

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045447**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.11.27

(51) Int. Cl. **H04L 9/08** (2006.01)
H04B 10/2507 (2013.01)

(21) Номер заявки
202291302

(22) Дата подачи заявки
2019.12.23

(54) **УСТРОЙСТВО КВАНТОВОЙ РАССЫЛКИ КЛЮЧА НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ, УСТОЙЧИВОЕ К ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ ИСКАЖЕНИЯМ СИГНАЛА В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ**

(31) **2019136312**

(32) **2019.11.12**

(33) **RU**

(43) **2022.09.02**

(86) **PCT/RU2019/000997**

(87) **WO 2021/096385 2021.05.20**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ ООО
"СМАРТС-КВАНТТЕЛЕКОМ" (RU)**

(56) A.V. GLEIM et al. "SECURE POLARIZATION-INDEPENDENT SUBCARRIER QUANTUM KEY DISTRIBUTION IN OPTICAL FIBER CHANNEL USING BB84 PROTOCOL WITH A STRONG REFERENCE", [online], 02.02.2016 [retrieved on 17.07.2020]. Retrieved from the Internet: <URL:http://HTTPS://WWW.OSAPUBLISHING.ORG/OE/ABSTRACT.CFM?URI=OE-24-3-2619>. abstract, paragraph 2, p.4, paragraph 3, p.5, fig L, p.6, paragraphs 1-3
**RU-C1-2622985
RU-C1-2671620**

(72) Изобретатель:
**Смирнов Семен Владимирович,
Чистяков Владимир Викторович,
Кынев Сергей Михайлович, Иванова
Алена Евгеньевна, Егоров Владимир
Ильич, Глейм Артур Викторович (RU)**

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(57) Изобретение относится к технике оптической связи, а именно к системам фотонной квантовой связи. Техническая задача заявляемого устройства заключается в уменьшении коэффициента квантовых ошибок за счет снижения потерь в блоке компенсации поляризационных искажений. Технический результат заявляемого устройства заключается в увеличении максимальной дальности передачи квантовых состояний. Технический результат достигается тем, что приемное устройство содержит блок электрооптической модуляции с компенсацией поляризационных искажений, который содержит волоконный поляризационный светоделитель, два электрооптических фазовых модулятора, подключенных к двум портам волоконного поляризационного светоделителя, и волоконный поляризационный соединитель, подключенный к двум электрооптическим фазовым модуляторам.

B1

045447

045447

B1

Настоящее изобретение относится к технике оптической связи, а именно к системам фотонной квантовой связи.

Известно устройство квантовой рассылки симметричных битовых последовательностей [Патент США 6272224 В1, дата приоритета 07.04.2001. МКИ: Н04L 9/08; Н04К 1/00], содержащее соединенные посредством волоконно-оптической линии связи передающее устройство, включающее расположенные последовательно по ходу распространения излучения источник монохроматического излучения, электрооптический фазовый модулятор и аттенуатор, а также устройство сдвига фазы, выход которого соединен с управляющим входом электрооптического фазового модулятора, а вход устройства сдвига фазы соединен с выходом генератора радиочастотного сигнала, и приемное устройство, включающее электрооптический фазовый модулятор, выход которого оптически сопряжен со спектральным фильтром, который оптически сопряжен с приемником классического излучения и детектором одиночных фотонов, управляющий вход электрооптического фазового модулятора соединен с выходом устройства сдвига фазы, к входу которого подключен выход генератора радиочастотного сигнала, волоконно-оптическая линия связи оптически сопряжена с аттенуатором передающего устройства и с входом электрооптического фазового модулятора приемного устройства, устройство содержит блок синхронизации, первый и второй выходы которого соединены с входами генератора радиочастотного сигнала приемного и передающего устройств соответственно, а также блок управления фазовым сдвигом, первый и второй выходы которого соединены с синхронизационными входами устройства сдвига фазы приемного и передающего устройств соответственно.

Стандартное оптическое волокно, используемое в волоконно-оптических линиях связи, обладает двулучепреломлением, которое носит случайный характер, в том числе зависит случайным образом от времени. Электрооптические фазовые модуляторы, используемые в волоконных линиях связи, в большом числе случаев чувствительны к поляризации излучения. Блок отправителя может однозначно ввести фазу в сигнал, непосредственно излучаемый его лазером. Однако при передаче этого сигнала по длинному волокну к блоку получателя состояние поляризации может непредсказуемо измениться. Кроме того, состояние поляризации может случайным образом зависеть от времени. Поскольку электрооптический фазовый модулятор в блоке получателя также чувствителен к состоянию поляризации проходящего через него излучения, результат модуляции сигнала с его стороны может случайно зависеть от времени. С учетом этих обстоятельств представленное устройство обладает следующими недостатками: высокий коэффициент квантовых ошибок, низкая скорость передачи секретного криптографического ключа и низкая степень защищенности секретного криптографического ключа.

