



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **99498** (13) **C2**  
(51) МПК

**G01R 31/02** (2006.01)

**G02B 6/46** (2006.01)

**H04B 10/17** (2006.01)

**H01S 3/30** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

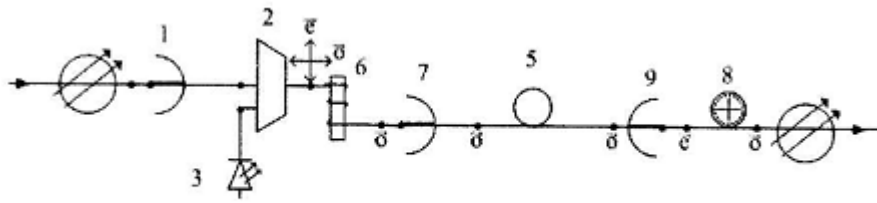
<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2010 07888</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Макаров Терентій Варфоломієвич (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>24.06.2010</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ІМ. О.С. ПОПОВА,</b> вул. Ковальська, 1, м. Одеса, 65029 (UA)
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>27.08.2012</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: Макаров Т. В. Анизотропия изогнутых волоконных световодов. // Труды УНИИРТ. - Одесса, №1, 1995, с. 103 - 106. Макаров Т. В. Лучепреломления в изогнутых и скрученных световодах. // Труды УНИИРТ. - Одесса, №2, 1995, с. 93 - 96. Макаров Т. В. Потоки мощностей сигналов в спиральных одномодовых волоконных световодах. // Праці УНДІРТ. - Одеса, №2(30), 2003, с. 39-44. Макаров Т. В. Невзаимные влияния волн и сигналов в спиральных одномодовых волоконных световодах. Части 1, 2. // Праці УНДІРТ. - Одеса, № 2 (38), 2004, с. 23 - 34. UA 11917 U; 16.01.2006 UA 43653 U; 25.08.2009 UA 6342 U; 16.05.2005 RU 2160949 C2; 20.12.2000 EP 0670642 A1; 06.09.1995 US 2002/0060839 A1; 23.05.2002
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку: <b>26.12.2011, Бюл.№ 24</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>27.08.2012, Бюл.№ 16</b>	

## (54) ОДНОПОЛЯРИЗАЦІЙНИЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ

### (57) Реферат:

Винахід належить до квантової електронної техніки, може бути використаний у вимірювальній волоконно-оптичній техніці, у оптичному зв'язку як лінійний підсилювач у волоконно-оптичних лініях передавання великої довжини та як попередній оптичний підсилювач, що включається перед фотоприймальним пристроєм з метою збільшення його чутливості. Однополяризаційний волоконно-оптичний підсилювач імпульсних сигналів містить послідовно з'єднані вхідний роз'ємний оптичний з'єднувач, двохвильовий оптичний мультиплексор, одномодовий волоконний поляризатор, роз'ємний з'єднувач для підстроювання лінійних поляризацій, активне оптичне волокно, укладене на тор по спіралі, одномодовий волоконний вентиль та роз'ємний з'єднувач, крім того, до мультиплексора також підключений лазер накачування. Технічним результатом винаходу є мінімізація поляризаційної дисперсії імпульсних сигналів та рівня шумів.

UA 99498 C2



**Fig. 2**

Пропонований волоконно-оптичний підсилювач належить до квантової електронної техніки, може бути використаний у вимірювальній волоконно-оптичній техніці, у оптичному зв'язку як лінійний підсилювач у волоконно-оптичних лініях передавання великої довжини та як попередній оптичний підсилювач, що включається перед фотоприймальним пристроєм з метою збільшення його чутливості, коли до нього ставляться особливо жорсткі вимоги за рівнем шумів чи за співвідношенням сигнал/шум та ін.

