

УДК 621.391.64

Исследование влияния коэффициента ослабления аттенюатора на нестабильность мощности источника оптического излучения

Разработана экспериментальная установка для определения мощности оптического излучения полупроводниковых лазеров и ее нестабильности, а также для оценки дополнительной нестабильности этой мощности, вносимой аттенюаторами, разветвителями и ответвителями. Установлено, что величина нестабильности оптического излучения Q после его ослабления в большей степени зависит от значения нестабильности этого излучения до его ослабления и в меньшей степени от того, какой аттенюатор использован для ослабления мощности этого излучения. Поэтому при создании источников одиночных фотонов на основе ослабления оптического излучения необходимо использовать высокостабилизированные источники с $Q \leq 0,001$ дБ, а также источники, обладающие как можно меньшими значениями мощности оптического излучения.

Введение. При трансляции данных по волоконно-оптическим линиям связи часто требуется обеспечивать конфиденциальность передаваемой информации. Наиболее эффективными способами защиты передаваемой по волоконно-оптическим линиям связи информации являются методы квантовой криптографии [1, 2]. В этом случае передача информации осуществляется с помощью источника одиночных фотонов. Известны следующие способы получения источников отдельных фотонов: ослабление импульсов оптического излучения; генерация коррелированных пар фотонов в процессе параметрического распада в кристаллах с квадратичной нелинейностью; одиночные квантовые системы [3]. Наиболее простым и широко используемым источником одиночных фотонов для волоконно-оптических линий связи являются полупроводниковые лазеры с длинами волн излучения, соответствующими окнам прозрачности оптических волокон, импульсное излучение которых ослабляется калиброванными нейтральными светофильтрами. Характеристики источников отдельных

фотонов зависят от величины и нестабильности уровня мощности оптического излучения. Поэтому целью работы является исследование нестабильности мощности лазерного излучения при ослаблении его аттенюаторами и выбор наиболее подходящих лазеров для создания источника одиночных фотонов.

Экспериментальная установка и методика исследований. В качестве объектов исследования использовали полупроводниковые лазеры с длинами волн оптического излучения, соответствующими окнам прозрачности оптических волокон [4]. Наиболее важными характеристиками таких лазеров в данном случае являются мощность и нестабильность мощности оптического излучения, так как именно от этих характеристик будет зависеть нестабильность источника отдельных фотонов, созданного на их основе.

В нестабильность оптического излучения также могут вносить свой вклад аттенюаторы, разветвители и ответвители, применяемые в волоконно-оптических линиях связи при построении

А. А. ЛАГУТИК,
младший научный сотрудник

ОАО «Гипросвязь»

Т. А. МАТКОВСКАЯ,
преподаватель кафедры
телекоммуникационных сетей

Белорусская государственная
академия связи

Ключевые слова:

*коэффициент ослабления,
аттенюатор,
нестабильность мощности
оптического излучения,
источник одиночных
фотонов.*

источника одиночных фотонов.

Для определения мощности оптического излучения полупроводниковых лазеров и ее нестабильности, а также для оценки дополнительной нестабильности этой мощности, вносимой аттенюаторами, разветвителями и ответвителями, была разработана экспериментальная установка, структурная схема которой представлена на рисунке 1.

В установке применялся набор источников оптического излучения Н, который состоит из полупроводниковых лазеров с длинами волн оптического излучения 850, 1310, 1490, 1550 и 1650 нм, соответствующими окнам прозрачности оптического волокна и использующимися для передачи данных по оптическим волокнам.

Также в установке существует возможность подключить каждый лазер из набора Н с помощью оптического волокна ОВ1 к аттенюатору А или напрямую к электронно-оптическому преобразователю

