nebo sekvenčně. Tyto systémy obsahují nákladné komponenty. Řešení využívá složitý systém generování dvou vstupních pulsů, což má za následek i složité a nákladné zpracování.

Je rovněž známé řešení dle GB 2289331 A Jackson, které slouží k měření teploty a tlaku v okolí optických vláken. Řešení navrhuje použití páru vláken v zapojení do smyčky, čímž de facto vzniká Sagnacův interferometr. Zapojení využívá složitý generátor stimulovaného Brillouinovského rozptylu, který generuje frekvenčně posunuté pulsy šířící se opačným směrem než hlavní signál. Tím vzniká duální Sagnacův interferometr. Značnou nevýhodou Sagnacova interferometru je citlivost na změny, jako jsou i akcelerace nebo rotace, kde i pohyb Země může ovlivňovat výsledné

měření. Další nevýhodou řešení je omezení minimální délky vlákna z důvodu nutnosti generování Brillouinova rozptylu.

## 5 Podstata vynálezu

Jak již bylo uvedeno, hlavním nedostatkem interferometrických systémů v základním provedení je nemožnost lokalizace události v základním zapojení a nutnost kombinace více technik, nebo nutnost využití tří vláken v případě požadavku na lokalizaci. Tyto nedostatky řeší distribuovaný optický vláknový sensorický systém na principu duálního Machova-Zehnderova interferometru s využitím frekvenčního posuvu nemodulovaného CCW signálu, podle tohoto vynálezu. Systém se skládá z hlavní a vzdálené jednotky. Hlavní zařízení obsahuje první a druhý optický vazební člen, vzdálená jednotka obsahuje třetí a čtvrtý optický vazební člen. Výstup prvního vazebního členu je spojen se vstupy druhého a třetího vazebního členu za pomoci referenčního a snímacího vlákna. Současně je na vstupu propojen s prvním detektorem záření a se zdrojem vysoce koherentního záření, který je opatřen drátovým komunikačním rozhraním obsahujícím bezpečnostní prvky pro vypnutí zdroje záření v případě rozpojení smyčky interlock a je napájen ze stabilního zdroje napětí. Druhý vstup druhého vazebního členu je propojen s druhým detektorem a výstup je propojen se vstupem čtvrtého vazebního členu. Na jeden výstup čtvrtého vazebního členu je připojen reflektor, který odráží výstup CW interferometru zpět do hlavní jednotky. Druhý výstup je propojen s výstupem akusto-optického modulátoru, který je řízen oscilátorem odpovídající frekvence a posouvá frekvenci laseru o frekvenci oscilátoru. O napájení oscilátoru se stará napájecí modul. Vstup akusto-optického modulátoru je připojen na výstup třetího vazebního členu. Podstatou nového řešení je, že signál pro CCW interferometr není na vzdálený konec přenášen dedikovaným vláknem, ale pomocí třetího vazebního členu je vydělena část signálu z CW interferometru. Tento signál je následně posunut o definovanou frekvenci za využití akusto-optického modulátoru a přes čtvrtý vazební člen je tento nový signál navázán do referenčního a snímacího vlákna. Tím je vytvořen CCW interferometr.

V případě vzniku události v okolí optického kabelu dojde k detekci události u obou interferometrů, jak CW, tak CCW. Vzhledem k rozdílnému směru šíření obou interferometrů lze pomocí vzorce dopočítat lokaci vzniklé události. Výhodou navrhovaného řešení je rovněž umístění výstupů z obou interferometrů v hlavní vysílací jednotce, čímž je zajištěna správná synchronizace výstupů.

Ve výhodném provedení je řídicí jednotka včetně modulu drátového komunikačního rozhraní a akvizičního modulu tvořena jednodeskovým průmyslovým počítačem bez pohyblivých částí.

Napájecí modul je s výhodou redundantní.

S výhodou lze využít jeden pár optických vláken ze stejného optického kabelu.

