

Учреждение образования Белорусский
государственный университет информатики и
радиоэлектроники

УДК 621.373.124:535.36

Латушкин
Константин Юрьевич

Гетеродинный прием оптических сигналов с использованием рассеяния
Мандельштама-Бриллюэна

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-45 80 01 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

Научный руководитель
Урядов В.Н.
кандидат технических наук, доцент

Минск 2020

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) благодаря ряду ценных свойств, таких как широкая полоса пропускания, высокая помехозащищенность, высокая скорость передачи, малое затухание светового сигнала в оптическом волокне, скрытность передаваемой информации, длительный срок службы, экономичность волоконно-оптических кабелей и т.д. нашли и находят широкое применение в телефонии, кабельном телевидении, в бортовой связи летательных аппаратов, самолетов, морских судов, в локальных сетях и управлении технологическими процессами и превратились в один из наиболее конкурентоспособных и перспективных видов техники связи.

Одним из важнейших и неотъемлемых элементов волоконно-оптических систем передачи, в том числе, ВОСП нового поколения с волновым разделением каналов по длине волны являются оптические усилители, обеспечивающие передачу информации на дальние расстояния, исчисляемые сотнями километров.

В связи с этим исследование особенностей функционирования характеристик и параметров, а также вопросов целенаправленного и эффективного применения оптических усилителей приобретает актуальное значение.

Ранее считалось, что нелинейные оптические эффекты могут ограничить практическую эффективность одномодовых волоконно-оптических систем. При определенных условиях вынужденно Бриллюэновское рассеяние (ВБР) показывает самый низкий порог возбуждения. ВБР проявляется как обратная рассеянная волна со смещением частоты ~ 11 ГГц от лазерного источника (сдвиг Бриллюэна-Стокса) и ширины линии на 15-25 МГц.

Волоконно-оптические системы постоянно совершенствуются, их развитие направлено на увеличение количества передаваемых каналов и увеличения энергетического потенциала системы. Увеличение энергетического потенциала возможно благодаря использованию эрбиевых усилителей или нелинейных эффектов, возникающих в оптическом волокне.

Вместе с тем к современным приемным оптическим модулям предъявляются самые высокие требования в плане чувствительности и избирательности. Когерентные системы приема обладают достаточно высокими значениями данных параметров, однако, технически крайне сложны, в связи с тем, что требуют использования местных лазеров и систем контроля для них, а также поляризационных контроллеров. Данные факторы приводят к тому, что когерентные приемные устройства используются очень ограничено и, чаще всего, не выходят за пределы экспериментальных моделей.

Одним из методов построения когерентных приемников заключается в использовании усилителей Бриллюэна для трансформации спектра. Который достоин самого пристального внимания.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена по теме «Гетеродинный прием оптических сигналов с использованием рассеяния Манделъштама-Бриллюэна».

Актуальность данной работы связана с повсеместным внедрением ВОСП с спектральным разделением каналов, а также с все повышающимися требованиями к данному виду систем, которые приемами прямого фотодетектирования достигнуть невозможно или же экономически нецелесообразно.

Целью данной работы является построение математической модели гетеродинного приема оптических сигналов методом трансформации спектра, а также оценка эффективности предложенной модели применительно к системам со спектральным разделением каналов.

Для достижения цели работы поставлены и решены следующие задачи:

1 Провести сравнительный анализ существующих методов детектирования оптических сигналов.

2 Изучить физические основы эффекта вынужденного рассеяния Манделъштама-Бриллюэна и построить математическую модель усилителя Бриллюэна.

3 Провести подробный анализ гетеродинного приема оптических сигналов методом трансформацией спектра и оценку его эффективности.

4 Провести расчет влияния перекрестных помех, возникающих вследствие нелинейных эффектов, в системе DWDM с гетеродинным приемом методом трансформации спектра.

Объектом исследования являются когерентные системы приема оптических сигналов.

Предметом исследования является гетеродинный приемник оптических сигналов по схеме с трансформацией спектра.

Научная и практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что полученные в ходе исследования результаты позволяют упростить построение оптических мультиплексоров ввода-вывода в связи с избавлением от процедуры интерливинга, что позволяет говорить об уменьшении себестоимости таких мультиплексоров.