Класичний квантовий принцип роботи волоконно-оптичних підсилювачів (ВОП), їх накачування й утворення спонтанних шумів у них докладно описані в багатьох джерелах, наприклад в [1]. Схема прямого накачування ВОП, яка прийнята за прототип, пояснює його роботу, вона подана на фіг. 1, де введені наступні позначення: 1 - роз'ємний оптичний з'єднувач; 2 - пристрій об'єднання (двохвильовий оптичний мультиплексор); 3 - лазер накачування; 4 - вентиль (ізолятор) оптичний; 5 - активне оптичне волокно (АОВ), серцевина якого легована рідкісноземельними хімічними елементами (ербієм, тулієм, ітербієм), атоми яких збуджуються випромінюванням лазера накачування, що поширюється, в основному, усередині серцевини АОВ. Подаваний на вхід ВОП інформаційний оптичний сигнал, як правило імпульсний, поширюється також уздовж АОВ, стимулює емісію квантів збуджених атомів, підсилюється, поглинаючи їхню енергію. АОВ, довжиною кілька десятків метрів, звичайно згинається й укладається круглою бухтою усередині корпусу самого оптичного підсилювача. Тому зазначене найбільш близьке по суті технічне рішення, прийняте за прототип, має великий рівень спонтанних шумів і шумів, які є результатом електродинамічних особливостей поширення хвиль у їхніх вигнутих активних оптичних волокнах.

При укладанні одномодових оптичних волокон (ОМОВ) на деякий круговий циліндр по спіральних лініях у них спостерігаються метрична і діелектрична анізотропії [2], які виявляються в двопроменезаломленні [3], різних фазових швидкостях поширення основних, незвичайної (екстраординарної)  $HE_{11}^e$  і звичайної (ординарної)  $HE_{11}^o$ , хвиль із взаємно-ортогональними поляризаціями [4] відповідно, зорієнтованими під кутами  $\varphi^e$  і  $\varphi^o$  щодо осі  $\vec{x}$ , що сполучає нормалі в поперечному перетині вісь спіралі з віссю ОМОВ:

де  $\varphi^e = -\arctg(p/4\pi R)$ ;  $\varphi^o = \varphi^e \pm \pi/2$ , де  $p$ ,  $R$  - крок і радіус спіралі. Крім того, завдяки зазначеній анізотропії, у спіральних ОМОВ спостерігається невзаємне перетікання потужностей у площині поперечного перерізу між зазначеними хвилями [5]. Ці потоки потужностей невзаємного зв'язку між зазначеними хвилями визначаються координатами поперечного перерізу ОМОВ, кроку  $p$  і радіуса  $R$  вигнутої по спіралі осі ОМОВ. Саме ці потоки потужностей невзаємного зв'язку зазначених хвиль породжують основні шуми у ВОП шляхом емісії квантів збуджених атомів рідкісноземельних хімічних елементів, які легують серцевину АОВ. Такі шуми названі шумами перетворення поляризацій. Особливості невзаємних впливів між зазначеними хвилями в залежності від співвідношення  $0 \leq p/4\pi R \leq \infty$  досліджені в роботах [6, 7], де, зокрема, показано, що у вигнутому по спіралі ОМОВ з  $1 < p/4\pi R \leq 4,17$  невзаємні впливи між зазначеними хвилями цілком відсутні, тобто в поперечному перерізі такого спірального ОМОВ немає поперечних потоків потужностей між розглянутими взаємно-ортогональними хвилями, отже, немає стимульованої ними емісії квантів збуджених атомів. При цьому будуть мінімальними шуми на виході ВОП. Те ж буде спостерігатися в АОВ, якщо в ньому буде збуджена і підтримуватиметься тільки одна з взаємно-ортогональних хвиль, звичайна хвиля  $HE_{11}^o$ . Додатково при цьому буде відсутня поляризаційна дисперсія імпульсних сигналів, що підключаються в АОВ. Для виконання цих умов необхідно, щоб в АОВ підтримувалася б єдиною поляризація оптичних полів як підсилюваного інформаційного сигналу, так і сигналу накачування. В пропонованому ВОП (Фіг. 2) цю функцію виконує поляризатор оптичний волоконний (ПОВ1) 6 (див. опис [8]), ввімкнутий на фіг. 2 після оптичного мультиплексора (ОМ) 2, який поляризує одночасно поля інформаційних імпульсних сигналів і випромінювання лазера накачування (ЛН) 3. (Неармований вхідний кінець волокна ПОВ1 може підварюватися до вихідного порту ОМ, що позначено точкою на фіг. 2). Колінальність вихідної поляризації ПОВ1 із поляризацією звичайної хвилі  $HE_{11}^e$  у вигнутому по спіралі АОВ з  $1 < p/4\pi R \leq 4,17$ , з'єднаного з розеткою роз'ємного оптичного з'єднувача (РОЗ1) 7, утворюється поворотом вилки (штекера) ПОВ1 відносно нерухомої розетки РОЗ1. Якість поляризаційного узгодження при цьому контролюється за відсутності (мінімумом) сигналу ортогональної поляризації у розетці РОЗ2.