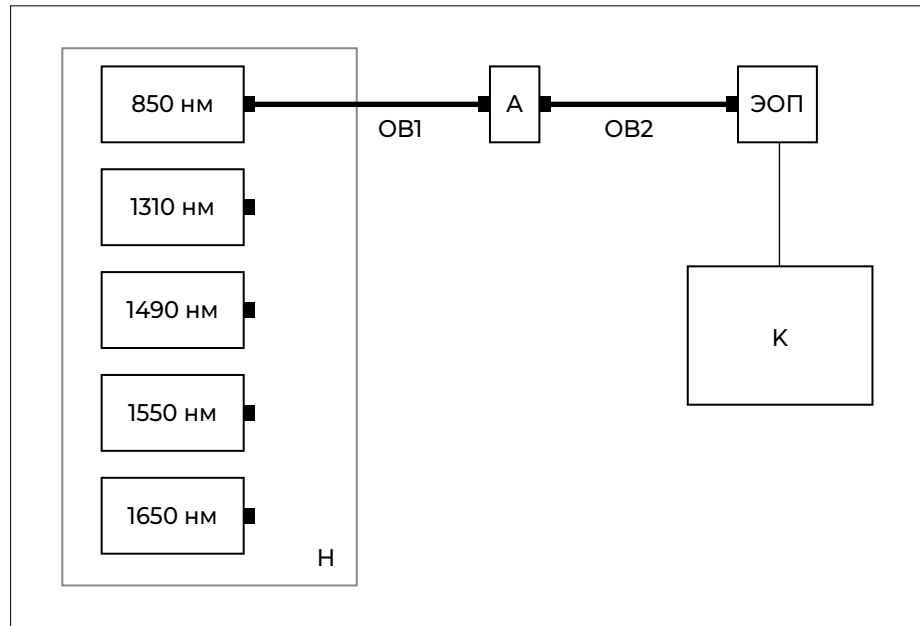


Рисунок 1 – Структурная схема экспериментальной установки

Н – набор источников оптического излучения; ОВ1, ОВ2 и ОВ3 – одномодовые оптические волокна; А – аттенюатор; Ф – формирователь изгиба; ЭОП – электронно-оптический преобразователь; К – компьютер

ЭОП. Аттенюатор А служит для уменьшения мощности источника оптического излучения для каждого лазера из набора Н.

С помощью оптического волокна ОВ2 выход аттенюатора А соединен со входом электронно-оптического преобразователя ЭОП. Оптическое излучение лазера напрямую или после аттенюатора с выхода оптического волокна ОВ2 поступает на оптоэлектронный преобразователь ЭОП, преобразующий его в электрический сигнал, пропорциональный мощности излучения. Этот сигнал передается в компьютер К. Компьютер используется для вычисления мощности и нестабильности уровня мощности оптического излучения.

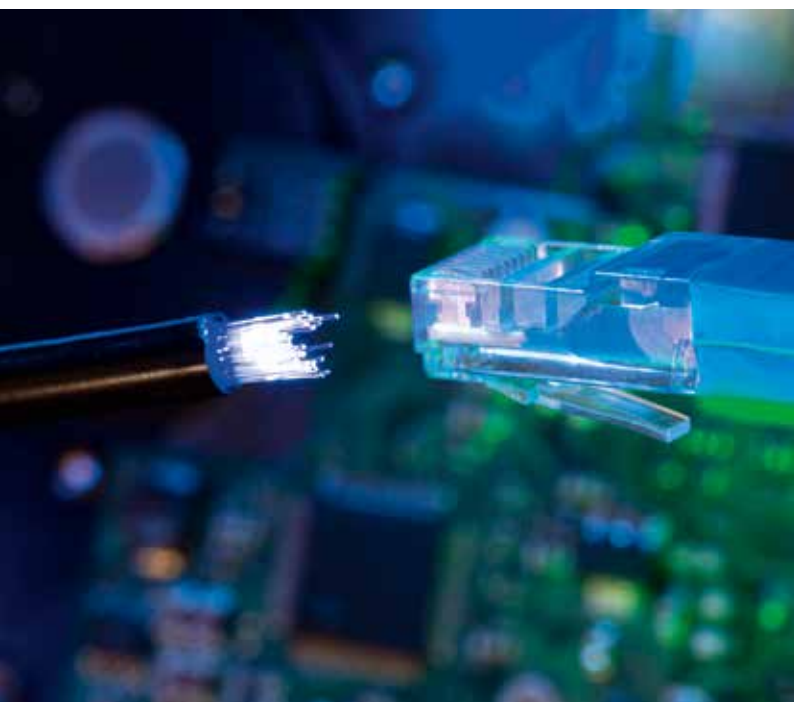
Величина мощности оптического излучения определялась как среднее значение, полученное на основании нескольких измерений.