Výhodou takto realizovaného duálního interferometru pro detekci a lokalizaci událostí v okolí optických vláken je, že oproti běžně komerčně dostupným systémům využívá pouze jednoho páru optických vláken a obsahuje pouze jeden zdroj vysoce koherentního záření. Ostatní optické komponenty, tedy vazební členy, detektory, reflektor a akusto-optický modulátor jsou navíc dobře integrovatelné. V předkládaném řešení, je stejně jako u US 8923663 B2 i GB 2289331 A použit zdroj vysoce koherentního záření. Stejně jako US 8923663 B2 navrhované řešení využívá akusto-optický modulátor, nicméně zapojení neobsahuje žádné optické vláknové zesilovače, které limitují spektrální použitelnost, a vysoce citlivé detektory, které obojí zvyšují náklady na realizaci systému. Na rozdíl od GB 2289331 A navrhované řešení není limitováno minimální délkou vlákna a neobsahuje složitý generátor stimulovaného Brillouinovského rozptylu. Použité komponenty jsou navíc komerčně dostupné od mnoha výrobců a splňují náročné požadavky obvyklé pro bezpečnostní průmysl. Zařízení dále neobsahuje žádné nákladné vysokofrekvenční elektrické obvody a nevznikají problémy s elektromagnetickou kompatibilitou. Zařízení dále umožňuje

nasazení na vlákna s aktivním datovým přenosem, jelikož CW i CCW interferometry mohou být provozovány pouze v jednom DWDM kanále i při minimální šířce kanálu 50 GHz.

## 5 Objasnění výkresů

Podstata uvedeného řešení je dále vysvětlena a popsána na konkrétním příkladu provedení s pomocí připojeného výkresu, který znázorňuje blokové schéma zařízení v jeho nejúplnějším provedení. Na přiloženém výkrese jsou plnými čarami naznačena optická propojení a 10 přerušovanými čarami propojení elektrická.

### Příklady uskutečnění vynálezu

15 Zapojení distribuovaného optického vláknového senzorického systému na principu duálního Machova-Zehnderova interferometru s využitím frekvenčního posuvu CCW signálu je uvedeno na přiloženém výkrese ve formě blokového schéma. Zařízení tak, jak je nakresleno, je určeno pro monitorování akustických/mechanických vibrací v blízkém okolí optického kabelu, ve kterém jsou umístěna, jak referenční, tak snímací vlákno. Vzdálená jednotka zajišťuje odraz CW 20 interferenčního obrazce zpět do hlavní jednotky a současně je zde pomocí akusto-optického modulátoru vytvářen frekvenční posun nosné frekvence laseru pro CCW interferometr. Technika dvou interferometrů totiž umožňuje určit lokaci místa vibrace díky známé rychlosti šíření signálů optickým vláknem. Detekce výstupů obou interferometrů v hlavní jednotce zajišťuje i přesnou synchronizaci obou signálů. Zařízení pak lze využít pro detekci, lokalizaci, případně i klasifikaci 25 událostí s vysokou přesností.

Zařízení je složeno ze dvou interferometrů pracujících proti sobě a využívající pouze jeden zdroj 2 záření. První interferometr, CW, obsahuje první vazební člen 11, který slouží k rozdělení a navázání signálu z laserového zdroje 2 záření, připojeného na první vstup vazebního členu 11, do 30 dvou ramen interferometru. Čtvrtý vazební člen 14 ve vzdálené jednotce zajišťuje rekombinaci signálů z referenčního a snímacího ramene přivedené na první a druhý port a díky připojenému reflektoru 17 na třetí port je výsledný modulovaný signál odražen zpět do obou ramen interferometru pro následné zpracování v hlavní řídicí jednotce 1. Aby nedošlo k další rekombinaci již modulovaného signálu v prvním vazebním členu 11, je tento signál vydělen ve druhém 35 vazebním členu 12 a přiveden na první fotodetektor 3. Základní signál pro druhý interferometr, CCW, je získán vydělením části signálu z jednoho ramene CW interferometru za pomoci třetího vazebního členu 13. Získaný signál je frekvenčně posunut v akusto-optickém modulátoru 15 o frekvenci danou externím oscilátorem 16 napájeného z napájecího modulu 18. Nový frekvenčně posunutý signál je přes čtvrtý port čtvrtého vazebního členu 14 navázán do dvou ramen 40 interferometru. Rekombinace výsledného signálu CCW interferometru probíhá v prvním vazebním členu 11, na jehož druhý port je připojen druhý fotodetektor 4, který zajišťuje konverzi optické signálu na signál elektrický.

45 Zapojení distribuovaného optického vláknového senzorického systému je tvořeno jak optickou částí, tak částí elektrickou. Základem je, že obě jednotky obsahují napájecí moduly potřebného napájení pro jednotlivé optoelektrické a elektrické komponenty. První napájecí modul 5 zajišťuje napájení hlavní řídicí jednotky 1, laserového zdroje 2 záření a prvního fotodetektoru 3 a druhého fotodetektoru 4, zatímco druhý napájecí modul slouží k napájení pouze oscilátoru.

