

# UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

## 31 189

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

**H01S 3/00** (2006.01)

**G01J 11/00** (2006.01)

**G01J 1/42** (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2017-34149**

(22) Přihlášeno: **27.09.2017**

(47) Zapsáno: **14.11.2017**

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

(72) Původce:  
Ing. Martin Horáček, Dolní Břežany, CZ

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

(54) Název užitého vzoru:  
**Detektor energie laserových pulzů**

**CZ 31189 U1**

## Detektor energie laserových pulzů

### Oblast techniky

Uvedené technické řešení se týká diagnostiky optického záření, konkrétně přímého detektoru energie s převodníkem optického záření na elektrický signál. Toto technické řešení je využitelné zejména v oblasti detekce energie každého jednoho laserového pulzu u vysoko-výkonových pulzních laserových systémů s vysokou opakovací frekvencí.

### Dosavadní stav techniky

Optické záření je charakterizováno několika parametry. Mezi tyto parametry patří např. výkon, energie v pulzu, profil svazku, spektrální a časová šířka pulzu, faktor kvality svazku M2 anebo směrová stabilita. V závislosti na příslušné průmyslové aplikaci optického záření se tyto parametry upravují. Parametry se s časem mění a je potřeba je monitorovat. Monitorování optického záření zajišťují detektory optického záření, které se skládají z fotosenzitivního senzoru (optického čipu) a elektroniky. Příslušná elektronika zpracovává signál a převádí je do digitálních hodnot. Tyto hodnoty následně zobrazuje např. na displeji nebo jej ukládá na datové úložiště, tzv. DAQ. S těmito daty pak následovně může odborník manipulovat, např. analyzovat je nebo je použít k dalším procesům.

Zdrojem vysokorepetičního optického záření jsou často laserové systémy, které jsou schopny generovat kontinuální i pulzní signály, které mají repetiční frekvenci 1 kHz a vyšší. V řadě průmyslových aplikací hraje frekvence pulzů významnou roli. V případě laserových systémů využívaných pro primární a aplikovaný výzkum jsou tyto frekvence v řádech stovek Hz až několika kHz. Výše zmíněné laserové systémy mají široké uplatnění nejen ve vědeckých kruzích ale rovněž v oblasti telekomunikací, testování a analýzách optických senzorů nebo ve strojním průmyslu. S rostoucími požadavky na frekvenci záření vyšší než 1 kHz, zejména v oblasti mikroobrábění, se naskytá potřeba vyvinout i vhodnou elektroniku, která detekuje energii každého jednoho pulzu pro toto optické záření.

Diagnostika takového optického záření je z pohledu elektroniky náročná. Současná zařízení pro přímé měření energie jsou pomalá a často neposkytují analogový signál jako výstup. Navíc, problémem je rovněž integrace většího počtu zařízení přímých detektorů energie (např. až 50 zařízení) do malého prostoru a jednoho DAQ zařízení.

State-of-the-art detektory mají DAQ integrováno a jejich výstupem je pouze digitální informace přenesené např. po USB přímo do PC, která představuje značnou nevýhodou při připojení vyššího počtu zařízení do jednoho měřicího systému. Nevýhoda spočívá ve značně vyšších datových nárocích než u analogových systémů.

### Podstata technického řešení

Předkládaným technickým řešením je přímý detektor energie laserových pulzů s optoelektrickým převodníkem, využitelným zejména pro vysokorepetiční optické záření, přičemž výstupním signálem je analogový signál, který lze dále zpracovávat pomocí DAQ systémů.

Konstrukce výše řečeného přímého detektoru energie laserových pulzů obsahuje:

- optický čip;
- impedanční převodník proud-napětí spojený s optickým čipem;
- logaritmický zesilovač s nastavitelným zesílením připojeným na impedanční převodník; a
- peak&hold obvod spojený s logaritmickým zesilovačem, přičemž analogový výstupní signál je možné číst buď přímo z impedančního převodníku nebo ze peak&hold obvodu.

Uvedené technické řešení umožňuje měření energie laserových pulzů s vysokou přesností a vysokou opakovací frekvencí (větší než 1 kHz). Uvedená konstrukce detektoru rovněž umožňuje

díky typu elektro-optického čipu přímo měřit energii laserových pulzů o velikosti svazku větších než 10 mm bez nutnosti použití dodatečné zobrazující optiky.

5 Analogový výstupní signál, jakožto součást technického řešení, navíc umožňuje přizpůsobit parametry analogového signálu, jako např. amplitudu nebo tvar (gaussovský typ), což zjednodušuje čtení navazujícího DAQ systému. Detektor také disponuje zabudovaným analogovým zesilovačem a obvodem peak&hold, který umožňuje zachytit krátké pulzy po delší dobu a umožňuje tak přesnější vyhodnocení amplitudy.

