

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2646420

СПОСОБ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРОСА ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Патентообладатель: *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики" (Университет ИТМО) (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2016146075

Приоритет изобретения 23 ноября 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 05 марта 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 23 ноября 2036 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01B 9/02083 (2006.01); G02F 1/3515 (2006.01); H01S 5/0085 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016146075, 23.11.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.11.2016

Дата регистрации:
05.03.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.11.2016

(45) Опубликовано: 05.03.2018 Бюл. № 7

Адрес для переписки:

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49,
Университет ИТМО, ОИС и НТИ

(72) Автор(ы):

Киреев Александр Юрьевич (RU),
Алейник Артем Сергеевич (RU),
Плотников Михаил Юрьевич (RU),
Мехреньгин Михаил Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
национальный исследовательский
университет информационных технологий,
механики и оптики" (Университет ИТМО)
(RU)

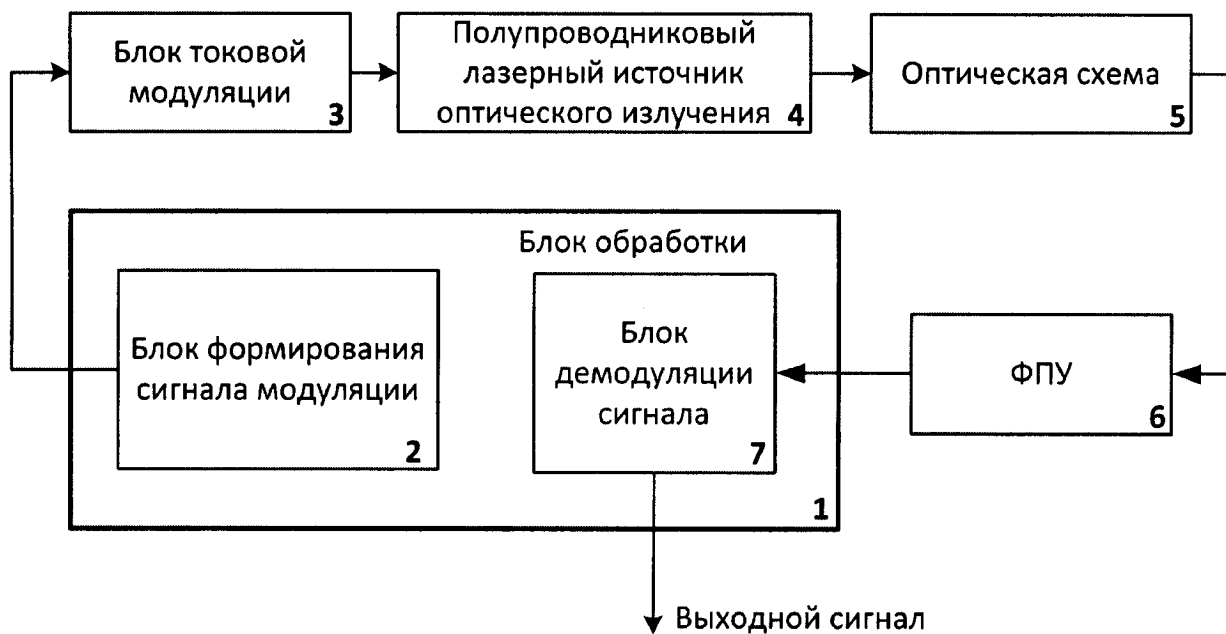
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: A.D. Kersey, A. Dandridge, and A.B.
Tveten "Time-division multiplexing of
interferometric fiber sensors using passive
phase-generated carrier interrogation" Optics
Letters, Vol. 12, Issue 10, pp. 775-777, 1 October
1987. DE 4130639 A1, 18.03.1993. CN 101261371
A, 10.09.2008. RU 2062542 C1, 20.06.1996. CN
103954391 A, 30.07.2014.