Результаты магистерской работы представлялись на 55-й и 56-й научных конференциях аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР.

Магистерская работа проверена на плагиат, процент уникальности работы соответствует норме, установленной кафедрой ИКТ.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** дается краткая характеристика работы, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы ее цель, практическая значимость, научная новизна и основные этапы исследований.

В **1-ом разделе** диссертационной работы проведен обзор существующих методов приема оптических сигналов. Приведены структурные схемы и оценки параметров эффективности для каждого вида приемников. Для систем с когерентным приемом приведены модели для случая квадратурной фазовой модуляции, определены преимущества и недостатки каждого метода:

1. Метод прямого детектирования обладает самой простой реализацией, однако параметры данного типа приемных устройств значительно хуже, нежели у остальных представленных методов.

2. Метод детектирования на поднесущей в чистом виде в системах ВОСП практически не используется в связи с крайне небольшим выигрышем, относительно метода прямого фотодетектирования.

3. Гомодинный метод приема позволяет достичь квантового предела эффективности приема, однако сложность реализации не позволяет использовать данный метод приема повсеместно.

4. Гетеродинный метод приема значительно превосходит по чувствительности метод прямого фотодетектирования, но на 3 дБ проигрывает гомодинному методу. Вместе с тем, гетеродинные приемники значительно проще в реализации нежели гомодинные.

На основании данных результатов сделан вывод о перспективности именно гетеродинного метода приема.

Подробно рассмотрен вопрос рассеяния Манделъштама-Бриллюэна и его частного случая, вынужденного рассеяния Манделъштама-Бриллюэна. Приведено подробное описание данного процесса на физическом уровне, а также представлены некоторые расчеты касательно эффекта вынужденного рассеяния Манделъштама-Бриллюэна. На основе анализа данного вопроса сделан вывод, что данный нелинейный эффект в оптическом волокне при определенных условиях может быть использован для улучшения характеристик системы.

Дан краткий обзор систем DWDM, а также нелинейных эффектов свойственных такому типу систем. Сделан вывод, что наибольшую помеху вносит эффект четырехволнового смешения. Дано описание процедуры интерливинга, которая является основным методом борьбы с данным нелинейным эффектом.

Во **2-ом разделе** приведена математическая модель усилителя Бриллюэна, в частности эффект преобладания дробовых шумов в данном типе усилителей, в связи с их высоким коэффициентом усиления. Был рассмотрен вопрос трансформации сигнала в системах с усилителями Бриллюэна и обоснована узкополосность данного вида усилителей (100 МГц).

Рассмотрен метод трансформации спектра в гомодинном приемном устройстве, приведена структурная схема, а также дана краткая оценка эффективности данного метода приема. Результаты показывают, что выигрыш по чувствительности для данного метода имеет значение порядка 5 дБ при скоростях передачи порядка 1 Гбит/с и возрастает с дальнейшим увеличением скорости передачи.

Подробно рассмотрен метод трансформации спектра для гетеродинного приема оптических сигналов. Суть данного метода заключается во внесении в спектр информационного сигнала дополнительного однотонового служебного сигнала. В результате модуляции в спектре мы получаем дополнительные составляющие с частотами $f_c \pm f_o$. В волокне со стороны приема при помощи усилителя Бриллюэна происходит избирательное усиление составляющей с частотой $f_c + f_o$. Далее сформированный оптический сигнал подается на вход фотодетектора. Данный приемный оптический модуль функционирует по принципу гетеродинного приемника, а в качестве сигнала местного гетеродина выступает усиленная составляющая $f_c + f_o$. На выходе фотодетектора получен информационный сигнал на промежуточной частоте.

Подробно рассмотрен вопрос распределения комбинационных частот второго и третьего порядков, на примере 32-х канальной системы WDM-PON. Дано обоснование возможности избавления от процедуры интерливинга за счет высокой избирательности приемника. На основании этого предложен вариант построения мультиплексора ввода-вывода с использованием матрицы коммутации несущих и отказом от оптических предусилителей.