Zpracování signálu pomocí průmyslového DAQ systému, který plně využívá výhod analogového výstupu, a tudíž i vyšší rozlišení, tvoří spojení mezi uživatelem a detektorem.

10 V jednom provedení obsahuje konstrukce optického čipu různé typy fotodiod, např. křemíkovou fotodiodu, germaniovou fotodiodu a/nebo křemíkové fotodiody s vláknovým vstupem typu ST. Výhodou je snadná zaměnitelnost vnitřního optického senzoru z křemíkového typu na germaniový, který pokrývá jinou optickou oblast. Díky tomuto tak uvedené technické řešení poskytuje jednotné řešení pro všechny vlnové délky, které se v této oblasti techniky používají.

15 V dalších provedení dále detektor obsahuje:

- filtraci vstupního napájení;
- lineární stabilizátory pro napájení výstupních obvodů;
- kontrolní diodu napájení.

20 V dalším provedení detektor dále obsahuje peak&hold obvod, který je možné použít v externím nebo automatickém módu, který je možné měnit přepínačem.

V dalším provedení detektor dále obsahuje nastavitelný logaritmický zesilovač, jehož zesílení je možné nastavit externím napěťovým signálem nebo lokálně pomocí potenciometru přístupným na krabičce detektoru.

25 V jednom provedení může být celý detektor umístěn v kovové světlocitlivé krabičce, která slouží pro odstínění elektromagnetického záření, její povrch je upraven za účelem minimalizace odrazu laserového záření, které dopadne mimo čip a také umožňuje přímou montáž optických prvků se standardním SM1 závitem.

30 V jistém provedení detektor obsahuje AC/DC přepínač, který umožňuje uživateli volit mezi AC/DC nebo pouze AC vazbou, jejíž výhodou je eliminace záření z pozadí, jako je např. okolní nežádoucí světlo.

Větší flexibilita na úrovni elektroniky (variabilní analogové zesílení, zpřesnění DAQ pomocí peak&hold, možnost AC/DC vazby, možnost úpravy filtrace, možnost snadné záměny čipu), společně s kompaktní krabičkou umožňující elektromagnetické stínění umožňují jednoduchou integraci i na malém prostoru.

### 35 Objasnění výkresu

Obr. 1 představuje schéma detektoru obsahující převodník optického záření na elektrický signál a jeho analogové zpracování. Výstup může být dále zpracován pomocí standardního DAQ systému.

### Příklady uskutečnění technického řešení

#### 40 Příklad 1

Jako příklad uskutečnění technického řešení uvádíme provedení detekce energie laserových pulzů na front-end části laseru L1, ELI Beamlines pomocí detektoru podle výše uvedeného technického řešení.

45 Detekce probíhala na vlnové délce 1030 nm a druhé harmonické vlně, tj. 515 nm. Optické záření 1 dopadá na optický čip 4 nebo 5 nebo 6, který je zvolen podle vlnové délky záření nebo toho,

zda je to záření ve volném prostoru nebo ve vlákně. Tyto tři optické čipy jsou křemíková fotodi-  
oda 4 nebo germaniová fotodiody 5 nebo vláknově spojená křemíková fotodiody 6.

Proudový signál z fotodiody je veden přes AC nebo DC vazbu 7 do impedančního převodníku 8.  
Na AC nebo DC vazbu 7 je dále napojen manuální přepínač 17. Napěťový signál je buď vyveden  
5 z detektoru jako výstup 2 do DAQ nebo je dále veden do druhé části desky konkrétně do logarit-  
mického zesilovače 9. Nakonec je signál veden do peak&hold obvodu 13, kde je zpracován  
a vyveden z detektoru jako výstup 3.

Výstup 2 nebo 3 může být zapojen buď do DAQ (National Instrument RIO) nebo osciloskopu.

K peak&hold obvodu 13 je připojen přepínač 14, kterým se volí mezi automatickým módem 15  
10 nebo externím módem 16 zachytávání maxima pulzů.

Detektor dále obsahuje filtraci vstupního napájení; lineární stabilizátory pro napájení výstupních  
obvodů; a kontrolní diody 18 napájení.

Kontrolní diody 18 napájení je připojena skrze filtraci 19 vstupního napájení a napěťový stabili-  
zátor STAB k logaritmickému zesilovači 9 a peak&hold obvodu 13. K filtraci 19 vstupního na-  
15 pájení je dále připojen zdroj 20 se spouštěčem a s konektorem zesílení signálu.

