

2. СТБ ISO 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – Введ. 01.01.2016. – Мн.: БелГИСС, 2015. – 36 с.

3. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. – Geneva: ISO, 2017. – 30 p.

4. Сивохин, Д. В. Термопары: теория, свойства, применение / Д. В. Сивохин, Ю. Г. Кривошеев. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 288 с.

5. Кузьмичев, Ю. Ю. Метрологическое обеспечение и контроль точности / Ю. Ю. Кузьмичев. – СПб.: Питер, 2014. – 320 с.

УДК 53.082.54

ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ШУМ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЗЕРОВ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Степура В. С., Виноградова А. В., Исаевич А. В.

Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси»,
Минск, Беларусь

Анотация. Проведена оценка относительного шума интенсивности лазерных источников с распределенной обратной связью на длинах волн 1310, 1490, 1550, 1625 нм. Установлена зависимость положения резонансного пика релаксационных колебаний от длины волны и мощности излучения в диапазоне от 0,5 до 9 мВт. Проведена оценка отношения сигнал/шум при мощности излучения 1 мВт. Выполнена проверка стабильности выходной мощности источников излучения.

Ключевые слова: относительный шум интенсивности, релаксационные колебания, лазерный источник.

RELATIVE INTENSITY NOISE OF DISTRIBUTED FEEDBACK LASERS

Stepura V. S., Vinogradova A. V., Isaevich A. V.

The State Scientific Institution

“B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Belarus

Abstract. The relative intensity noise of laser sources with distributed feedback was estimated at wavelengths of 1310, 1490, 1550, and 1625 nm. The dependence of the resonance peak position of relaxation oscillations on wavelength and radiation power was determined in the range from 0.5 to 9 mW. The signal-to-noise ratio was estimated at a radiation power of 1 mW. The stability of the output power of the radiation sources was tested.

Keywords: relative intensity noise, relaxation oscillations, laser source.

Адрес для переписки: Степура В. С., пр. Независимости, 68-2, г. Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: v.stepura@ifanbel.bas-net.by

Введение. Качество и производительность оптических систем связи в значительной степени зависят от свойств используемых лазерных источников. Для повышения скорости передачи данных в таких системах необходимо использовать лазеры с определенными шумовыми характеристиками. Важной характеристикой шума интенсивности (флуктуаций мощности оптического излучения) лазера является относительный шум интенсивности (RIN), который представляет собой шум мощности излучения, нормализованный к среднему уровню мощности и приведенный к единичной полосе частот [1]:

$$R(f) = \frac{\langle \Delta P(f)^2 \rangle}{\langle P(f)^2 \rangle} \cdot \frac{1}{\Delta f}, \quad (1)$$

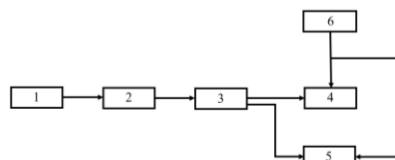
где $R(f)$ – RIN, $\langle \Delta P(f)^2 \rangle$ – среднеквадратичные флуктуации средней мощности излучения, $\langle P(f)^2 \rangle$ – среднеквадратичная мощность излучения, Δf – единичная полоса частот.

Цель данной работы – исследование и сравнительный анализ уровня RIN лазерных источников с распределенной обратной связью на длинах волн 1310, 1490, 1550, 1625 нм.

Материалы и методы. На рисунке 1 представлена блок-схема установки для измерений относительного шума интенсивности лазеров в режиме реального времени в полосе частот от 100 МГц до

40 ГГц. Излучение испытуемого лазера 1, ослабленное, при необходимости, с помощью оптического аттенюатора 2, подается на высокочувствительный малошумящий приемник SYCATUS A0010A-040 3, который преобразует оптическое излучение в усиленный электрический сигнал. Постоянная составляющая фототока, выработанного детектором приемника излучения при попадании на него излучения испытуемого лазера, поступает с делителя электрического сигнала на цифровой мультиметр KEYSIGHT 34461A 5, в то время как переменная составляющая электрического шума усиливается и затем измеряется анализатором сигналов KEYSIGHT MXA N9020B 4.

Управление установкой, сбор и обработка данных производится с помощью специально разработанного программного обеспечения 6.



1 – испытуемый лазер; 2 – оптический аттенюатор,
3 – приемник излучения; 4 – анализатор сигналов;
5 – цифровой мультиметр; 6 – ПО

Рисунок 1 – Блок-схема установки для измерений RIN

Результаты. Измерения проводились с использованием высокостабильных лазеров с распределенной обратной связью, входящих в состав источников излучения FTBx-2150-2346B-4 фирмы EXFO и БСИ-5 ЗАО «Институт информационных технологий», генерирующих узкополосное излучения на длинах волн 1310, 1490, 1550 и 1625 нм.