(54) СПОСОБ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРОСА ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области оптических измерительных приборов и может быть использовано в оптических интерферометрических датчиках с полупроводниковыми источниками оптического излучения для формирования оптических импульсов и частотной модуляции оптической несущей без использования дополнительных амплитудных, частотных и фазовых модуляторов. Способ решает задачу упрощения формирования оптического сигнала для опроса оптических интерферометрических датчиков за счет

одновременного формирования оптических импульсов и частотной модуляции, без использования дополнительных внешних модуляторов оптического излучения, с сохранением одинаковой амплитуды оптических импульсов. Для этого на полупроводниковый лазерный источник оптического излучения направляют электрический сигнал в виде последовательности прямоугольных импульсов одинаковой амплитуды, со скважностью, которую изменяют пропорционально частоте модуляции. 5 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H01S 5/042 (2006.01)
G01B 9/02 (2006.01)
G02F 1/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01B 9/02083 (2006.01); *G02F 1/3515* (2006.01); *H01S 5/0085* (2006.01)(21)(22) Application: **2016146075, 23.11.2016**(24) Effective date for property rights:
23.11.2016Registration date:
05.03.2018

Priority:

(22) Date of filing: **23.11.2016**(45) Date of publication: **05.03.2018** Bull. № 7

Mail address:

**197101, Sankt-Peterburg, Kronverkskij pr., 49,
Universitet ITMO, OIS i NTI**

(72) Inventor(s):

**Kireenkov Aleksandr Yurevich (RU),
Alejnik Artem Sergeevich (RU),
Plotnikov Mikhail Yurevich (RU),
Mekhrengin Mikhail Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij natsionalnyj
issledovatel'skij universitet informacionnykh
tekhnologij, mekhaniki i optiki" (Universitet
ITMO) (RU)**(54) **METHOD OF FREQUENCY-PULSE MODULATION OF A SEMICONDUCTOR LASER SOURCE OF OPTICAL RADIATION FOR OPTICAL INTERFEROMETRIC SENSORS**

(57) Abstract:

FIELD: measuring instruments.

SUBSTANCE: invention relates to the field of optical measuring instruments and can be used in optical interferometric sensors with semiconductor optical radiation sources for forming optical pulses and frequency modulation of an optical carrier without the use of additional amplitude, frequency and phase modulators. For this, an electrical signal is sent to the semiconductor laser source of optical radiation in the form of a sequence of rectangular pulses of the same

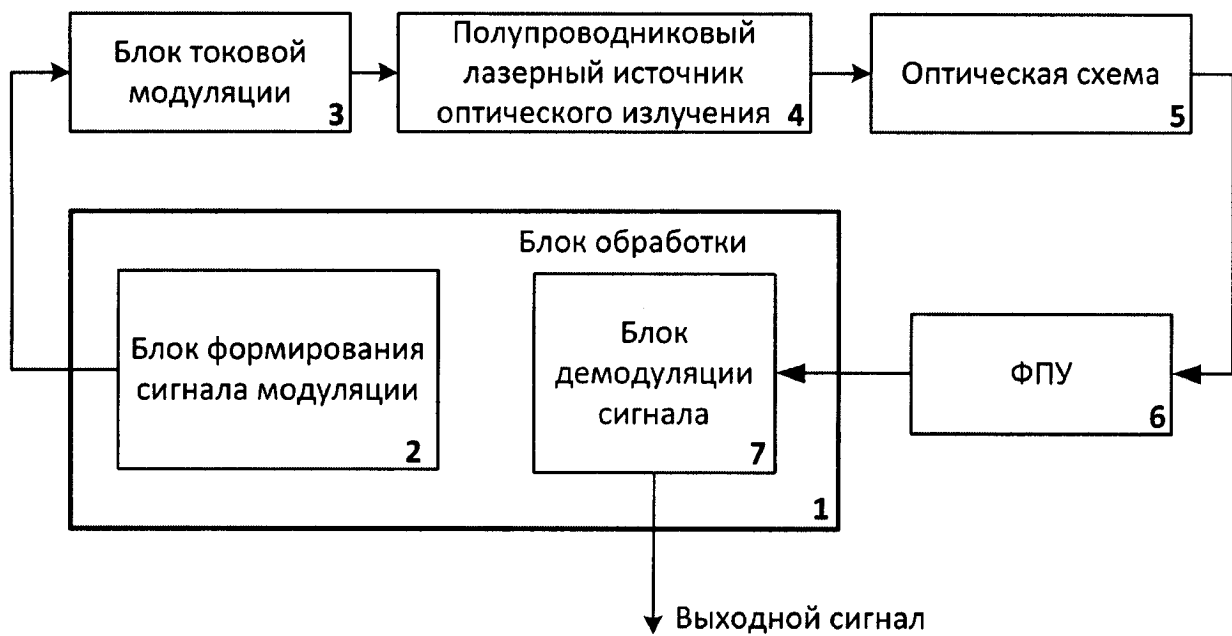
amplitude, with a duty cycle, which is changed in proportion to the modulation frequency.

