

УДК 535.016

ГЕНЕРАЦИЯ ЧАСТОТНЫХ ГАРМОНИК ДЛЯ СИСТЕМ КРК НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ

Герасименко В.С. (Университет ИТМО), Герасименко Н.Д. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.ф.-м.н., г.н.с. Петров В.М.
(Университет ИТМО)

Аннотация. В данной работе приводятся результаты исследований влияния пассивной (без дополнительного усиления) обратной связи на количество боковых выходных компонент фазового СВЧ интегрально-оптического модулятора. Обсуждаются возможности использования эффекта в системах квантовых коммуникаций для увеличения скорости передачи квантового ключа.

Введение. Для систем квантовой связи, в том числе основанных на принципе квантовой рассылки ключа (КРК) на боковых частотах необходимы фазовые и амплитудные модуляторы. Амплитудный модулятор обеспечивает ввод передаваемой информации, а фазовый требуется для ее передачи (обычно для передачи используется пара боковых частот $F \pm f$, возникающая при фазовой модуляции на частоте несущей F).

Для практического применения важным фактором является скорость передачи ключа, которую можно увеличить, увеличив количество используемых боковых частот. Проще всего это сделать, создав петлю обратной связи для многократной модуляции.

Сама идея использовать обратную связь в комбинации с СВЧ-модулятором отнюдь не нова и подобные эксперименты проводятся уже более двадцати пяти лет. Зачастую схема эксперимента состоит из X-светоделителя, у которого один вход и выход используются для создания петли обратной связи, второй вход требуется для ввода излучения, а второй выход – для вывода излучения на фотодиод или анализатор спектра (иногда с использованием еще одного делителя – на оба этих устройства). Также предполагается использование усилителя для компенсации потерь.

Другой тип схем для подобных экспериментов – с помещением модулятора между Брэгговскими зеркалами, в результате чего и возникает обратная связь. Часто такие схемы также предполагают использование усилителя.

Существуют также эксперименты по генерации частотных гребенок, не использующие обратную связь: например, каскады модуляторов – амплитудный при подборе управляющего напряжения позволяет выравнивать высоту гребенки, а фазовые требуются для увеличения числа боковых частот; или технология получения пленочных волноводов на ниобате лития, позволяющая создавать кольцевые резонаторы крайне высокой добротности, которые могут генерировать гребенки за счет самовоздействия света.

Наиболее хорошо исследованы схемы генерации гребенки, содержащие усилители, однако они неприменимы для систем квантовой связи в силу теоремы о невозможности клонирования фотона. Также использование усилителя приводит к увеличению шумов на собственных частотах резонатора.

Таким образом, разработка схемы генерации оптических частотных гребенок без использования усилителя является крайне актуальной для систем квантовой связи, в том числе КРК на боковых частотах, чему и посвящена данная работа.

Основная часть. Нами была разработана следующая схема: излучение от лазера (длина волны 1550 нм, ширина спектральной линии <1 МГц, выходная мощность 2 мВт) проходило через фазовый модулятор собственного производства, после через делитель, с одного выхода которого поступало на спектроанализатор, а второй выход подключался ко входу модулятора и образовывал петлю оптической обратной связи в виде отрезка волокна длиной $L=8,43$ м.

Примерно посередине петли был помещен стандартный оптический разъём, позволяющий «включать» и «выключать» обратную связь.

В эксперименте использовались Y-ветвители с коэффициентом деления 1:9 или 1:3, характерные зависимости сохранялись, однако количественные характеристики для делителя 1:9 были значительно лучше.

Было проведено исследование влияния частоты модуляции и входной мощности модуляции на вид гребенки. Анализ результатов эксперимента показал, что зависимость количества побочных максимумов от частоты модуляции имеет периодический характер, а зависимость их количества от мощности модуляции близка к квадратичной. Максимальное число боковых частот возникало на частоте модуляции 1,725 ГГц и мощности модуляции 25 дБм и составляло 40 шт (т.е. по 20 в каждую сторону от несущей).

Выводы. Таким образом, наличие большого количества боковых частот и отсутствие усилителя позволяет эффективно использовать данную схему для систем квантовых коммуникаций. Также особенности схемы позволяют избежать спектральных провалов в гребенке и снизить уровень шумов по сравнению со схемами с использованием усилителя. Также к достоинствам данной схемы можно отнести простоту и технологичность, в том числе возможность снизить требования (и стоимость) к другим элементам схемы – например, к СВЧ-генератору при работе на более высоких гармониках.

Герасименко Н.Д. (автор)

Петров В.М. (научный руководитель)