На рисунке 2, а представлены частотные зависимости RIN лазеров FTBx-2150-2346B-4 для мощности излучения 1 мВт при различных длинах волн излучения, а на рисунке 2, б аналогичные зависимости для лазеров БСИ-5. Видно, что зависимости для всех лазеров имеют одинаковый вид: сначала с возрастанием частоты происходит увеличение RIN, достигая своего максимума при частотах, соответствующих частотам релаксационных колебаний, а затем снова уменьшается на более высоких частотах. Максимальное значение $RIN = -127$ дБ/Гц имеет лазер с длиной волны 1550 нм источника БСИ-5 на частоте 6,5 ГГц. Наилучшие максимальные значения $RIN = -137$ дБ/Гц имеют лазеры с длинами волн излучения 1490 и 1550 нм на частотах 7,9 и 8,6 ГГц соответственно.

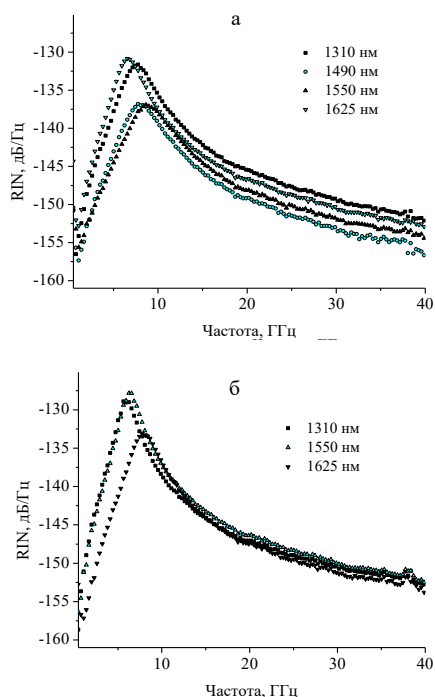


Рисунок 2 – Частотные зависимости RIN лазеров источника FTBx-2150-2346B-4 (а) и БСИ-5 (б)

В таблице 1 представлены результаты измерений RIN на частотах релаксационных колебаний и значения этих частот лазера с длиной волны 1310 нм источника FTBx-2150-2346B-4 при различных значениях выходной мощности лазера. С увеличением мощности излучения наблюдается смещение максимума частотных зависимостей RIN в область более высоких частот, сопровождаемое монотонным снижением значений RIN. Аналогичная зависимость наблюдается для всех лазеров обоих источников. Например, для лазера

с длиной волны 1310 нм источника БСИ-5 с увеличением выходной мощности с 1 до 9 мВт происходит уменьшение RIN с -129 до -147 дБ/Гц.

Проведенные выше исследования проводились при работе лазеров в режиме непрерывной генерации излучения. Модуляция излучения с частотами от 270 Гц до 2 кГц вызывала увеличение RIN. Например, для лазера с длиной волны излучения 1310 нм источника FTBx-2150-2346B-4 значение RIN при максимальной выходной мощности 3 мВт составляло $-134,5$ дБ/Гц, а при модуляции излучения: -130 дБ/Гц при всех частотах модуляции.

Таблица 1 – Значения RIN и частоты релаксационных колебаний при изменении выходной мощности лазера

Мощность, мВт	0,5	1	1,5	2	2,5
RIN, дБ/Гц	–115	–123	–127	–130	–133
Частота, ГГц	3,6	5,0	6,2	7,0	7,9

Измерение отношения сигнал/шум проводилось с использованием интерполяционного метода в соответствии с [2]. При увеличении мощности излучения лазеров от 0,5 до 2,5 мВт отношение сигнал/шум увеличивается с 36 до 50 дБ для всех лазеров источника FTBx-2150-2346B-4. Для лазеров источника БСИ-5 происходит увеличение отношения сигнал/шум от 44 до 55 дБ с ростом мощности излучения.

Проведенная оценка средневременной стабильности мощности излучения лазеров (на основании 600 измерений мощности в течении 1 мин.) в соответствии с [1] показала, что относительная флуктуация мощности лазеров FTBx-2150-2346B-4 и БСИ-5 не превышает 0,15 % и 0,05 %, соответственно, что свидетельствует о высокой стабильности исследуемых источников.

Вывод. Проведенные исследования демонстрируют наличие зависимости RIN лазеров с распределенной обратной связью от длины волны и уровня мощности излучения. Полученные результаты подтверждают, что с увеличением мощности излучения максимальные значения RIN на частотах релаксационных колебаний уменьшаются в результате квадратичной зависимости от плотности фотонов в резонаторе, при этом значения частоты релаксационных колебаний увеличиваются, что позволяет в будущем оптимизировать режимы работы лазеров.

Литература

1. СТБ ISO 11554-2020. Оптика и фотоника. Лазеры и относящиеся к лазерам оборудование. Методы испытаний для определения мощности, энергии и временных характеристик лазерного излучения. – Введ. 01.01.2021. – Мн.: БелГИСС, 2020. – 24 с.
2. IEC 61260-2-9:2009. Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 2-9: Digital systems – Optical signal-to-noise ratio measurement for dense wavelength-division multiplexed systems. – Geneva: IEC, 2009. – 24 p.