

# UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

## 30 454

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

*H01S 3/00* (2006.01)

*H01S 3/23* (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2016-33230**

(22) Přihlášeno: **23.12.2016**

(47) Zapsáno: **07.03.2017**

(73) Majitel:  
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Praha 8, CZ

(72) Původce:  
Ing. Martin Horáček, Praha 8, CZ  
Ing. Lukáš Indra, Praha 8, CZ  
Jonathan Tyler Green, Ph.D., Praha 8, CZ

(74) Zástupce:  
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i. - CITT, Karel  
Bauer, Za Radnicí 835, 252 41 Dolní Břežany

(54) Název užitného vzoru:  
**Vícekanálový vláknový systém distribuce  
signálního impulsu pro laserové zesilovače s  
frekvenčně rozmítnutými impulsy a  
vzájemnou femtosekundovou synchronizací**

**CZ 30454 U1**

## **Vícekanálový vláknový systém distribuce signálního impulsu pro laserové zesilovače s frekvenčně rozmítnutými impulsy a vzájemnou femtosekundovou synchronizací**

### Oblast techniky

5 Uvedené technické řešení spadá do oblasti fotoniky, konkrétněji do konstrukce laserových systémů s krátkými impulsy. Podstatou technického řešení je vláknový systém, který distribuuje, prodlužuje, zpožďuje a selektuje signální impuls (neboli seedu) generovaného ze zdroje pro laserové zesilovače krátkých impulzů.

### Dosavadní stav techniky

10 Komplexní laserové systémy založené například na řetězci OPCPA (Optical Parametric Chirped Pulse Amplification) čerpaném více pikosekundovými lasery vyžadují přesnou synchronizaci jednotlivých stupňů s čerpacími lasery v řádu desítek femtosekund. Seed pro čerpací lasery musí být rozdělen a předzesílen pro jednotlivé zesilovače, impulsy musí být adekvátně frekvenčně rozmítnuty pro použití metody CPA (Chirped Pulse Amplification) a impulsy k zesílení musí být vyselektovány tak, aby opakovací frekvence odpovídala opakovací frekvenci zesilovače/ů (nebo jiné konkrétní aplikaci) a zpoždění vyžadované konkrétní synchronní aplikací. Impulsy také musí procházet přes zpožďovací linky napojené na aktivní zpětnovazebnou smyčku zajišťující precizní kompenzaci časového jitteru.

20 Všechny tyto kroky jsou standardně řešeny částečně pomocí vláken, převážně však pomocí volných optických komponent, mřížkových stretcherů, dlouhých zpožďovacích drah na motorizovaných stolcích a Pockelsových cel. Nevýhodou těchto řešení je jejich prostorová náročnost, obtížná obsluha a nastavení a v případě Pockelsových cel navíc také potřebné vysoké napětí v řádu kilovoltů.

### Podstata technického řešení

25 Výše uvedené nedostatky odstraňuje předkládané zařízení pro distribuci, prodloužení, definované časové zpoždění na úrovni jednotek fs a selekci impulsů seedu generovaného z jednoho zdroje pro laserové zesilovače impulsů, výhodně pak pro zesilovače impulsů s opakovací frekvencí fs a/nebo ps.

30 Podstatou zařízení je kombinace vláknových prvků integrovaných do jednoho kompaktního zařízení obsahující alespoň jeden vláknový předzesilovač; alespoň jeden vláknový dělič; alespoň jeden stretcher (prodlužovač impulsů) založený na frekvenčně rozmítnuté vláknové Braggovské mřížce (chirped fiber Bragg grating), dále označovaný jako CFBG; alespoň jeden vláknový selektor impulsů; vláknovou zpožďovací linku; a vláknový izolátor, přičemž distribuce seedu je zajištěna pomocí polarizaci zachovávajícího vlákna.

