

УДК 535.8

**Исследование методов когерентного приема для системы квантовой коммуникации на боковых частотах**

**Фадеев М.А.** (Университет ИТМО), (Университет ИТМО)

**Консультант – Самсонов Э.О.**

(Университет ИТМО)

**Аннотация** Существующие протоколы квантового распределения ключей предполагают использование детекторов одиночных фотонов на основе лавинных фотодиодов или сверхпроводникового нанопровода. В качестве альтернативы предлагается использовать когерентный прием для обнаружения слабых когерентных полей.

**Введение.** С развитием вычислительной техники возникла потребность в новых способах обмена ключами для шифрования. Для этого был разработан метод квантового распределения ключа. Для этого метода были разработаны несколько протоколов с дискретной модуляцией, такие как: BB84, B92, BB84M, BB84 SCW и др. Все эти протоколы используют детекторы одиночных фотонов, которые накладывают ограничение на внедрение КРК в существующие системы. В качестве альтернативы предлагается использование когерентного приема на основе балансного детектора. К его плюсам относятся: возможность детектирования слабых полей, относительная простота реализации, компактность.

**Основная часть.** В данной работе рассматривается применение когерентного приема к существующему протоколу BB84 на поднесущих частотах. К преимуществам данного протокола относятся:

- Возможность простой интеграции в существующую телекоммуникационную инфраструктуру
- Высокая устойчивость к внешним воздействиям
- Высокая спектральная эффективность

Данный протокол использует фазовую модуляцию для переноса части энергии с несущей частоты на боковые. Полученное когерентное состояние ослабляется и передается по оптоволокну. На приемной стороне происходит вторая фазовая модуляция на той же частоте, что и на передающей. В результате происходит интерференция на боковых частотах в зависимости от разности фаз между модулирующими сигналами на передающей и приемной сторонах. После этого с помощью спектрального фильтра вырезают центральную частоту, т.к. она не несет в себе информацию, детектируется результат интерференции на боковых с помощью детектора одиночных фотонов. Но существует альтернативный способ детектировать результат интерференции – когерентный прием. Существует несколько способов осуществления такого приема:

- - гомодинное детектирование
- - гетеродинное детектирование
- - 90-градусный оптический гибрид

Суть гомодинного приема заключается в следующем. Слабое когерентное состояние, посланное блоком передатчика, подвергается второй модуляции на той же частоте в приемном блоке, при чем индекс модуляции на приемной стороне больше, чем на передающей. Фаза модулирующего сигнала выбирается случайным образом. В зависимости от разности фаз сигналов блоков приемника и передатчика, будет наблюдаться явление интерференции: конструктивной в случае разности фаз равной нулю, и деструктивной в случае разности фаз равной  $\pi/2$ . После этого с помощью циркулятора и спектрального фильтра боковые частоты отделяются от несущей и подаются на балансный детектор, который состоит из двух фотодиодов, схемы вычитания для уменьшения уровня

шумов и схемы усиления. Результатом детектирования является уровень напряжения: положительный или отрицательный в зависимости от разности фаз.

Метод гетеродинного приема подразумевает собой прием слабого когерентного состояния, при котором на приемной стороне происходит фильтрация входного сигнала с помощью спектрального фильтра и циркулятора таким образом, что разделяются центральная и только одна боковая частота. После этого эти сигналы попадают на 2x2 светоделитель с коэффициентом деления 50:50, выходные порты которого соединены с фотодиодами балансного детектора. На них происходит нелинейное смешение, в результате которого в выходном токе диодов появляется составляющая на разностной частоте, которая так же зависит от разности фаз между несущей частотой и боковой.

Использование 90-градусного оптического гибрида схоже с гомодинным методом детектирования, но позволяет одновременно измерять оба базиса, в которых происходит выбор фаз на передающей стороне. Для этого входной сигнал делится светоделителем 1x2 с коэффициентом деления 50:50. После этого каждая из составляющих подвергается второй модуляции, но в разных базисах  $\{0, \pi\}$  и  $\{\pi/2, 3\pi/2\}$ . В зависимости от выбранного базиса на передающей стороне, на приемной стороне только в одном из плеч детектора будет наблюдаться конструктивная или деструктивная интерференция и результат детектирования – положительный или отрицательный уровень напряжения, когда в другом же будет наблюдаться уровень сигнала, сравнимый с уровнем шумов.

**Выводы.** Полученные результаты позволят внедрить метод квантовой криптографии в области, которым необходимы малые размеры комплектующих, например, интернет вещей или беспилотные автомобили.

Фадеев М.А. (автор)

Подпись

Сидорова Е.И. (научный руководитель)

Подпись