

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

Белорусский государственный университет

информатики и радиоэлектроники

УДК _____

Корениха Станислав Михайлович

Усилители Манделъштама–Бриллюэнав когерентных ВОСП

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-45 80 01 «Системы, сети и устройства
телекоммуникаций»

Научный руководитель

Урядов Владимир Николаевич

к.т.н., доцент кафедры СТК

Минск 2015

ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

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 конкурентно-способный и перспективный вид техники связи.

Одним из важнейших и неотъемлемым элементом 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 километрами.

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 вынужденное Бриллюэновское рассеивание (ВБР) показывает самый низкий порог, а высокие значения ВБР наблюдаются при увеличении напряжения. ВБР проявляется как обратная рассеянная волна со смещением частоты обычно на 11.2 ГГц от лазерного источника (сдвиг Бриллюэна-Стокса) и ширины линии на 15-25 МГц с длиной волны 1.5 мкм.

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, возникающим в оптическом волокне.

Целью данной диссертационной работы является исследование возможности применения усиления на основе ВРМБ в когерентных системах при реализации гомодинного метода приема. Для реализации этой цели необходимо решить следующие задачи:

а) необходимо чтобы, поляризация местного гетеродина совпадала с поляризацией сигнальной составляющей (при реализации когерентного метода приема);

б) при этом, необходимо чтобы частота местного гетеродина (при гомодинном методе) была синхронизирована с частотой сигнальной составляющей;

в) необходимо добиться синфазности волна местного гетеродина и сигнальной составляющей.

А так же, провести оценку использования усилителей Мандельштама-Бриллюэна.

БАЗОВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, даётся краткая характеристика её разработанности, определяются объект и предмет исследования, цель и задачи, указана теоретико-методологическая основа, отмечены элементы научной новизны, формулируются основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Первый раздел «когерентные волоконно оптические системы, проблемы их реализации» носит теоретический характер и состоит из двух подразделов.

В подразделе 1.1. приведены исходные положения, дано определение когерентному сигналу и когерентных ВОСП. В следующем пункте приведена обобщённая структурная схема когерентной волоконно-оптической системы, описано назначение всех блоков. В системе, в качестве источника излучения используется одномодовый лазер с распределенной обратной связью (DFB). Для корректной работы источника излучения служат устройство стабилизации мощности и устройство стабилизации температуры, они обеспечивают постоянную мощность [2]. При повышении температуры энергетическая характеристика лазерного диода смещается. Для обеспечения стабильности работы излучателя, в схему лазерного излучателя необходимо ввести систему термостабилизации, цель которой, обеспечивать стабилизацию рабочей длины волны излучателя при отклонениях температуры.

В подразделе 1.3. «Приемные устройства когерентных ВОСП» рассматриваются гетеродинные и гомодинные приемные устройства, приведены структурные схемы и принципы их работы. Так, в оптическом

приемнике с гетеродинированием входное лазерное излучение комбинируется на фоточувствительной поверхности с опорным излучением местного генератора. При оптическом смещении входного сигнала и колебания местного генератора выделяется колебание промежуточной или разностной частоты. Сигнал промежуточной частоты сохраняет модуляцию входного лазерного сигнала. После прохождения через полосовой фильтр электрический сигнал поступает на второй детектор, где и выделяется полезная информация. Значение разностной частоты поддерживается постоянным на входе второго детектора путем управления частотой местного генератора. Контроль частоты местного генератора необходим для компенсации уходов и нестабильности частоты входного лазерного сигнала, кроме того, управление частотой необходимо для компенсации доплеровских сдвигов в случае космической связи. А в оптическом гомодинном приемнике частота и фаза колебания местного гетеродина совпадает с частотой и фазой входного излучения, т. е. получается полная синхронизация двух колебаний.

Как и для гетеродинного приема, оптическое смещение осуществляется на поверхности фотодетектора. Выходной сигнал фотодетектора содержит информационный сигнал. Управляющее устройство местного гетеродина управляется выходным сигналом приемника и поддерживает фазу генератора в синхронизме с фазой несущей.

В подразделе 1.4 «Проблемы реализации когерентных волоконно-оптических систем» раскрыты проблемы с которыми сталкиваются при построении ВОСП.

Второй раздел «Нелинейные искажения в волоконно-оптических кабелях», рассматривают искажения в ВОСП.

Нелинейные эффекты в оптическом волокне (ОВ) изучались задолго до использования ВОЛС в СКТ. Тем не менее, серьезное внимание им начали уделять с того момента, когда стали увеличиваться информационные скорости в ОВ, протяженности ВОЛС, число длин волн, передаваемых по одному волокну, а также уровни оптической мощности. Если на ранней стадии развития ВОЛС единственными проблемами являлись погонные оптические потери и волоконно-оптическая дисперсия, то сейчас на первое место стали выходить проблемы, связанные с нелинейными эффектами, особенно остро проявляющиеся в системах DWDM при передаче высокоскоростной цифровой информации. Интересно отметить, что впервые серьезное внимание на нелинейности в ВОК обратили при подводной прокладке международного трансатлантического ВОК, предназначенного для передачи высокоскоростной цифровой информации.