50 Optické signály z obou interferometrů jsou detekovány na prvním fotodetektoru 3 a druhém fotodetektoru 4 a následně jsou převedeny do elektrické podoby. V případě CW interferometru obsahuje signál na prvním fotodetektoru 3 i frekvenčně posunutý signál interferometru CCW, který je od hlavní frekvence posunut v rozsahu desítek MHz. Proto není možné filtraci provést v optické doméně a je nutné provést filtraci až za prvním fotodetektorem 3, tedy v elektrické doméně. 55 Výsledný signál je nutné filtrovat od frekvenčně posunutého signálu pomocí druhého filtru 7 typu

5 dolní propust a digitalizovat v řídicí jednotce 1. Vzhledem k tomu, že frekvence posunutého signálu vyděleného z jednoho ramene senzorického systému odpovídá frekvenci generované oscilátorem 16, je možné elektrickým rozbočovačem 10 vydělit část signálu a s výhodou tento signál po filtraci prvním filtrem 8 typu pásmová propust využít jako lokální oscilátor pro demodulaci výsledného CCW signálu ve frekvenčním mixeru 9. Signál ze CCW interferometru je rovněž nutné filtrovat od signálu prvního interferometru pomocí třetího filtru 6 typu pásmová propust, navíc je nutné provést demodulaci, tedy posun do základního pásma, k čemuž slouží frekvenční mixer 9. Výsledný demodulovaný signál je nutné digitalizovat v řídicí jednotce 1 pro následné zpracování.

10 Řídicí jednotka 1 je napájena z napájecího modulu 5, který může být v jednom možném výhodném provedení redundantní. Řídicí jednotka 1 je vybavena modulem drátového komunikačního rozhraní a může být, jak bylo již uvedeno, s výhodou tvořena jednodeskovým průmyslovým počítačem bez pohyblivých částí.

15 V jednom výhodném provedení reflektor 17 otáčí polarizaci odraženého signálu, a tak dochází k minimalizaci vlivu polarizace na užitečný signál. V dalším výhodném provedení je oscilátor 16 tepelně stabilizován, čím se sníží kolísání jeho výstupní frekvence. Ještě v dalším výhodném provedení jsou použity nenákladné první fotodetektory 3 a druhé fotodetektory 4, jejichž šířka pásma odpovídá pouze frekvenci oscilátoru 16.

20 Výhodné je také provedení, ve kterém vhodným výběrem šířky pásma prvních filtrů 8, druhých filtrů 7 a třetích filtrů 6 se zvýší strmost výsledné filtrace, a tedy se navýší odstup signálu šumu (SNR) a to tak, že třetí elektrický filtr 6 a první filtr 8 mají shodnou šířku pásma, například 20 MHz a současně druhý elektrický filtr 7 má šířku pásma stejnou právě 20 MHz, přičemž frekvence oscilátoru nesmí být menší než 40 MHz.

25 Ve výhodném provedení pracují elektrický směšovač signálů – frekvenční mixer 9 a elektrický rozbočovač 10 na frekvenci oscilátoru 16 a frekvenci vibrací působící na jedno nebo obě ramena interferometru, aby bylo možné vhodně demodulovat signál.

30 Také je výhodné provedení, které minimalizuje nároky na laserový zdroj 2 a tím jeho cenu, ve kterém se rozdíl délky prvního ramene a druhého ramene interferometru co nejvíce blíží, v krajním případě rovná koherenční délce laserového zdroje 2.

35 Řídicí jednotka 1 obsahuje software, který měří napěťové úrovně získané na jednotlivých prvních fotodetektorech 3 a druhých fotodetektorech 4. Software detekuje vznik nových událostí v blízkosti optických vláken tímto způsobem: pokud je na prvním fotodetektoru 3 detekována změna výkonu, pak je provedena frekvenční analýza signálu. Totéž platí pro druhý fotodetektor 4. V případě detekce signálů o stejných frekvencích na vstupu obou prvním fotodetektoru 3 a druhém fotodetektoru 4, dojde ke zjištění časového rozdílu mezi detekovanými signály. Ze známé rychlosti světla šířícího se optickým vláknem a z časového rozdílu mezi detekovanými signály z jednotlivých prvním fotodetektoru 3 a druhém fotodetektoru 4, lze následně určit polohu nově vzniklé události. Z frekvenční charakteristiky lze rovněž klasifikovat nově vzniklou událost. Díky 40 podmínce detekce události oběma interferometry současně je zajištěna minimalizace falešně pozitivních alarmů. Software řídicí jednotky 1 zpřístupňuje informace o výkonech a časových značkách přes drátové komunikační rozhraní nadřazenému systému.

