

КОМПЕНСАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНОЗАВИСИМЫХ ПОТЕРЬ, ВОЗНИКАЮЩИХ ВСЛЕДСТВИЕ ВЫНУЖДЕННОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ В ВОЛОКНЕ G.654.E, С ПОМОЩЬЮ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ЭРБИЕВОГО УСИЛИТЕЛЯ

Иудин В.А. (Университет ИТМО), **Погудин Г.К.** (Университет ИТМО),

Назаренко В.Н. (Университет ИТМО).

Научный руководитель – к.т.н. Алейник А.С. (Университет ИТМО).

Введение

В наши дни основная часть мирового трафика так или иначе передается по подводным волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС). Число таких линий велико, и они продолжают активно строиться по мере увеличения объема мирового трафика [1]. Например, с 2021 года строится отечественная подводная линия по морям северного ледовитого океана - "Полярный Экспресс" [2]. Такие линии обладают пролетами в сотни километров без регенерации сигнала и не могут обходиться без волоконно-оптических усилителей. Ввиду особой специфики к усилителям для подводных ВОЛС выдвигаются особые требования, в первую очередь - высокая надежность, а также малое энергопотребление и малый шум-фактор [3].

Высокая пропускная способность в современных ВОЛС достигается за счет плотного спектрально-разделенного мультиплексирования информационных каналов (DWDM). Каналы связи составляют частотную сетку, соответствующую стандартам ITU-T, и расстояния между каналами бывают 200, 100, 50 ГГц. Высокая мощность и спектральная плотность каналов в одномодовом волокне приводят к нелинейным эффектам, таким как четырехволновое смешение, междуканальное взаимодействие и вынужденное комбинационное рассеяние. Последний из них используется для таких применений, как распределенные рамановские усилители. Но этот эффект также может приводить к передаче энергии от более коротковолновых каналов к длинноволновым и, следовательно, к спектральнонеравномерным потерям. [4].

Для исправления этого эффекта, накапливающегося на протяжении всей ВОЛС, ITU рекомендует использовать специальные выравнивающие фильтры раз в несколько сотен километров линии связи [5].

Основная часть

Наклон усиления из-за ВКР является линейным в логарифмическом масштабе [4]. Интересно, что кривая усиления эрбия в области С-диапазона может быть разложена на междуканальную неравномерность, зависящую от общего усиления и линейный в децибелах наклон, зависящий от средней инверсии населенности. Таким образом, было предложено путем оптимизации параметров эрбиевого усилителя, а именно инверсии населенности, реализовать усилитель со спектральной кривой усиления, соответствующей спектральной кривой потерь.

Для измерения целевого наклона спектральной кривой усиления были измерены спектрально-зависимые потери в 87-километровой катушке волокна G.654.E. В качестве источника использовалась сгенерированная с помощью ASE источника и оптического процессора 80-канальная 50 ГГц сетка.

Оптическая схема усилителя двухкаскадная, с междукаскадным размещением выравнивающего усиления фильтра и стабилизацией междукаскадной мощности. Изначальный дизайн усилителя обеспечивает неравномерность усиления 80-канальной сетки 0,7 дБ при входной мощности 1,5 дБм и выходной мощности 15-17 дБм.

Для управления инверсией населенности изменялись уровни мощности накачки 980 нм и длины эрбиевых волокон.

Выводы

В работе представлены результаты измерения спектрально-зависимых потерь в 87 км волокна G.654.E в децибелах. Наклон спектральных потерь имеет близкую к линейной зависимость от мощности входящего в волокно многоканального сигнала. Характерный наклон спектральных потерь составляет 0,022-0,030 дБ/нм при номинальном диапазоне мощности в телекоммуникационной линии 15-17 дБм.

Уменьшением длины эрбиевого волокна и увеличением уровня мощности накачки каскада добора мощности удалось создать наклон усиления, компенсирующий наклон потерь в волокне. При этом сохранились уровень мощности сигнала на выходе из усилителя и шум-фактор. Спектральная неравномерность сигнала при прохождении через систему "эрбиевый усилитель + 87-км G.654" составила те же 0,7 дБ обусловленные неравномерностью усиления при изначальном дизайне.

Список литературы

1. Submarine Cable Map [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.submarinemap.com/> (дата обращения: 20.01.2024)
2. Сайт проекта строительства трансарктической магистральной подводной оптоволоконной линии связи Мурманск-Владивосток [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://полярныйэкспресс.рф> (дата обращения: 05.02.2024)
3. Залеская, Ю.К. Исследование и моделирование схем построения многостадийного волоконно-оптического эрбиевого усилителя : ВКР магистра : 16.04.01 / Залеская Юлия Константиновна : Университет ИТМО. – СПб., 2020. – 68 с.
4. Трешиков В.Н., Листвин В.Н. DWDM-системы. – Москва: изд-во «ТЕХНОСФЕРА», 2021. – 420 с.
5. Рекомендации сектора стандартизации электросвязи (ITU-T) G.977 Characteristics of optically amplified optical fibre submarine cable systems (01/2015) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.977-201501-I!!PDF-E&type=items (дата обращения: 05.02.2024)