В **3-ем разделе** была проведена оценка перекрестных помех, одним из источников которых является механизм четырехволнового смешения. На основании данной оценки была построена зависимость вероятности ошибки от отношения помеха-сигнал, а также зависимость вероятности ошибки от количества мультиплексоров ввода-вывода. Результаты показывают соответствие рассчитанных значений стандарту МСЭ-Т G.957. Из чего сделан вывод о возможности качественной передачи сигналов по любым оптическим сетям.

Подробно проведена оценка эффективности гетеродинного приема. Построены математические зависимости тепловых и дробовых шумов приемника от коэффициента усиления из которых становится очевидно преобладание дробовых шумов в данном приемнике. Проведена оценка ОСШ для различных значений коэффициента усиления. Сделан вывод, что отношение сигнал/шум приемного оптического приемного модуля линейного возрастает с ростом коэффициента усиления, что обусловлено уменьшением влияния теплового шума. Выше значения коэффициента усиления 35 дБ, ОСШ остается постоянным. Расчеты проводились с учетом различных значений показателя распределения амплитуд между составляющими спектра M . Рисунок 1: линия 1 – $M=0.25$, линия 2 – $M=0.5$.

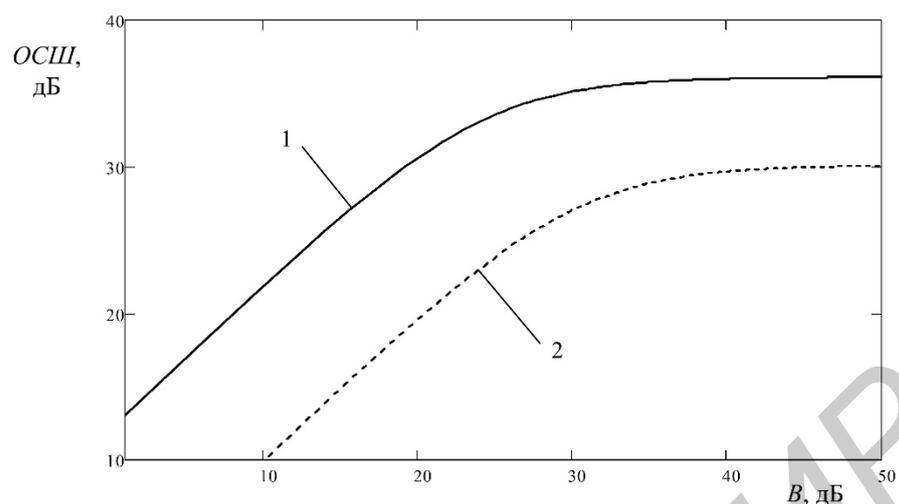


Рисунок 1 – Зависимость ОСШ от коэффициента усиления

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной магистерской работе была доказана эффективность гетеродинного метода приема оптических сигналов с использованием рассеяния Мандельштама-Бриллюэна.

По результатам построения математических моделей и проведенных расчетов можно сделать следующие важные выводы:

1. Метод трансформации спектра сигнала позволяет отказаться от использования контроллеров частоты для поддержания постоянной разности частот на приеме.

2. Совмещение поляризации гетеродинируемых оптических полей не требуется, что позволяет отказаться от поляризационных контроллеров.

3. Возможно использование данного метода в сетях со скоростями выше 10 Гбит/с, так как излучение лазера накачки усилителя Бриллюэна не попадает в полосу полезного сигнала.

4. Расчет показателей эффективности данного вида когерентных приемников показывает значения близкие к стандартным гетеродинным, но со значительно более простой реализацией.

5. Предложен вариант упрощения структуры мультиплексоров ввода-вывода за счет высокого показателя избирательности гетеродинного приемника.

Список опубликованных работ

1. Latushkin K. Y. Method of heterodyne detection of optical signals based on Brillouin scattering // 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР "Сборник тезисов докладов " - 2019 - С. 634;

2. Латушкин К.Ю. Процедура интерливинга в системах DWDM с когерентным приемом сигналов // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР "Сборник тезисов докладов " - 2020 - С. 140-141.

Библиотека БГУИР