EFFECT: method solves the problem of simplifying the formation of an optical signal for interrogating optical interferometric sensors due to the simultaneous formation of optical pulses and frequency modulation, without the use of additional external modulators of optical radiation, with the same amplitude of optical pulses remaining.

1 cl, 5 dwg

RU 2 646 420 C1

RU 2 646 420 C1



Фиг.1

Изобретение относится к области оптических измерительных приборов и может быть использовано в оптических интерферометрических датчиках с полупроводниковыми источниками оптического излучения для формирования оптических импульсов и частотной модуляции оптической несущей без использования

5 дополнительных амплитудных, частотных и фазовых модуляторов.

Известен способ прямой токовой модуляции полупроводниковых лазерных источников оптического излучения для создания оптической [статья S. Kobayashi, Y. Yamamoto, M. Ito, T. Kimura «Direct Frequency Modulation In AlGaAs Semiconductor Lasers» IEEE Journal of Quantum Electronics 30(4), p 582-595, May 1982] Способ заключается в следующем: на полупроводниковый лазерный источник оптического излучения подается постоянный ток смещения, обеспечивающий работу лазера в режиме постоянного излучения, вместе с данным сигналом подается электрический сигнал переменного тока, обеспечивающий модуляцию частоты. Модуляция по частоте происходит за счет двух эффектов, возникающих в активной области полупроводникового лазерного

15 источника оптического излучения: температурного эффекта изменения геометрических параметров и показателя преломления активной области и изменения показателя преломления вследствие изменения концентрации носителей зарядов в активной области.

Недостатками известного способа модуляции полупроводниковых лазерных источников оптического излучения для опроса интерферометрических оптических датчиков являются: изменение выходной оптической мощности из-за переменного тока накачки, использование сложных схем токовой модуляции, работа в режиме постоянного излучения.

Известен способ прямой токовой модуляции полупроводниковых лазерных источников оптического излучения с использованием дополнительного внешнего модулятора для формирования оптических импульсов для опроса интерферометрических волоконно-оптических датчиков, выбранный в качестве прототипа [статья A.D. Kersey, A. Dandridge, and A.B. Tveten «Time-division multiplexing of interferometric fiber sensors using passive phase-generated carrier interrogation» Optics Letters, Vol. 12, Issue 10, pp. 775-777, 1 October 1987]. Способ заключается в следующем: на полупроводниковый лазерный

30 источник оптического излучения подается электрический гармонический синусоидальный сигнал, обеспечивающий модуляцию по частоте, вместе с данным сигналом подается постоянный ток смещения. Модуляция по частоте происходит за счет температурного изменения геометрических параметров и показателя преломления активной области лазерного диода и изменения показателя преломления вследствие изменения

35 концентрации носителей зарядов в активной области лазера. Для формирования оптических импульсов на выходе лазера устанавливается внешний электрооптический модулятор, преобразующий оптическое постоянное излучение полупроводникового лазерного источника оптического излучения в оптические импульсы. Затем данные оптические импульсы направляются в оптическую схему, представляющую собой,

40 разбалансированный двухплечевой волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера.