35 Výhoda takovéhoho zařízení je odbourání manuálního nastavení jednotlivých součástí, zvýšení spolehlivosti, redukce prostorové velikosti a možnost kompletní kontroly pomocí externího řídicího a časovacího systému, ve výhodném provedení pomocí počítače.

V jednom možném provedení, zařízení obsahuje prvky, které jsou vzájemně propojeny pomocí polarizace zachovávajících (PM - polarization maintaining) vláken. Mezi tyto prvky patří CFBG stretchery, selektory impulsů, děliče a zpožďovací linky.

40 Vláknový dělič, který rozděluje impulsy do více kanálů dle počtu seedovaných zesilovačů.

45 Chirped fiber Bragg grating (CFBG) stretcher, který frekvenčně rozmítá impulsy seedu definovanou disperzí v krátkém vlákně CFBG pro účely následného zesílení, tak aby impulsy po zesílení bylo možné zkomprimovat pomocí mřížkového kompresoru (typu Treacy). Ve výhodném provedení CFBG stretcher obsahující cirkulátor může nahrazovat standardní mřížkový stretcher (typu Martínez nebo Öffner).

Vláknový selektor impulsů selektující impulsy seedu pro následné zesílení a současně sloužící pro redukci opakovací frekvence.

5 Vláknové zpoždovací linky sloužící pro hrubé a jemné nastavení časového zpoždění impulsů seedu pro jednotlivé zesilovače. Prakticky libovolné zpoždění lze nastavit kombinací výběru impulsu pomocí selektoru impulsů a jeho následného zpoždění pomocí zpoždovací linky, která pokrývá požadovaný časový rozsah, výhodně na úrovni jednotek fs, mezi jednotlivými impulsy generovaných jejich zdrojem před selekcí.

V jednom provedení je vybrán pro časové zpoždění jeden impuls ze sledu impulsů o vysoké opakovací frekvenci generované zdrojem, o typické frekvenci desítek MHz, a pomocí selektoru impulsů a jeho následného zpoždění pomocí zpoždovací linky, která pokrývá časový rozsah mezi jednotlivými impulsy.

10 Ve výhodném provedení však pro většinu aplikací stačí pokrýt pouze část tohoto rozsahu, která odpovídá maximálnímu časovému driftu synchronizovaných systémů způsobených vibracemi, změnami teploty, vlhkosti apod. Selektce impulsů tak definuje zpoždění s časovým rozlišením periody zdroje, typicky méně než 20 ns, a fs synchronizace je zajištěna pomocí hrubé a jemné zpoždovací linky.

15 Vlákenný izolátor zajišťuje ochranu všech předcházejících prvků před zpětným odrazem impulsů s potenciálně nebezpečnou energií směrem od laserových zesilovačů.

20 V jiném provedení je v zařízení několik, s výhodou celkem tři, vláknových předzesilovačů, přičemž alespoň dva z nich jsou sériově spojeny pomocí polarizaci zachovávajícího vlákna, přičemž mezi předzesilovače je umístěn akusto-optický modulátor, který vybírá ze sledu impulsů dávky se stejnou opakovací frekvencí.

Ve výhodném provedení je selektorem impulsů Mach-Zenderův interferometr (MZ) nebo akusto-optický modulátor (AOM).

25 V dalším výhodném provedení lze na vstupu vybrat dávky impulsů seedu generovaných zdrojem (např. pomocí vláknového AOM nebo MZ). Následně je pak možné impulsy v dávkách předzesílit na vyšší energii při zachování nízkého středního výkonu ve vláknech, který je bezpečný pro jednotlivé komponenty systému. Impulsy v rámci jedné dávky si zachovávají původní opakovací frekvenci zdroje a flexibilita zpoždění impulsů selekcí je tak zachována. Počet impulsů v dávce a opakovací frekvence dávek je volitelná dle parametrů laserového systému.

