
ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. ЧАСТОТНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ КАНАЛОВ В ВОСП – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	13
1.1. Виды оптической модуляции и фотодетектирования, форматы модуляции в частотно-разделенных каналах	13
1.2. Место частотного разделения каналов в ВОСП	21
1.3. Выводы по первому разделу	29
2. ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СИГНАЛОВ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИИ	30
2.1. Интермодуляционные искажения	30
2.2. Влияние ВАХ ЛД на показатели качества сигналов	34
2.3. Параболическая аппроксимация клиппированных импульсных помех при модуляции излучения ЛД групповым многоканальным сигналом	43
2.4. Модуляция излучения лазерного диода многоканальным цифровым сигналом формата 64/256-QAM.....	48
2.5. Модуляция излучения лазерного диода OFDM-сигналом.....	55
2.6. Внутренняя нелинейность лазера	62
2.6.1. Переходная и частотная характеристики ЛД.....	62
2.6.2. Фазовый шум ЛД. Относительный интенсивный шум ЛД	71
2.7. Влияние передаточной характеристики внешнего модулятора на показатели качества сигналов	75
2.7.1. Основные характеристики внешних модуляторов	75
2.7.2. Внешняя модуляция излучения многоканальным сигналом, состоящим из множества поднесущих каналов	85
2.8. Выводы по второму разделу	91
3. ПРЯМОЕ ФОТОДЕТЕКТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ	92
3.1. Выбор параметров фотоприемного устройства для оптимального детектирования поднесущих сигналов	92

3.2. Прямое фотодетектирование оптических однополосных сигналов с частотным разделением поднесущих каналов разного формата модуляции	106
3.3. Выводы по третьему разделу	117
4. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ТРАКТ СЕТИ ДОСТУПА С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ В ЛИНЕЙНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ.....	119
4.1. Влияние на поднесущие сигналы дисперсии оптического волокна и помех, возникающих при прямом фотодетектировании двухполосных оптических сигналов.....	119
4.1.1. Результаты моделирования при передаче многоканальных SCM-сигналов.....	129
4.1.2. Результаты моделирования при передаче OFDM-сигналов.....	133
4.2. Влияние дисперсии оптического волокна и прямого фотодетектирования на поднесущие при использовании однополосных оптических OFDM-сигналов.....	136
4.2.1. Математическое обоснование методики расчета	137
4.2.2. Результаты компьютерного моделирования. Способы увеличения полосы OFDM-сигнала без применения схем компенсации шума биений	142
4.2.3. Метод компенсации шума биений на приемной стороне.....	150
4.3. Выводы по четвертому разделу	152
5. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ТРАКТ СЕТИ ДОСТУПА С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ В НЕЛИНЕЙНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ.....	154
5.1. Основные нелинейные явления, влияющие на частотно-разделенные каналы	154
5.2. Влияние четырехволнового смешения на оптические канальные сигналы в WDM-PON-сетях.....	167
5.3. Влияние четырехволнового смешения на поднесущие канальные сигналы в волоконно-оптических сетях доступа.....	179
5.4. Методика оценки показателя качества сигнала при влиянии четырехволнового смешения в волоконно-оптических сетях доступа с частотным разделением каналов	193

5. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ТРАКТ СЕТИ ДОСТУПА С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ В НЕЛИНЕЙНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

5.1. Основные нелинейные явления, влияющие на частотно-разделенные каналы

Очевидно, что для увеличения пропускной способности ВОСП с частотным разделением каналов необходимо эффективно размещать каналы в спектре и увеличивать их число. Однако при увеличении числа каналов суммарный уровень мощности в оптическом волокне увеличивается, что приводит к появлению нежелательных нелинейных явлений, например, фазовой самомодуляции (ФСМ, англ. SPM – self-phase modulation), фазовой кросс-модуляции (ФКМ, англ. XPM – cross-phase modulation), четырехволнового смешения (ЧВС, англ. FWM – four-wave mixing) [2, 115, 137, 221]. Эти явления возникают из-за нелинейной восприимчивости третьего порядка оптического волокна. Для многоканальных систем передачи особо нежелательным является появление в спектре комбинационных частот из-за ЧВС и шумов из-за ФКМ. Часть этих нежелательных частотных составляющих попадают в частотные диапазоны каналов, что приводит к перекрестным помехам между каналами и к ухудшению показателя качества сигнала на приемной стороне. Трудность оценки влияния таких нелинейных продуктов на Q-фактор заключается в том, что невозможно внутри канала отделить (различить) сигнал от нежелательной помехи, измерить отдельно уровень мощности сигнала и помехи, поэтому разработка методики их оценки является актуальной задачей.

Другими нежелательными нелинейными эффектами являются вынужденное комбинационное рассеяние Рамана (ВКР, англ. SRS – stimulated Raman scattering) и вынужденное комбинационное рассеяние Манделъштама – Бриллюэна (ВКРМБ, англ. SBS – stimulated Brillouin scattering) [2, 115, 137, 221]. Эти явления характеризуются неупругим рассеянием света в оптическом волокне, причем при ВКР рассеяние происходит при молекулярных коле-

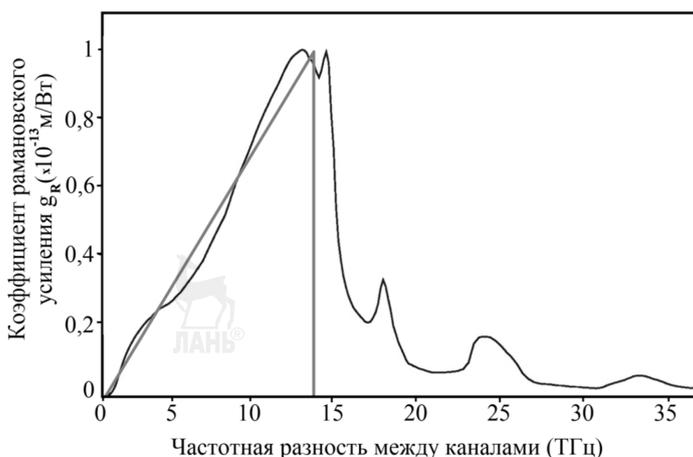


Рисунок 5.3 – Зависимость коэффициента рамановского усиления от частотного интервала между спектральными каналами

На других длинах волн значение g_R можно найти из соотношения [2]:

$$\frac{g_R(\lambda_i)}{g_R(\lambda_0)} = \frac{\lambda_0}{\lambda_i}. \quad (5.14)$$

Например, пик значения g_R на длине волны 1,55 мкм будет $0,645 \cdot 10^{-13}$ м/Вт, вместо $1 \cdot 10^{-13}$ м/Вт на длине волны 1 мкм. То есть с увеличением длины волны максимальное значение коэффициента усиления Рамана уменьшается.

Из рисунка 5.3 видно, что спектр ВКР весьма широк, значение g_R увеличивается с увеличением разности частот между каналами до пикового значения при ~13 ТГц и потом резко падает. Если аппроксимировать зависимость g_R от частотного разнеса каналов треугольником, по условию, что g_R будет линейно расти до значения частотного разнеса 13 ГГц с наклоном $S_R = \frac{dg_R}{df}$, а затем спадать до нуля, то можно вывести аналитические выражения для расчета вклада ВКР в характеристические параметры системы передачи [115].

Очевидно, что самый коротковолновый канал (т. е. первый по длине волны) «истощается» в большей степени, так как он передает свою энергию всем остальным каналам, а сам не получает энергию от других каналов. Степень «истощения» коротковолновых каналов зависит от «структуры» сигналов, пе-