Недостатками известного способа модуляции полупроводниковых лазерных источников оптического излучения для опроса интерферометрических оптических датчиков являются: использование сложных высокочастотных и высокостабильных аналоговых схем токовой модуляции, изменение выходной интенсивности оптического сигнала из-за изменения тока модуляции, обеспечивающего частотную модуляцию оптической несущей, работа лазерного диода в режиме постоянного излучения, требующая установки внешнего амплитудного электрооптического модулятора для формирования оптических импульсов. Амплитудные модуляторы не обеспечивают

достаточного коэффициента экстинкции, требуют дополнительного электронного блока для обеспечения модулирующего напряжения и могут вносить поляризационные преобразования и нелинейные искажения в сигнал модуляции при его взаимодействии с внешними источниками помех - вибрациями, температурными градиентами и т.д.

Способ решает задачу упрощения формирования оптического сигнала для опроса оптических интерферометрических датчиков за счет одновременного формирования оптических прямоугольных импульсов и частотной модуляции, без использования дополнительных внешних модуляторов оптического излучения, с сохранением одинаковой амплитуды оптических импульсов.

Поставленная задача решается следующим образом. В способе частотно-импульсной модуляции полупроводникового лазерного источника оптического излучения для опроса оптических интерферометрических датчиков, заключающемся в подаче на полупроводниковый лазерный источник оптического излучения электрического сигнала, указанный сигнал формируют в виде последовательности прямоугольных импульсов одинаковой амплитуды, со скважностью, которую изменяют пропорционально частоте модуляции.

Сущность заявляемого способа частотно-импульсной модуляции полупроводникового лазерного источника оптического излучения для опроса оптических интерферометрических датчиков поясняется следующим образом.

Блок обработки формирует сигнал частотной модуляции в диапазоне частот от нескольких сотен герц до нескольких мегагерц в зависимости от применения, который преобразуется в импульсный сигнал, представляющий собой последовательность прямоугольных электрических импульсов одинаковой амплитуды, скважность следования которых изменяется пропорционально частоте модуляции. Скважность следования электрических импульсов есть отношение их периода следования к их длительности. Период сигнала частотной модуляции превышает период следования прямоугольных электрических импульсов. Сформированная последовательность прямоугольных электрических импульсов осуществляет модуляцию полупроводникового лазерного источника оптического излучения. Оптические импульсы, генерируемые полупроводниковым лазерным источником оптического излучения, по своей форме и периоду следования полностью повторяют электрические импульсы. Амплитуда всех оптических импульсов одинакова.

Оптическая частота, генерируемая полупроводниковым лазерным источником оптического излучения, зависит от температуры. При изменении температуры активной области полупроводникового лазерного источника оптического излучения, в которой осуществляется генерация оптического излучения, происходит изменение геометрии и показателя преломления активной области. Изменение геометрических параметров и показателя преломления ведет к изменению оптической частоты, генерируемой полупроводниковым лазерным источником оптического излучения. В результате подачи электрического импульса на полупроводниковый лазерный источник оптического излучения активная область полупроводникового лазерного источника оптического излучения нагревается. Время роста температуры активной области равно длительности электрического импульса, а время стабилизации температуры до прежнего уровня превышает период следования электрических импульсов. Если температура активной области полупроводникового лазерного источника оптического излучения в момент генерации оптического импульса больше температуры активной области полупроводникового лазерного источника оптического излучения в момент генерации предыдущего оптического импульса, то оптическая частота этого оптического импульса

будет меньше, чем предыдущего оптического импульса. При противоположной разнице температур оптические частоты также будут отличаться в противоположную сторону. При изменении скважности последовательности электрических импульсов, подаваемых на полупроводниковый лазерный источник оптического излучения, пропорционально частоте модуляции, таким же образом будет изменяться и оптическая частота полупроводникового лазерного источника оптического излучения.

Таким образом, на полупроводниковый лазерный источник оптического излучения подается электрический сигнал в виде последовательности прямоугольных импульсов одинаковой амплитуды и переменной скважности, пропорциональной частоте модуляции, в результате чего происходит одновременное формирование оптических импульсов и частотной модуляции.