Filtrace 19 vstupního napájení poskytuje odstranění šumu, které se může dostat do výstupního  
signálu a zhoršit práh citlivosti diody 18.

Napěťový stabilizátor STAB slouží pro vyšší stabilitu výstupního signálu a nezávislost na změn-  
20 nách napájecího napětí. Stabilizátor STAB následně napájí logaritmický zesilovač 9 a peak&hold  
obvod 13.

Detektor dále obsahuje nastavitelný logaritmický zesilovač 9, jehož zesílení je možné nastavit  
externím napěťovým signálem 10 ovládaným přepínačem 11 nebo lokálně pomocí potenciometru  
12 přístupným na krabici detektoru.

#### Příklad 2

25 Předkládané technické řešení sloužilo jako zařízení pro automatickou stabilizaci výkonu v rege-  
nerativním zesilovači front-end části laseru L1 ELI Beamlines. Detektor byl součástí systému,  
který měřil na opakovací frekvenci 1 kHz energii každého jednoho laserového pulzu a automa-  
ticky řídí motorizovaná zrcátka. Tato zpětná vazba umožňuje stabilizovat výkon zesilovače s vy-  
sokou přesností.

#### 30 Příklad 3

V jiném příkladu uskutečnění byl detektor energie laserových pulzů zabudován ve skenovacím  
autokorelátoru, kde byly periodicky zaznamenány výkony laseru v závislosti na poloze zrcátka.  
Toto synchronní nepřímé optické měření založené na generaci vyšších harmonických frekvencí  
slouží pro zjištění délky velmi krátkých laserových pulzů (oblast fs). Díky snadné integraci de-  
35 tektoru bylo možné celý proces zautomatizovat.

#### Příklad 4

Uvedený detektor byl použit pro stabilizaci „bias“ napětí Mach-Zehnderova elektro-optického  
modulátoru. Zde byly do detektoru přivedeny pulzy přímo z optického vlákna (snadnost napojení  
díky SM1 adaptéru). Algoritmus v DAQ následně iterativním procesem mění „bias“ napětí na  
40 modulátoru a čte výstup detektoru energie. Výsledkem je minimalizace optického signálu, což  
vede k maximálnímu kontrastu optických pulzů procházejících modulátorem. Snadná integrace  
opět dovoluje automatizaci procesu a dlouhodobou stabilitu.

#### Průmyslová využitelnost

45 Předkládané technické řešení může sloužit k automatické stabilizaci výkonu v regenerativním  
zesilovači front-end části laserového systému. Detektor může být součástí systému, který měří na  
opakovací frekvenci 1 kHz energii každého jednoho pulzu. K detektoru může být připojena zpět-  
novazebná smyčka, která umožňuje stabilizovat výkon zesilovače na vysoké úrovni.

## NÁROKY NA OCHRANU

1. Detektor energie laserových pulzů (1) obsahující optický čip (4 nebo 5 nebo 6), **vyznačující se tím**, že detektor dále obsahuje:
- impedanční převodník (8) proud-napětí spojený s optickým čipem (4 nebo 5 nebo 6);
  - 5 - logaritmický zesilovač (9) s nastavitelným zesílením připojeným na impedanční převodník (8); a
  - peak&hold obvod (13) spojený s logaritmickým zesilovačem (9), přičemž analogový výstupní signál je možné číst buď přímo z impedančního převodníku (8) nebo ze peak&hold obvodu (13).
- 10 2. Detektor podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že optický čip (4 nebo 5 nebo 6) obsahuje fotodiodu vybranou ze skupiny skládající se z: křemíková fotodioda (4), germaniová fotodioda (5), a křemíkovou fotodiodu s vláknovým vstupem typu ST (6).
3. Detektor podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že k detektoru dále obsahuje:
- 15 - filtraci vstupního napájení;
  - lineární stabilizátory pro napájení výstupních obvodů;
  - kontrolní diodu napájení (18).
4. Detektor podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že peak&hold obvod (13) je napojen na přepínač (14) umožňující použití obvodu v externím modu (16) nebo automatickém módu (15).
- 20 5. Detektor podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že nastavitelný logaritmický zesilovač (9) je napojen na potenciometr (12).
6. Detektor podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že analogový výstup (2 nebo 3) je veden do DAQ systému.
- 25 7. Detektor podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že je celý umístěn v kovové krabici, jejíž povrch je upraven pro minimalizaci reflexe.
8. Detektor podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že kovová krabice obsahuje montážní prvky s SM1 závitem.
- 30 9. Detektor podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že detektor obsahuje AC/DC přepínač (7) napojený na optický čip (4 nebo 5 nebo 6) a impedanční převodník (8).

1 výkres