В пункте 2.2, приводятся конкретные причины возникновения искажений. Наибольшую лепту в искажения вносит изменение рефракционного индекса преломления материала ОВ в зависимости от оптической мощности P_0 пропускаемого сигнала:

$$n = n_0 + n_N * P_0 / A_{эфф} \quad (1)$$

где: n_0 – индекс рефракции (показатель преломления) ядра (сердцевины) ОВ при низких уровнях оптической мощности (для кварца $n_0 = 1,47$);

n_N – коэффициент нелинейности рефракционного индекса. Величина может лежать в пределах $2,2 \dots 3,6 \times 10^{-20} \text{ м}^2/\text{Вт}$. ($n_N = 2,35 \times 10^{-20} \text{ м}^2/\text{Вт}$ для кварца, обычно используемого в ОВ);

P_0 – оптическая мощность в Вт;

$A_{эфф}$ – эффективная площадь ядра ОВ м^2 .

Нелинейные эффекты, возникающие в ОВ, представляют собой фундаментальные ограничения по объему информации, который может быть передан по отдельному ОВ в единицу времени.

Далее в сравнение рассматривается вынужденное рассеивание Бриллюэна и Романа. SRS по своему характеру проявления близко к SBS, но вызывается другими физическими явлениями. SRS является частотно зависимым и проявляется более выражено на более коротких волнах. Если при SBS спектр стимулированного излучения узкий (не более 60 МГц) и смещен в длинноволновую сторону на 10...11 ГГц, то при SRS спектр стимулированного излучения широкий (~7 ТГц) смещен в длинноволновую сторону на величину порядка 10...13 ТГц. При схожести SBS и SRS можно выделить несколько существенных отличий:

а) SBS проявляется в форме встречной волны. (рассеяние происходит только назад, по направлению к источнику сигнала). SRS же наблюдается как для встречных волн (Стоксово излучение с уровнем порядка -50...-60 dB относительно интенсивности исходного излучения), так и для сонаправленных волн (антистоксово излучение с уровнем порядка -70...-80 dB относительно основной волны). Стоксовая и антистоксовая волны располагаются частотно симметрично относительно основной передаваемой частоты излучения;

б) при SRS спектр стимулированного излучения смещен относительно сильнее (разница примерно на три порядка), и ширина его намного больше (также примерно на три порядка), чем при SBS;

в) Пороговая мощность SRS намного больше (примерно на три порядка), чем SBS. Формула для расчета минимального значения пороговой мощности SRS PSRS по аналогии записывается в виде:

$$P_{SRS} \approx \frac{16K_{SRS}A_{эфф}}{g_R L_{эфф}} \quad (2)$$

где: K_{SRS} – числовое значение, зависящее как от поляризационного состояния волны, так и еще от ряда факторов. Минимальное значение составляет 1. Типовое значение для большинства практических приложений $K_{SRS} = 2$.

В третьей главе «Волоконно - оптические системы с использованием усиления Манделъштама -Бриллюэна» излагаются основные нюансы работы усилителя. Рассматриваются две схемы внедрения усилителя Манделъштама-Бриллюэна:

- а) с дискретной схемой усиления;
- б) с распределенным бриллюэновским оптическим усилением.

Приведена оценка эффективности систем с дискретным усилением.

На рисунке 1 приведена кривая зависимости отношения несущая/шум от входного уровня $P_{вх.опт}$ типового оптического приемника цифровой ВОСП при параметрах $m = 1$, $RIN = -150$ дБ/Гц, $\Pi = 1250$ МГц, эквивалентный шумовой тепловой ток усилителя $I_n = 10$ пА/Гц. Изменение входного уровня сигнала взято в пределах от -40 дБм до 0 дБм.

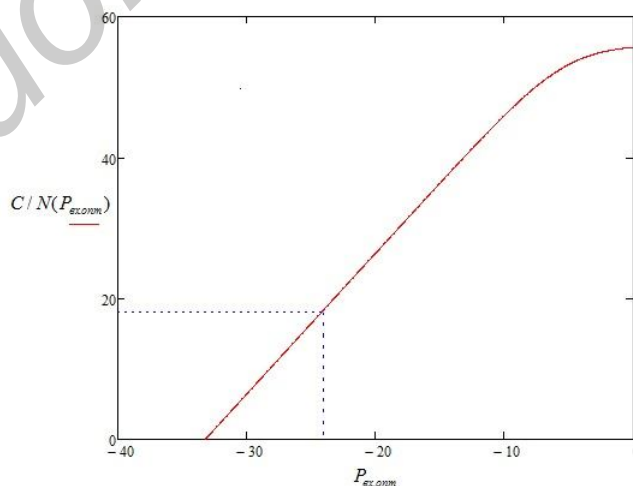


Рисунок 1 – График зависимости отношения несущая/шум от входного уровня оптического сигнала $p_{вх.опт}$

Как видно из рисунка 1 увеличение уровня входного сигнала приводит к увеличению отношения несущая/шум.