#### 50 Průmyslová využitelnost

55 Toto technické řešení je průmyslově dobře využitelné zejména pro monitoring akustických/mechanických vibrací v blízkém okolí telekomunikačních optických kabelů, na vláknech s aktivním datovým provozem. Díky použití kontinuálního záření o malém výkonu nedochází k interakci s datovým provozem ve vedlejších kanálech. S využitím vzdálené jednotky

- 5 je vytvořen protichůdně se šířící signál frekvenčně posunutý od nosného signálu laseru, čímž je vytvořen druhý interferometr ve stejném páru optických vláken, čímž je umožněna lokalizace událostí. Ve srovnání se známými řešeními zařízení využívá pouze jeden pár vláken, kromě laseru s dostatečně dlouhou koherenční délkou neobsahuje žádné nákladné a složité komponenty a je využitelné ve všech pracovních vlnových délkách použitých vláken. Technické řešení zahrnuje také vzdálený monitoring včetně sledování zpracovávaných optických signálů. Navržené řešení je založeno na běžně dostupných komponentech.

## PATENTOVÉ NÁROKY

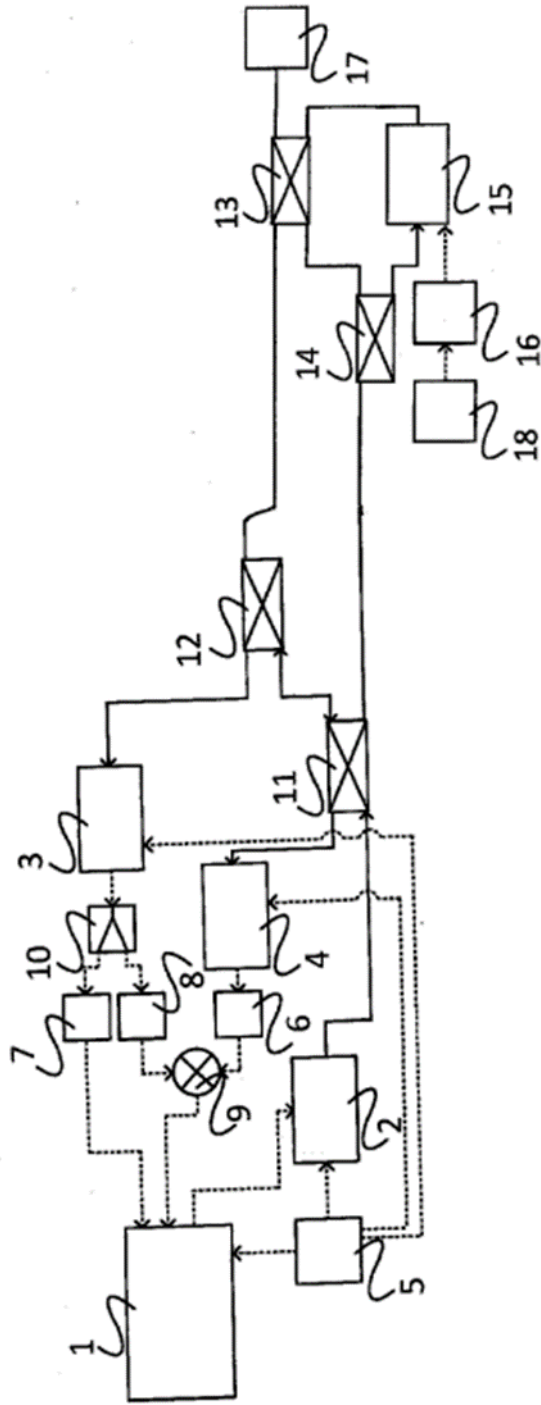
- 5 1. Distribuovaný optický vláknový sensorický systém složený ze dvou jednotek – hlavní a vzdálené, kde hlavní jednotka obsahuje první vazební člen (11) a druhý vazební člen (12), první fotodetektor (3) a druhý fotodetektor (4), laserový zdroj (2) záření, první napájecí modul (5) a řídicí jednotku (1) a vzdálená jednotka obsahuje třetí vazební člen (13) a čtvrtý vazební člen (14) a jednotky jsou propojeny prvním ramenem a druhým ramenem interferometru, přičemž laserový zdroj (2) záření je spojen s prvním vazebním členem (11), který je dále spojen se vstupem druhého fotodetektoru (4), druhým vazebním členem (12) a prvním ramenem interferometru a druhý vazební člen (12) je propojen se vstupem prvního fotodetektoru (3) a druhým ramenem interferometru a dále první rameno interferometru je propojeno se třetím vazebním členem (13) a řídicí jednotka (1) je propojena s laserovým zdrojem (2) záření a napájecí modul (5) je propojen s prvním fotodetektorem (3) a druhým fotodetektorem (4), s řídicí jednotkou (1) a dále s laserovým zdrojem (2) záření, **vyznačující se tím**, že hlavní jednotka dále obsahuje elektrický rozbočovač (10), první elektrický filtr (8) typu pásmová propust, druhý elektrický filtr (7) typu dolní propust, třetí elektrický filtr (6) typu pásmová propust a elektrický frekvenční mixer (9) a vzdálená jednotka dále obsahuje čtvrtý vazební člen (14), reflektor (17), akusto-optický modulátor (15), oscilátor (16) a druhý napájecí modul (18), přičemž výstup prvního fotodetektoru (3) je připojen ke vstupu elektrického rozbočovače (10), jeho první výstup je připojen ke vstupu druhého elektrického filtru (7) a druhý výstup elektrického