Затем последовательность сформированных оптических импульсов поступает в оптическую схему интерферометрического датчика. Оптическая схема представляет собой двухплечевой разбалансированный интерферометр, оптические пути для импульсов в каждом плече различаются на некоторую длину $\Delta L_{omn} = n \cdot \Delta L$, где n - показатель преломления среды, в которой распространяется свет, ΔL - геометрическая разница длин плеч интерферометра. На входе в интерферометр каждый оптический импульс делится на два равных по интенсивности оптических импульса с помощью светоделительного элемента. Каждый оптический импульс из пары попадает в свое плечо интерферометра. В плече интерферометра оптический импульс набирает набег фазы $\varphi = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot L \cdot \nu}{c}$, где n - показатель преломления среды, L - длина плеча интерферометра, ν - частота оптического импульса, который пропорционален оптическому пути в плече и частоте оптического импульса.

Затем эти оптические импульсы снова попадают на светоделительный элемент, где они сходятся и интерферируют. Интерференционный сигнал описывается формулой

$I = I_1 + I_2 + \sqrt{I_1 I_2} \cdot \cos(\Delta\varphi)$, где I_1 - интенсивность оптического импульса из первого плеча интерферометра, I_2 - интенсивность оптического импульса из второго плеча

интерферометра, $\Delta\varphi$ - разность фаз оптических импульсов. Поскольку каждый оптический импульс в последовательности имеет оптическую частоту, отличную от оптических частот соседних импульсов, то и разность фаз соседних интерферирующих

оптических импульсов будет отличаться
$$\Delta\varphi = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot L \cdot d\nu}{c},$$

где $d\nu$ - изменение частоты оптического импульса вследствие нагрева.

Интерференционные импульсы попадают на фотоприемное устройство, преобразующее оптический сигнал в электрический сигнал. При рассмотрении электрического сигнала интерферометра во временной области

$$I_{\Sigma} = \eta \cdot (I_1 + I_2 + \sqrt{I_1 I_2} \cdot \cos(\frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot L \cdot \nu}{c})),$$

где η - коэффициент преобразования оптического сигнала в электрический сигнал, можно наблюдать результат интерференции в соответствии с передаточной функцией

интерферометра.

Полученный электрический сигнал интерферометра обрабатывается в блоке обработки сигналов. В зависимости от сферы применения интерферометра может обрабатываться по необходимому алгоритму. Регулировка глубины модуляции интерферометрического сигнала осуществляется блоком обработки сигналов путем изменения длительности электрических импульсов.

Таким образом, заявляемый способ обеспечивает упрощение формирования оптического сигнала для опроса оптического интерферометрического датчика, представляет собой последовательность оптических импульсов одинаковой амплитуды, со скважностью, которая изменяется пропорционально частоте модуляции.

Сущность заявляемого способа поясняется чертежами.

На фиг. 1 показана структурная схема оптического интерферометрического датчика с блоком обработки для осуществления заявляемого способа, в котором поясняется применяемая модуляция.

На фиг. 2 показан сигнал модуляции и последовательность импульсов, посылаемых на источник оптического излучения.

На фиг. 3 показан выходной сигнал фотоприемного устройства.

На фиг. 4 показан спектр выходного сигнала фотоприемного устройства.

На фиг. 5 показана оптическая схема волоконно-оптического интерферометра Майкельсона.

Заявляемый способ может быть осуществлен с помощью устройства, представленного на фиг. 1. Устройство содержит блок обработки 1, представляющий собой электрическую схему, включающий в себя блок формирования сигнала модуляции 2, выход которого соединен с входом блока токовой модуляции 3, представляющего собой электрическую схему источника переменного и постоянного тока. Выход блока токовой модуляции 3 соединен с входом полупроводникового лазерного источника оптического излучения 4. Полупроводниковый лазерный источник оптического излучения 4 оптически подключен к входу оптической схемы 5, представляющей собой разбалансированный двухплечевой интерферометр, соединенной оптически с входом фотоприемного устройства 6 (ФПУ), которое детектирует оптическое излучение на выходе оптической схемы 4. Выход ФПУ 6 электрически соединен с входом блока демодуляции сигнала 7, который входит в состав блока обработки 1.