Для вероятности ошибки $P_{\text{ош}} = 10^{-10}$ необходимо соотношение сигнал/шум 18 дБ. Таким образом, чувствительность оптического приемника составляет минус 23 дБм. Такая чувствительность характерна для приемника прямого детектирования. Выполняя ряд преобразований и при достаточной мощности гетеродина мощность дробовых шумов будет определяться только шумом гетеродина поэтому отношение сигнал/шум на выходе гомодинного приемника определяется выражением :

$$\frac{S}{N} = \frac{2 \cdot \eta \cdot P_c}{h \cdot f_c \cdot B_o} \quad (3)$$

где B_o – полоса пропускания выходного фильтра, Гц.

Выполнив аналогичные преобразования для системы с распределенным усилением и выбрав коэффициент усиления достаточно большим, можно пренебречь остальными шумами и останется только дробовые шумы связанные с несущей сигнала. Соотношение сигнал/шум будет выглядеть:

$$\frac{C}{\text{Ш}} = \frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{\eta q}{h\nu} m\right)^2 P_c^2 \frac{K^2}{4}}{2q \left[\frac{\eta q}{h\nu} P_c \frac{K^2}{4}\right] B} \quad (4)$$

где S – мощность сигнала, N – мощность дробовых шумов;

упростив получим:

$$\frac{C}{\text{Ш}} = \frac{S}{N} = \frac{\eta P_c m^2}{2h\nu B} \quad (5)$$

Таким образом, выражение для расчета эффективности получилось похожее на выражение для эффективности для дискретного усиления. По сравнению с дискретным усилением эффективность снизилась на 3 дБ, но значительно упрощается реализация когерентной ВОСП, так как нет подстройки поляризации.

В данной реализации критическое значение узкой полосы сигнала в процессе оптического усиления достигается в волокне передачи за счет использования обратной волны ВБР.

Увеличение пропускной способности происходит на частоте от 15 до 25 МГц кварцевого волокна в диапазоне от 1.3 до 1.6 мкм длины волны, и, таким образом, можно усилить несущую компоненту сигнала. Чтобы получить бриллюэновское усиление, необходимо иметь лазерный генератор в приемнике,

в качестве источника питания, для перенаправления энергии обратно к передатчику. Значительную выгоду в несколько милливатт можно получить, используя большие длины волокна (≥ 10 км) на длине волны 1.5 мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Базируясь на проведенных в диссертационной работе теоретических исследованиях, касающихся использования эффекта Мандельштама — Бриллюэна для усиления оптического сигнала в ВОСП можно сделать следующие выводы:

1. Применения дискретного усилителя Мандельштама — Бриллюэна позволяет получить выигрыш от 25 до 30 дБ по сравнению с приемником прямого фотодетектирования. Однако, реализация его достаточна сложна, так как требует подбора поляризации на площадке фотодетектора.

2. Реализация гомодинного приемника на основе распределённого усилителя Мандельштама — Бриллюэна более проста так как использует волокно передачи и не требует сложных подстроек — всё выполняется автоматически, но выигрыш уменьшается примерно на 3 дБ

3. Учет шумов усилителя Мандельштама — Бриллюэна в когерентной ВОСП, как показывают расчеты, снижает чувствительность гомодинного приемника примерно на 1.5 дБ

4. Применение усилителя Мандельштама — Бриллюэна в когерентных систем позволяет получить выигрыш в качестве приема не менее 20 дБ, что обеспечивает увеличение длины регенерационного порядка 100 км.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Урядов В. Н. Волоконно-оптические системы передачи: учебно-методический комплекс по дисциплине «Волоконно-оптические системы передачи» для студентов специальностей «Многоканальные системы телекоммуникаций», «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения» / В. Н. Урядов. – Минск. : БГУИР, 2008. – 228 с.

[2] Волков, С. В. Сети кабельного телевидения / С. В. Волков. – М. : Горячая линия–Телеком, 2004. – 616 с.

[3] Урядов В. Н. Компоненты волоконно-оптических систем передачи: конспект лекций по дисциплине «Компоненты волоконно-оптических систем передачи» для студентов специальностей «Многоканальные системы телекоммуникаций» / В. Н. Урядов. – Минск. : БГУИР, 2006. – 110 с.