30 V dalším výhodném provedení jsou CFBG stretchery teplotně stabilizovány, čímž je zajištěno stabilní prodloužení impulsů seedu bez ohledu na změny podmínek prostředí. Dále je výhodné teplotní stabilizaci zajistit pomocí více termo-elektrických chladičů a tepelných senzorů umístěných po délce CFBG vlákna. To umožňuje vystavit CFBG teplotnímu gradientu vedoucí k řízené úpravě druhého i vyšších řádů disperze stretcheru bez nutnosti mechanické manipulace s optickými komponenty stretcheru.

35 V dalším výhodném provedení jsou MZ taktéž teplotně stabilizovány pro zajištění stabilního kontrastu vybraných impulsů. Kvalitu kontrastu je dále výhodné monitorovat pomocí fotodiody a dle potřeby aktivně upravovat DC napětí na MZ pomocí zpětnovazebního algoritmu.

40 V dalším výhodném provedení jsou jako vláknové zpoždovací linky použity pro hrubší nastavení translační prvek s vláknovým vstupem a výstupem obsahující krokový motor a pro jemné dolaďení PM vlákno navinuté na piezoelektrickém válci.

Technické řešení bude dále objasněno pomocí výkresů a příkladu provedení, které nesmí být interpretovány jako omezení nárokovaného rozsahu.

#### Objasnění výkresů

45 Obr. 1 představuje příklad funkčního schématu zapojení vláknových komponent tvořících distribuční systém seedu popsaného v příkladu uskutečnění technického řešení.

Obr. 2 představuje ilustrační příklad selektce dávek impulsů pomocí AOM na 10 kHz a následnou selekci jednoho impulsu s opakovací frekvencí 1 kHz pomocí zařízení znázorněného na Obr. 1 a popsaném níže v příkladu uskutečnění technického řešení.

Příklady uskutečnění technického řešení

## Příklad 1

Zařízení vláknové distribuce impulsů seedu popsany v tomto příkladu znázorňuje Obr. 1. Zdrojem impulsů seedu je Ti:safirový oscilátor 1 s opakovací frekvencí 80 MHz. Vybraná spektrální složka kolem vlnové délky 1030 nm slouží jako seed pro až pět čerpacích laserů tvořených regenerativními zesilovači 9 a 13. Po úvodním předzesílení ve vláknovém předzesilovači 2 vstupuje sled impulsů skrze izolátor 3 do výkonového vláknového děliče 4. Ve výkonovém vláknovém děliči 4 impulsů se seed rozdělí do dvou impulsů, přičemž jeden svazek pokračuje do vláknového cirkulátoru 5 a druhý svazek pokračuje do vláknového izolátoru 3. První části zařízení, označovaného na obr. 1 jako *Stretch Box*, dále obsahuje dva CFBG stretchery 6. Rozdělené impulsy jsou v poměru 4:1 a silnější část je prodloužena stretcherem 6 s disperzí -250 ps/nm. Silnější impulsy dále procházejí přes vláknové zpožďovací linky tvořící linku 7 s krokovým motorem a piezo-elektrickou linku 8 a slouží jako výstup seedu pro první regenerativní zesilovač 9, který obsahuje vlastní zařízení pro selekci impulsů. Slabší část je prodloužena ve stretcheru 6 s disperzí -477 ps/nm, který je společný pro všechny zbývající regenerativní zesilovače 13.

Tato část impulsů je dále předzesílena předzesilovačem 2', a pokračuje do zařízení zajišťujícího selekci impulsů (*Pulse Picking Box*). Akusto-optický modulátor 10 na vstupu vybírá ze sledu impulsů dávky s opakovací frekvencí 10 kHz a délkou 10  $\mu$ s. Tyto dávky jsou ještě jednou předzesíleny dalším předzesilovačem 2'' na vyšší energii a rovnoměrně rozděleny do čtyř větví pomocí vláknového děliče 4. Každá z větví obsahuje MZ 11 selektující jeden vybraný impuls s opakovací frekvencí 1 kHz. Jeho kontrast, který stabilně přesahuje 30 dB je kontrolován pomocí fotodiody 12, do které jsou odkloněna asi 2 % energie impulsu pomocí děliče 4. Jeden ze tří impulsů dále prochází zpožďovací linkou tvořící linku 7 s krokovým motorem a piezoelektrickou linku 8 s výstupem 13 pro hrubší nastavení zpoždění.