Заявляемый способ осуществляется следующим образом. Блок формирования сигнала модуляции 1 задает значение амплитуды тока импульсов модуляции и формирует сигнал частотно-импульсной модуляции и на его основе формирует последовательность электрических импульсов одинаковой амплитуды, скважность следования которых изменяется пропорционально частоте модуляции, которые посылаются в блок токовой модуляции 3. Из полученных импульсов блок токовой модуляции 3 формирует электрический импульсный сигнал, полностью повторяющий последовательность импульсов от блока формирования сигнала модуляции 2. Блок токовой модуляции 3 посылает сигнал модуляции на полупроводниковый лазерный источник оптического излучения 4, который генерирует оптические импульсы, посылаемые в оптическую схему 5. С выхода оптической схемы 5, представляющей собой разбалансированный двухплечевой интерферометр, интерференционные оптические импульсы попадают на фотоприемное устройство 6, преобразующее оптический интерференционный сигнал в электрический. Электрический сигнал от фотоприемного устройства 6 попадает в блок демодуляции сигнала 7, находящийся в блоке обработки сигналов 1.

В качестве конкретного примера осуществления предлагается способ частотно-

импульсной модуляции полупроводникового поверхностно излучающего лазера с вертикальным резонатором (VCSEL) для опроса волоконно-оптического интерферометрического датчика.

Блок обработки сигналов программно реализован в микросхеме программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Все процессы формирования сигнала модуляции, формирования последовательности электрических импульсов, управление глубиной модуляции, управление фотоприемным устройством, управление блоком токовой модуляции, прием и дальнейшая алгоритмическая обработка интерференционного сигнала осуществляются в ПЛИС. В качестве полупроводникового лазерного источника оптического излучения используется полупроводниковый поверхностно-излучающий лазер с вертикальным резонатором (VCSEL) на длину волны 1550 нм с волоконным выводом. В качестве блока токовой модуляции используется микросхема драйвер лазерного диода, формирующая токовые импульсы заданной амплитуды и длительности. VCSEL генерирует оптические импульсы длительностью несколько наносекунд с периодом несколько сотен наносекунд. Оптическая схема представлена волоконно-оптическим интерферометром Майкельсона, который состоит из 4-портового волоконно-оптического разветвителя 8, оптических волокон 9, 10 и двух зеркал 11, 12. Оптические импульсы от VCSEL попадают в порт 8a разветвителя 8. Порт 8c волоконно-оптического разветвителя 8 соединен с оптическим волокном 9, на торце оптического волокна 9 нанесено зеркало 11, отражающее оптические импульсы. Порт 8d волоконно-оптического разветвителя 8 соединен с оптическим волокном 10, на торце оптического волокна 10 нанесено зеркало 12, отражающее оптические импульсы. Оптическое волокно 9 короче оптического волокна 10 на 70 мм. Этим обеспечивается разбалансировка длин плеч интерферометра. Оптический импульс от VCSEL попадает в порт 8a волоконно-оптического разветвителя 8, делится и попадает в порты 8c и 8d. Оптический импульс из порта 8c проходит по оптическому волокну 9, отражается от зеркала 11, возвращается обратно по оптическому волокну 9 и попадает в порт 8c волоконно-оптического разветвителя 8. Оптический импульс из порта 8d проходит по оптическому волокну 10, отражается от зеркала 12, возвращается обратно по оптическому волокну 10 и попадает в порт 8d волоконно-оптического разветвителя 8. Импульсы из портов 8c и 8d сходятся и интерферируют в волоконно-оптическом разветвителе 8, образуя один интерференционный импульс. Данный интерференционный импульс поступает в порт 8b волоконно-оптического разветвителя, а затем попадает в ФПУ 6, так как порт 8b оптически соединен с ФПУ 6. В качестве ФПУ используется фотодиод с волоконным выводом, подключенный к электрическому усилителю. Для оцифровки сигнала с ФПУ используется микросхема быстродействующего 16 разрядного аналого-цифрового преобразователя, интерференционный сигнал преобразуется в цифровую форму, затем сигнал в цифровой форме поступает в ПЛИС. Алгоритмическая обработка интерференционного сигнала с помощью алгоритма гомодинной демодуляции на основе значения функции арктангенса осуществляется в ПЛИС.