Известно устройство квантовой рассылки криптографического ключа, в котором реализован блок компенсации поляризационных искажений [Патент RU 2454810 С1]. В приемном устройстве блок компенсации поляризационных искажений выполнен из двух расположенных по ходу излучения электрооптических фазовых модуляторов, управляющие входы которых соединены с первым и вторым выходом устройства сдвига фазы соответственно, причем выход первого электрооптического фазового модулятора оптически сопряжен с выходом второго электрооптического фазового модулятора, за модуляторами по ходу излучения установлено фарадеевское зеркало, оптически сопряженное с входом второго электрооптического фазового модулятора.

Представленное устройство также имеет недостатки. При двойном проходе излучения в блоке компенсации поляризационных искажений вносятся потери, что, в свою очередь, ведет к повышению коэффициента квантовых ошибок и к уменьшению дальности рассылки ключа.

Настоящее изобретение решает задачу понижения коэффициента квантовых ошибок, повышения скорости передачи секретного криптографического ключа и повышения степени защищенности секретного криптографического ключа посредством компенсации двулучепреломления волокна и поляризационной чувствительности модулятора в системе квантовой рассылки ключа на поднесущих частотах модулированного излучения.

Поставленная задача решается следующим образом. Новая техническая реализация блока приемника устройства фотонной квантовой связи позволяет снизить коэффициент квантовых ошибок за счет понижения потерь в блоке электрооптической модуляции с компенсацией поляризационных искажений. В состав приемного блока между электрооптическим фазовым модулятором и спектральным фильтром введены: волоконный поляризационный светоделитель, второй электрооптический фазовый модулятор и волоконный поляризационный соединитель. Устройство фотонной квантовой связи представлено на фигуре, 1 - лазер, 2 - волоконный оптический изолятор, 3, 6, 7 - электрооптический фазовый модулятор, 4 - волоконный оптический аттенуатор, 5 - радиоэлектронный блок управления и синхронизации блока отправителя, квантовый канал - квантовый канал связи, 8 - волоконный поляризационный светоделитель, 9 - волоконный поляризационный соединитель, 10 - спектральный фильтр, 11 - детектор одиночных фотонов, 12 - радиоэлектронный блок управления и синхронизации блока получателя, 13 - квантовый канал для передачи одиночных фотонов, 14 - канал для передачи классического сигнала синхронизации от радиоэлектронного блока передатчика к радиоэлектронному блоку приемника, 15 - открытый канал связи для классической коммуникации между радиоэлектронными блоками приемника и передатчика.

В блок электрооптической модуляции с компенсацией поляризационных искажений в приемном

устройстве установлен волоконный поляризационный светоделитель, порты которого сопряжены с двумя расположенными по ходу излучения электрооптическими фазовыми модуляторами, после чего промодулированное излучение соединяется посредством волоконного поляризационного соединителя.

Необходимо отметить, что в настоящем раскрытии блок отправителя может быть назван передающим устройством, а блок приемника может быть также назван приемником, приемным устройством или блоком получателя.

Принцип работы устройства: монохроматическое излучение с несущей частотой, генерируемое источником монохроматического излучения, пройдя через волоконный оптический изолятор, поступает в электрооптический фазовый модулятор, где создается световое поле на поднесущих частотах с произвольно заданной фазовой отстройкой относительно фазы несущей частоты. Фазовая отстройка задается в радиоэлектронном блоке управления и синхронизации из набора четырех базисных состояний (например 0, 90, 180, 270°) в двух ортогональных базисах. Величина фазовой отстройки содержит информацию, передаваемую от передатчика к приемнику с помощью однофотонных состояний. Далее излучение попадает в аттенуатор, где оно ослабляется до уровня, заданного протоколом (например, 0,2 фотона на такт фазовой модуляции суммарно на боковых частотах). Пройдя через квантовый канал, излучение поступает в блок получателя и попадает в блок электрооптической модуляции с компенсацией поляризационных искажений. основополагающим принципом данного блока электрооптической модуляции с компенсацией поляризационных искажений является разделение сигнала, пришедшего из линии связи, на две ортогональные компоненты поляризации для последующей модуляции непосредственно каждой поляризационной моды. Это достигается за счет использования волоконного поляризационного светоделителя с коэффициентом деления 50/50. Использование в данном устройстве специальных волокон, сохраняющих поляризацию, снижает риск изменения поляризации разделенных сигналов. Соединение поляризационного светоделителя и электрооптических фазовых модуляторов выполняется таким образом, что оси поляризации излучения, выходящего из поляризационного светоделителя, совпадают с осями кристаллов электрооптических фазовых модуляторов. После повторной модуляции происходит интерференция двух состояний фотона на поднесущих частотах, созданных в отправителе и приемнике.