Вихідна поляризація звичайної хвилі  $HE_{11}^o$  АОВ сполучається з поляризацією хвилі  $HE_{11}^e$  на вході другого поляризатора оптичного волоконного (ПОВ2) 8. Це досягається поворотом осердя ПОВ2 на  $90^\circ$  відносно осердя ПОВ1. Крім того, точна підстройка досягається поворотом

штекера 9 РО32 відносно нерухомої розетки Його, з'єднаної з виходом АОВ. В такому разі ПОВ2 буде виконувати також функцію вентиля по відношенню до відбитих в лінії полів (див. опис в [9]). Вентилі 4 фіг. 1 при цьому не потрібні.

Таким чином буде вирішена поставлена задача мінімізації поляризаційної дисперсії імпульсних сигналів та рівня шумів на виході ВОП, стимульованих двопроточним двопроточним і невзаємним зв'язком хвиль в АОВ відповідно. Пропонований ВОП містить ті ж самі елементи, що і прототипи, а саме: роз'ємний оптичний з'єднувач, пристрій об'єднання (двоххвильовий оптичний мультиплексор), лазер накачування, вентиль оптичний типу описаного в [9], активне оптичне волокно (див. фіг. 1).

Технічним вирішенням поставленої задачі є:

1. Укладення активного оптичного волокна довжиною приблизно 20 м по спіральній лінії в один шар на тор (див. фіг. 3), із співвідношенням в межах  $1 < p/4\pi R \leq 4,17$ , що забезпечує мінімальні габарити ВОП і автономне незалежне поширення взаємно-ортогональних хвиль в АОВ [6,7], де  $p_T$ ,  $R_T$  крок і радіус спірального вигнутого АОВ на торі.

2. На вході АОВ (див. фіг 2) пропонується вмикати поляризатор оптичний волоконний ПОВ1 із співвідношенням  $\frac{P}{4\pi R} \approx 0,3$  [8], який забезпечує збудження в АОВ єдиної лінійної поляризації

звичайної хвилі  $HE_{11}^o$  як поля інформаційного сигналу, так і поля сигналу накачування і, отже, відсутність поляризаційної дисперсії підсилених імпульсних сигналів в АОВ із-за відсутності підсилення незвичайної хвилі в ньому.

3. Пропоноване в ролі оптичного вентиля на виході АОВ (див. фіг. 2) вмикати поляризатор оптичний волоконний ПОВ2 також із співвідношенням  $\frac{P}{4\pi R} \approx 0,3$ , в якому АОВ збуджує ортогональну незвичайну хвилю. Тому ПОВ2 виконує також функцію вентиля відносно до відбитих в лінії полів [9].