Экспериментальным путем в результате модуляции VCSEL электрическим сигналом, представляющим собой последовательность прямоугольных импульсов одинаковой амплитуды и скважностью, пропорциональной частоте модуляции 31250 кГц, получен сигнал на фотоприемном устройстве с волоконно-оптического интерферометрического датчика, представленный на фиг. 3. На фиг. 4. представлен спектр этого сигнала, на котором изображены две -1-я и 2-я гармоники модулирующего сигнала.

Таким образом, заявляемый способ частотно-импульсной модуляции полупроводникового лазерного источника оптического излучения для опроса

оптических интерферометрических датчиков обеспечивает формирование оптического сигнала для опроса оптических интерферометрических датчиков за счет одновременного формирования оптических прямоугольных импульсов и частотной модуляции, без использования дополнительных внешних модуляторов оптического излучения, с
5 сохранением одинаковой амплитуды оптических импульсов.

(57) Формула изобретения

Способ частотно-импульсной модуляции полупроводникового лазерного источника оптического излучения для опроса оптических интерферометрических датчиков путем
10 подачи на полупроводниковый лазерный источник оптического излучения электрического сигнала, отличающийся тем, что подаваемый электрический сигнал формируют в виде последовательности прямоугольных импульсов одинаковой амплитуды со скважностью, которую изменяют пропорционально частоте модуляции.

15

20

25

30

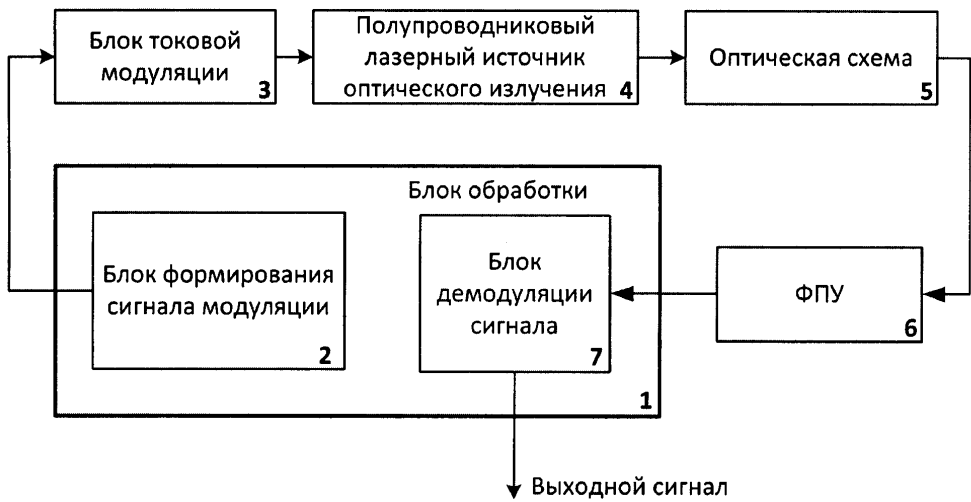
35

40

45

1

СПОСОБ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРОСА ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