rozbočovače (10) je připojen k prvnímu vstupu elektrického frekvenčního mixeru (9), kde výstup druhého fotodetektoru (4) je připojen ke vstupu třetího elektrického filtru (6) a jeho výstup je připojen ke druhému vstupu elektrického frekvenčního mixeru (9) a výstup druhého elektrického filtru (7) je připojen k řídicí jednotce (1) a výstup elektrického frekvenčního mixeru (9) je také připojen k řídicí jednotce (1) a dále čtvrtý vazební člen (14) je propojen s prvním ramenem interferometru a dále se třetím vazebním členem (13) a akusto-optickým modulátorem (15), přičemž třetí vazební člen (13) je dále propojen s reflektorem (17) a s akusto-optickým modulátorem (15) a výstup druhého napájecího modulu (18) je připojen na vstup oscilátoru (16) a výstup oscilátoru (16) je připojen na vstup akusto-optického modulátoru (15).
2. Distribuovaný optický vláknový sensorický systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že reflektor (17) je nastaven pro otáčení polarizace odraženého světla o 90°.
- 35 3. Distribuovaný optický vláknový sensorický systém podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že první napájecí modul (5) a druhý napájecí modul (18) jsou redundantní.
4. Distribuovaný optický vláknový sensorický systém podle kteréhokoli z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že oscilátor (16) je tepelně stabilizovaný.
- 40 5. Distribuovaný optický vláknový sensorický systém podle kteréhokoliv z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že šířka pásma prvního fotodetektoru (3) a druhého fotodetektoru (4) odpovídá frekvenci generované oscilátorem (16).
- 45 6. Distribuovaný optický vláknový sensorický systém podle kteréhokoliv z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že první elektrický filtr (8) a třetí elektrický filtr (6) mají shodnou šířku pásma 20 MHz a současně druhý elektrický filtr (7) má shodnou šířku pásma 20 MHz, přičemž frekvence oscilátoru (16) není menší než 40 MHz.
- 50 7. Distribuovaný optický vláknový sensorický systém podle kteréhokoliv z nároků 1 až 6, **vyznačující se tím**, že elektrický frekvenční mixer (9) a elektrický rozbočovač (10) pracují na frekvenci oscilátoru (16) a frekvencí vibrací působící na jedno nebo obě ramena interferometru.



8. Distribuovaný optický vláknový senzorický systém podle kteréhokoliv z nároků 1 až 7, **vyznačující se tím**, že řídicí jednotka (1) je tvořena jednodeskovým průmyslovým počítačem bez pohyblivých částí.
- 5 9. Distribuovaný optický vláknový senzorický systém podle kteréhokoliv z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím**, že rozdíl délky prvního ramene a druhého ramene interferometru se blíží koherenční délce laserového zdroje (2) záření.

1 výkres

10



Obr. 1