Таким чином, вздовж ВОП «Вхід-Вихід» будуть існувати такі зміни поляризації звичайної  $HE_{11}^o$  позначеної  $\vec{e}$  і незвичайної  $HE_{11}^e$  позначеної  $\vec{e}$  хвиль з урахуванням підстроювання (див. Фіг. 2). На вході ПОВ1 будуть невизначені обидві поляризації інформаційного сигналу і сигналу накачування, які в ПОВ1 перетворюються в єдину поляризацію  $\vec{0}$ . В АОВ підтримується єдина поляризація  $\vec{0}$ , яка сполучається з поляризацією  $\vec{e}$  на вході ПОВ2, а на виході ПОВ2 отримується поляризація  $\vec{0}$ , яка направляється в лінію, тобто в ОМОВ, укладене в ОК. В ОК поширюється, в основному, звичайна хвиля  $\vec{0}$ . На неоднорідностях у волоконно-оптичному тракту така хвиля відбивається в різних точках. Відбиті хвилі поступають на вихід ПОВ2, в основному, у виді поляризації  $\vec{0}$ , які проходять скрізь ПОВ2 без перетворення. Таким чином, їх поляризації будуть ортогональні по відношенню до поляризації сигнальної хвилі, що підсилюється в АОВ, і отже, не будуть підсилюватися при їх поширенні в АОВ в зворотному напрямі, а будуть поглинатися атомами рідкоземельних елементів.

Приведено деякі розрахунки, наприклад для середнього значення  $A = \frac{P}{4\pi R} = 2$ ; заданої довжини АОВ  $l=20$  м, діаметра АОВ із захисним покриттям  $2b=250$  мкм. Припустимо, що довжина внутрішнього кола тора будь-якого матеріалу з мінімальним коефіцієнтом температурного розширення дорівнює довжині кроку  $p_T$  спірального активного волокна (фіг. 3). Тоді число витків АОВ, укладених на торі на довжині  $p_T$ , буде рівне  $W = p_T / 2b$ , а довжина  $p_T$  повинна бути такою щоб  $l = W * p_t = p_t^2 / 2b$ . При заданих  $l$  і  $2b$  крок спіралі

$p_t = \sqrt{2bl} = \sqrt{250 * 10^{-6} * 20} = 70,7 * 10^{-3}$  м. Тоді радіус тора  $R_T = \frac{p_t}{4\pi A} = 70,7 * \frac{10^{-2}}{8\pi} \approx 2,8 * 10^{-3}$  м. З урахуванням температурних змін навколишнього середовища збільшимо радіус спіралі на торі  $R_{CT}$  до 3 мм. При цьому отримаємо співвідношення  $\frac{P_{CT}}{p_T} = 75,4 / 70,7 \approx 1,066$  і люфт між витками

АОВ на внутрішньому боці тора складе приблизно 6,6 %, що необхідно для виключення взаємного стискання між витками. Таким чином, на торі, довжина внутрішнього кола якого приблизно дорівнює кроку спірального укладення АОВ  $p_T = 75,4$  мм при радіусі спіралі на торі  $R_{CT}$ , рівному 3 мм, укладається в один шар АОВ довжиною  $l=22,7$  м. Внутрішній радіус тора

дорівнює  $R_{BH} = 75,4/2\pi \approx 12$  мм. Зовнішній радіус тора таким чином буде

$$R_3 = R_{BH} + 2R_T = 12 + 6 = 18 \text{ мм}; \text{число укладених витків складає } W = \frac{75,4}{250 \cdot 10^{-3}} \approx 300.$$

Джерела інформації:

1. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. - М: Радио и связь, 1998. - 267 с.
- 5 2. Макаров Т.В. Анизотропия изогнутых волоконных световодов. // Труды УНИИРТ. - Одесса, № 1, 1995, с. 103-106.
3. Макаров Т. В. Лучепреломления в изогнутых и скрученных световодах. // Труды УНИИРТ. - Одесса, № 2, 1995, с. 93-96.
4. Макаров Т.В. Метод определения волн в изогнутых световодах. // Труды УНИИРТ. - Одесса, № 1 (5), 1996 с. 82-91.
- 10 5. Макаров Т.В. Поток мощностей сигналов в спиральных одномодовых волоконных световодах. // Праці УНДІРТ. - Одеса, № 2(30), 2003, с. 39-44.
- 6, 7. Макаров Т.В. Невзаимные влияния волн и сигналов в спиральных одномодовых волоконных световодах. Части 1, 2. // Праці УНДІРТ. - Одеса, № 2 (38), 2004, с. 23-34.
- 15 8. Макаров Т.В. Одномодовий волоконно-оптичний поляризатор.
- Деклараційний патент на корисну модель №11917 16.01.2006, Бюл. № 1.
9. Макаров Т.В., Степанов Д.М. Одномодовий волоконно-оптичний вентиль (ізолятор). Патент на корисну модель № 43653 від 25.08.2009, Бюл. № 16.

# ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

Однополяризаційний волоконно-оптичний підсилювач імпульсних сигналів, який містить лазер накачування та послідовно з'єднані вхідний роз'ємний оптичний з'єднувач, двохвильовий оптичний мультиплексор, активне оптичне волокно, леговане рідкісноземельними хімічними елементами, оптичний вентиль, при цьому лазер накачування підключений до іншого входу мультиплексора, який відрізняється тим, що оптичний вентиль є одномодовим волоконним, активне оптичне волокно укладене на тор в один шар по спіралі виток до витка з відношенням  $1 < p/4\pi R \leq 4,17$ , де  $p$ ,  $R$  - шаг і радіус спіралі, на вході волокна ввімкнено послідовно з'єднані одномодовий волоконний поляризатор і роз'ємний з'єднувач для підстроювання лінійних поляризацій, а на виході його підключено послідовно з'єднані одномодовий волоконний вентиль і вихідний роз'ємний з'єднувач.

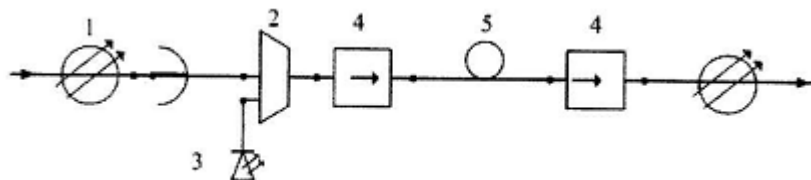


Fig. 1

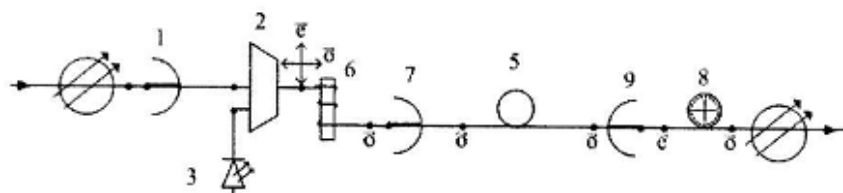
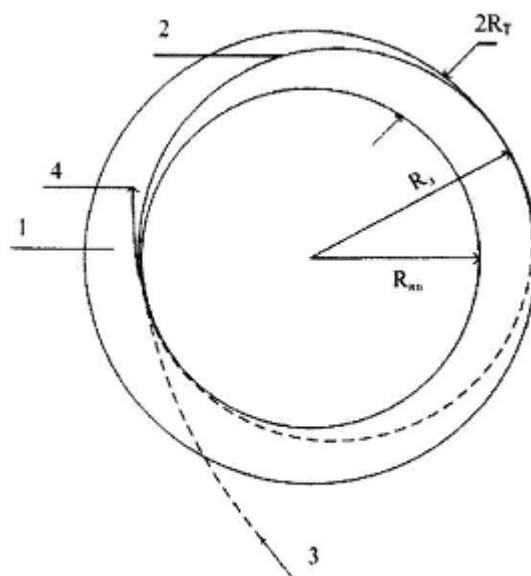


Fig. 2



**Fig. 3**

---

Комп'ютерна верстка В. Мацело

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601