## Příklad 2

Ilustrace selekce impulsů je znázorněna na obr. 2. Následují zpožďovací linky, které jsou buď součástí zařízení (piezo-elektrická linka 8 a linka 7 s krokovým motorem) nebo jsou zařazeny jako součást regenerativního zesilovače 9 nebo 13 později. Zesilovače 9 a 13 tak mají precizně synchronizovaný seed o energii alespoň 0,4 nJ, zesilovač 9 si vystačí s energií 20 pJ.

## Průmyslová využitelnost

Technické řešení vláknové distribuce impulsů seedu může být využito při konstrukci velkých i menších laserových systémů, které mohou benefitovat z nižších nákladů a menší prostorové náročnosti, dále také u průmyslových laserových systémů vyžadujících vysokou spolehlivost a bezobslužnou funkcionalitu.

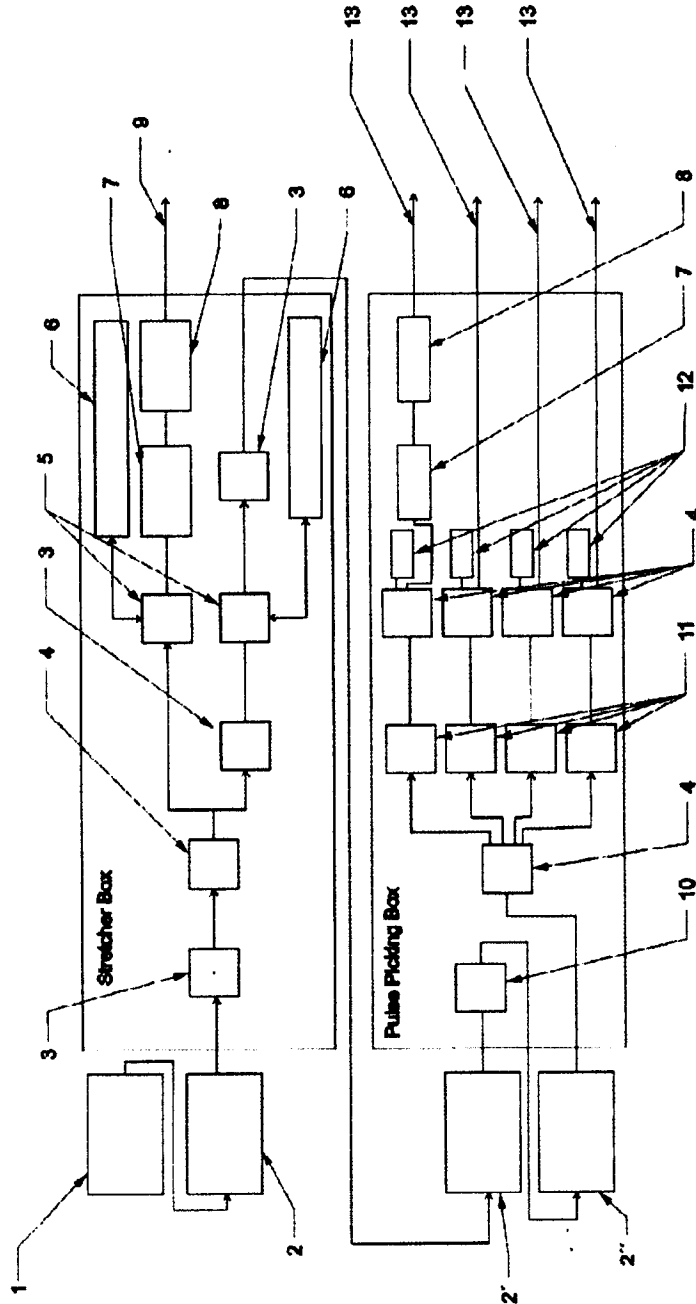
## N Á R O K Y   N A   O C H R A N U

1. Zařízení pro distribuci, prodloužení, zpoždění na úrovni jednotek fs a selekci signálních impulsů generovaného z jednoho zdroje pro laserové zesilovače, s výhodou pro zesilovače impulsů s opakovací frekvencí fs a/nebo ps, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že obsahuje:

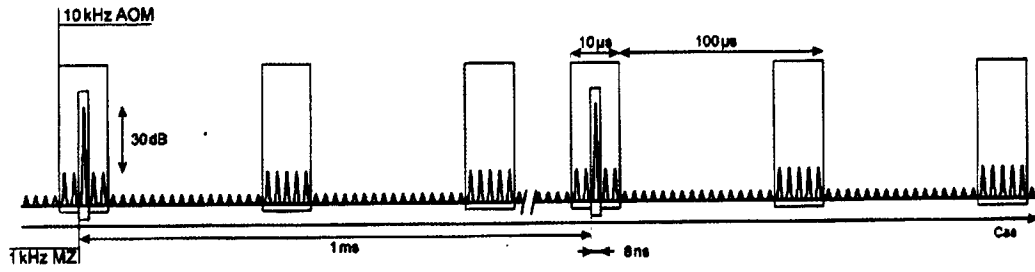
- vláknový selektor pro selekci signálních impulsů a jejich následné zesílení, - alespoň jeden vláknový předzesilovač (2);
- vláknový dělič (4) pro rozdělení impulsů;
- prodlužovač impulsů (6) založený na frekvenčně rozmítnuté vláknové Braggovské mřížce pro frekvenční rozmytí impulsů;
- vláknovou zpožďovací linku pro hrubé a jemné nastavení časového zpoždění impulsů;

- a vláknový izolátor (3) pro zajištění ochranu všech předcházejících prvků před zpětným odrazem impulsů s potenciálně nebezpečnou energií; a
  - polarizaci zachovávající vlákno pro distribuci impulsů mezi jednotlivými prvky.
- 5 2. Zařízení podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že vláknových zesilovačů je více, s výhodou tři (2), (2') a (2''), kde alespoň dva vláknové předzesilovače (2') a (2'') jsou sériově spojeny a mezi nimi je vláknový selektor.
  3. Zařízení podle nároku 1 nebo 2, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že prodlužovač impulsů (6) obsahuje vláknový cirkulátor (5).
  - 10 4. Zařízení podle kteréhokoliv předchozího nároku, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že selektorem impulsů je akusto-optický modulátor (10) nebo Mach-Zenderův interferometr (11).
  5. Zařízení podle kteréhokoliv předchozího nároku, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že prodlužovač impulsů (6) je teplotně stabilizovaný prodlužovač impulsů pro zajištění stabilního prodloužení.
  - 15 6. Zařízení podle nároku 5, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že obsahuje termo-elektrické chladiče a/nebo tepelné senzory umístěné po délce polarizace zachovávajícího vlákna alespoň jednoho teplotně stabilizovaného prodlužovače impulsů.
  7. Zařízení podle kteréhokoliv z nároků 4 až 6, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že Mach-Zenderův interferometr (11) je teplotně stabilizovaný pro zajištění stabilního kontrastu vybraných impulsů.
  - 20 8. Zařízení podle kteréhokoliv z nároků 4 až 7, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že dále obsahuje fotodiodu monitorující kvalitu kontrastu na výstupu z Mach-Zenderův interferometru (11).
  9. Zařízení podle kteréhokoliv předchozího nároku, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že vláknové zpoždovací linky tvoří polarizaci zachovávající vlákno (7) navinuté na piezoelektrickém válci a/nebo translační prvek (8) s vláknovým vstupem a výstupem obsahující krokový motor.

2 výkresy



Obr. 1



Obr. 2

---

Konec dokumentu

---