Для определения нестабильности уровня мощности непрерывного оптического излучения фиксировали уровень мощности излучения за время измерения не менее 15 минут.

Нестабильность уровня мощности оптического излучения Q определялась по следующей формуле [5]:

$$Q = 10 \lg \left(1 + 2 \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}} \right),$$

где P_{\max} и P_{\min} – максимальное и минимальное значение мощности оптического излучения.



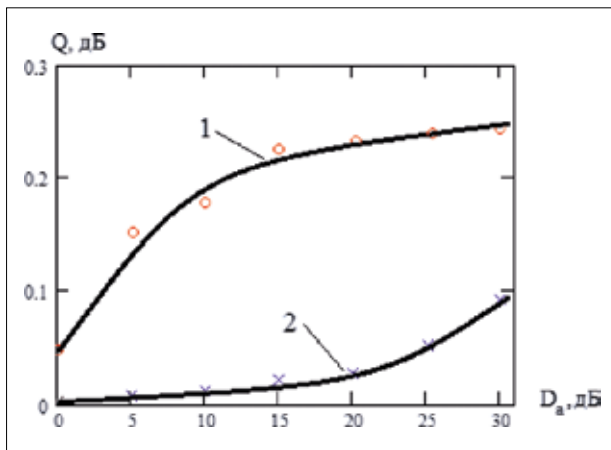


Рисунок 2 – Зависимости нестабильности мощности оптического излучения от коэффициента ослабления аттенюатора
1 – для длины волны 850 нм; 2 – 1625 нм

Результаты исследований и их обсуждение.

Полученные зависимости нестабильности мощности оптического излучения Q от коэффициента ослабления аттенюатора D_a представлены на рисунке 2. Как видно из показанных на этом рисунке зависимостей, увеличение коэффициента ослабления излучения приводит к росту нестабильности оптической мощности. На рисунке 2 представлены зависимости для двух волн 850 и 1625 нм. Для других исследуемых длин волн повышение ослабления оптического излучения также приводило к увеличению нестабильности. При демонстрации этих зависимостей остановились на двух таких длинах волн, поскольку одна из них (850 нм) используется для передачи данных по многомодовому оптическому волокну, а другая (1625 нм) – по одномодовому волокну. Первоначальная мощность ослабляемого оптического излучения была одинаковой для всех длин волн и составляла 5 мВт. Для такой мощности оптического излучения и длин волн 1310, 1490, 1550 и 1625 нм нестабильность $Q = 0,002$ дБ, а для длины волны 850 нм величина $Q = 0,048$ дБ. Отметим, что вид зависимостей Q от D_a для длин волн 1310, 1490 и 1550 нм был аналогичен зависимости, полученной для длины

волны 1625 нм. Отличие данной зависимости от зависимости, полученной для длины волны 850 нм, связано с тем, что для генерации излучения с длиной волны 850 нм использовался полупроводниковый лазер с резонаторами Фабри-Перо, а для других длин волн – полупроводниковые лазеры с распределенными брэгговскими отражателями. Отметим, что лазеры с резонаторами Фабри-Перо имеют поперечные собственные моды, искажающие спектр генерации лазера и обуславливающие нестабильности мощности излучения. Лазеры с распределенными брэгговскими отражателями не обладают таким недостатком, поэтому они имеют меньшую нестабильность мощности оптического излучения, чем лазеры с резонаторами Фабри-Перо.

Были определены величины нестабильности оптического излучения Q для разных мощностей, возникающих после ослабления их аттенюатором с коэффициентом ослабления 5 дБ. Получено, что в диапазоне мощностей $10,0 \div 0,1$ мВт для источника оптического излучения с длиной волны 850 нм и нестабильностью 0,03 дБ после ослабления величина нестабильности увеличивалась и становилась равной $Q = 0,2$ дБ. Для источников оптического излучения с длинами волн 1310, 1490, 1550 и 1625 нм и нестабильностью 0,001 дБ в этом же диапазоне мощностей $10,0 \div 0,1$ мВт после ослабления аттенюатором величина нестабильности повышалась и становилась $Q = 0,02$ дБ.