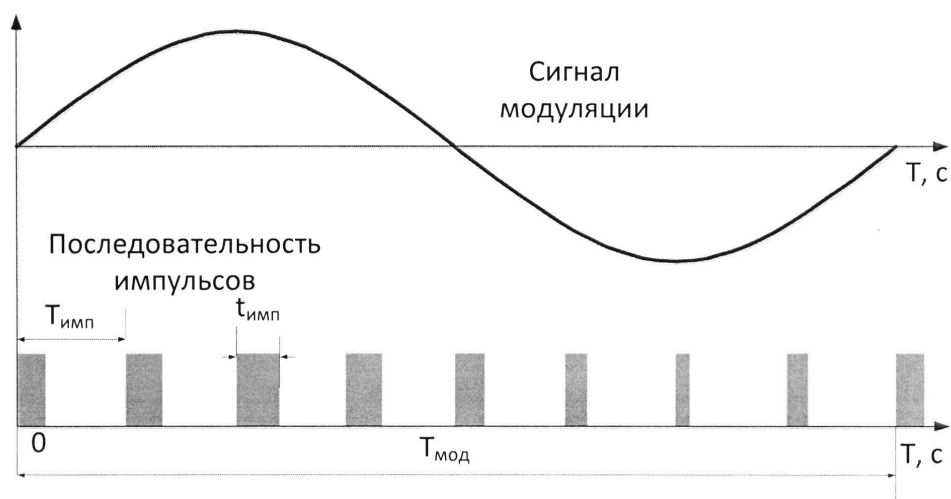


Фиг.1

1

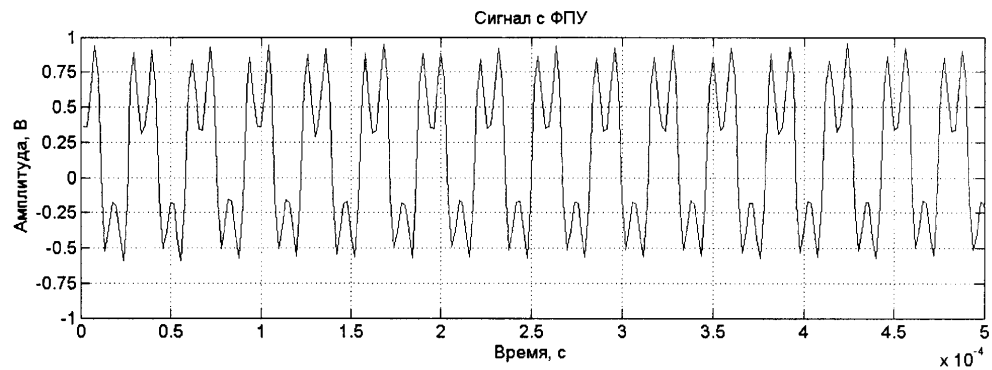
2

СПОСОБ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРОСА ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ



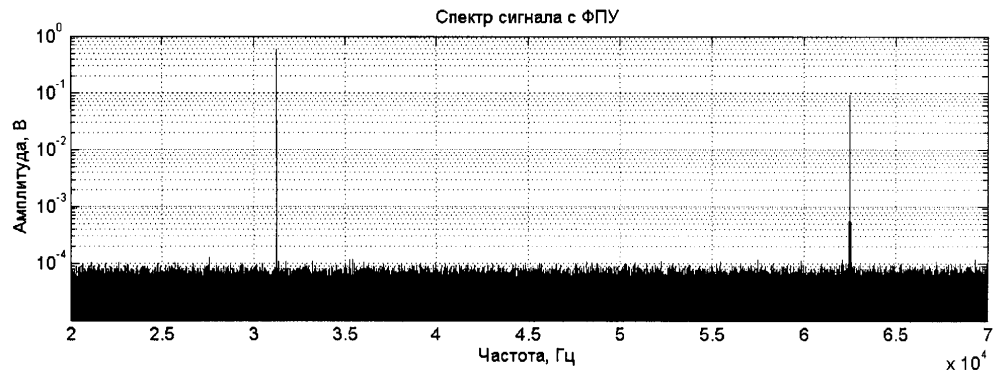
Фиг.2

СПОСОБ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО
ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРОСА
ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ



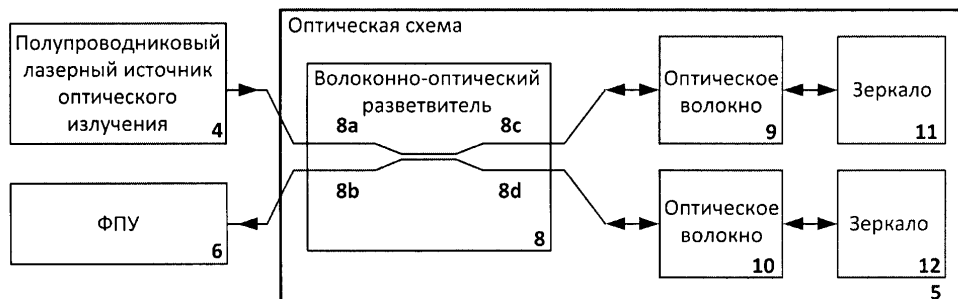
Фиг.3

СПОСОБ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО
ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРОСА
ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ



Фиг.4

СПОСОБ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРОСА ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ



Фиг. 5