Далее излучение собирается волоконным поляризационным соединителем в одно волокно и попадает в спектральный фильтр, где оно очищается от остальных спектральных составляющих. После спектральной очистки результат интерференции на поднесущих частотах, пройдя через спектральный фильтр, регистрируется с помощью детектора одиночных фотонов и обрабатывается в радиоэлектронном блоке управления и синхронизации блока получателя. Далее, в соответствии с протоколом, на основе собранных данных радиоэлектронные блоки отправителя и получателя, используя открытый канал, производят процедуру формирования симметричных битовых последовательностей, которая включает этап просеивания по базисам, при котором отбрасываются срабатывания детектора, произошедшие при фазовой модуляции в разных базисах, формирование сырой битовой последовательности на основании номеров базисов во временных интервалах, когда произошла конструктивная интерференция, расчет коэффициента ошибок и процедуру очистки от ошибок и усиления секретности. Также радиоэлектронные блоки управления и синхронизации обеспечивают синхронную работу блоков отправителя и получателя через оптический канал синхронизации.

Техническая задача заявляемого устройства заключается в уменьшении коэффициента квантовых ошибок за счет снижения потерь в блоке электрооптической модуляции с компенсацией поляризационных искажений. Технический результат заявляемого устройства заключается в увеличении максимальной дальности передачи квантовых состояний. Технический результат достигается тем, что в состав приемника введен волоконный поляризационный светоделитель, второй электрооптический фазовый модулятор (если сравнивать с известными устройствами) и волоконный поляризационный соединитель, т.е. достигается тем, что приемное устройство содержит блок электрооптической модуляции с компенсацией поляризационных искажений, который содержит волоконный поляризационный светоделитель, два электрооптических фазовых модулятора, подключенные к двум портам волоконного поляризационного светоделителя, и волоконный поляризационный соединитель, подключенный к двум электрооптическим фазовым модуляторам.

Настоящее изобретение не ограничено конкретными вариантами, раскрытыми в описании в иллюстративных целях, и охватывает все возможные модификации и альтернативы, входящие в объем настоящего изобретения, определенным формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для передачи квантовых состояний с блоком компенсации поляризационных искажений, содержащее

передающее устройство, которое содержит источник монохроматического излучения, волоконный оптический изолятор, подключенный к источнику монохроматического излучения, электрооптический фазовый модулятор, подключенный к волоконному оптическому изолятору, оптический аттенуатор, подключенный к электрооптическому фазовому модулятору, и радиоэлектронный блок управления и

синхронизации, подключенный к электрооптическому фазовому модулятору, причем указанный радиоэлектронный блок управления и синхронизации выполнен с возможностью задавать фазовую отстройку из набора четырех базисных состояний в двух ортогональных базисах, и

приемное устройство, которое содержит спектральный фильтр, подключенный к блоку электрооптической модуляции с компенсацией поляризационных искажений, детектор одиночных фотонов, подключенный к спектральному фильтру,

причем приемное устройство соединено с передающим устройством посредством квантового канала, канала синхронизации и открытого канала,

причем указанный блок электрооптической модуляции с компенсацией поляризационных искажений содержит волоконный поляризационный светоделитель, два электрооптических фазовых модулятора, подключенных к двум портам волоконного поляризационного светоделителя, и волоконный поляризационный соединитель, подключенный к двум электрооптическим фазовым модуляторам.

2. Устройство по п.1, в котором оптический attenuатор выполнен с возможностью ослабления излучения на 0,2 фотона на такт фазовой модуляции суммарно на боковых частотах.

3. Устройство по п.1, в котором волоконный поляризационный светоделитель блока электрооптической модуляции с компенсацией поляризационных искажений имеет коэффициент деления 50/50 для разделения сигнала, пришедшего из линии связи, на две ортогональные компоненты поляризации.

Блок-схема устройства для передачи квантовых состояний с компенсацией поляризационных искажений