Определили вносимый вклад различных видов аттенюаторов в нестабильность мощности оптического излучения. Данные представлены в таблице. В качестве объектов исследования были выбраны следующие аттенюаторы: на основе пленки из оксида хрома; на основе протяженного оптического волокна марки G652; на основе изгиба оптического волокна. При проведении измерений коэффициент ослабления аттенюаторов выбирался одинаковый и равный 5 дБ.

Как следует из представленных в таблице результатов, величина Q в большей степени зависит от значения нестабильности этого излучения до его ослабления и в меньшей степени от того, какой

Таблица – Характеристики аттенюаторов оптического излучения

Вид аттенюатора	Мощность оптического излучения, мВт	Длина волны оптического излучения, нм	Нестабильность до ослабления, дБ	Нестабильность после ослабления, дБ
На основе протяженного оптического волокна	0,3	850	0,034	0,201
На основе изгиба волокна				0,223
На основе пленки из оксида хрома				0,214
На основе протяженного оптического волокна	1,0	1625	0,001	0,020
На основе изгиба волокна				0,022
На основе пленки из оксида хрома				0,021



аттенюатор использован для ослабления мощности этого излучения. Так, полученные нестабильности уровня мощности оптического излучения на выходе различных видов аттенюаторов отличались между собой не более чем на 5 % как для длины волны 850 нм, так и для 1625 нм. Отметим, что такое отличие в нестабильности Q на выходе различных видов аттенюаторов наблюдалось и для других исследуемых длин волн.

Таким образом, при создании источников одиночных фотонов на основе ослабления оптического излучения необходимо использовать высокостабилизированные источники с $Q \leq 0,001$ дБ и источники с как можно меньшими мощностями оптического излучения. Последнее необходимо для того,

чтобы осуществлять как можно меньшее ослабление оптического излучения.

Заключение. Установлено, что величина нестабильности уровня мощности оптического излучения после его ослабления в большей степени зависит от значения нестабильности этого излучения до его ослабления и в меньшей степени от того, какой аттенюатор использован для ослабления мощности этого излучения. Поэтому при создании источников одиночных фотонов на основе ослабления оптического излучения необходимо использовать высокостабилизированные источники с $Q \leq 0,001$ дБ, а также источники обладающие как можно меньшими значениями мощности оптического излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Килин, С. Я.** Квантовая криптография: идеи и практика / С. Я. Килин, Д. Б. Хорошко // Минск: Беларуская навука, 2007. – 391 с.
2. **A. Chailloux, I. Kerenidis, and J. Sikora**, “Lower bounds for quantum oblivious transfer,” *Quantum Information & Computation*. 2013. Vol. 13. NO. 1-2, pp. 0158–0177.
3. **Гулаков, И. Р.** Компоненты волоконно-оптических линий связи : учебное пособие / И. Р. Гулаков, А. О. Зеневич, Т. М. Мансуров // Минск: Белорусская государственная академия связи, 2020. – 336 с.
4. **Ming Chen, Chenghao Li, Alan P. Morrison, Shijie Deng, Chuanxin Teng, Houquan Liu, Hongchang Deng, Xianming Xiong, Libo Yuan** // *Electronics*. 2020. Vol. 9. No. 7. P. 1131. doi:10.3390/electronics9071131
5. Система обеспечения единства измерений. Республика Беларусь. Рефлектометры оптические ОРХ-ВОХе. Методика поверки // Минск. 2018. – 29 с.

An experimental setup for determining the optical radiation power of semiconductor lasers and its instability has been developed, as well as for estimating the additional instability of this power introduced by attenuators, couplers, and couplers.

It has been established that the magnitude of the instability of optical radiation after its attenuation depends to a greater extent on the value of the instability of this radiation before its attenuation, and to a lesser extent on which attenuator is used to attenuate the power of this radiation. Therefore, when creating single-photon sources of optical radiation based on the attenuation of optical radiation, it is necessary to use highly stabilized sources with $Q \leq 0.001$ dB, as well as sources with the lowest possible optical radiation power.

Keywords: attenuation coefficient, attenuator, optical radiation power instability, single photon source.

Получено 04.04.2022.