DOI: 10.17117/na.2015.11.04.261

<http://ucom.ru/doc/na.2015.11.04.261.pdf>

Поступила (Received): 13.11.2015

Голышев В.Ю. Методические указания по выполнению лабораторной работы «Оптическое отношение сигнал / шум в волоконно-оптических линиях связи»

Golyshev V.Yu. Methodical instructions on laboratory work performance "The optical signal to noise ratio in fiber-optical communication lines"

Отношение оптического сигнала и оптического шума (OSNR) является одной из самых важных характеристик волоконно-оптических линий связи, определяющих качество передачи информации, максимальную дальность передачи, устойчивость и стабильность сигнала при старении волокна и деградации оборудования линии. Данная лабораторная работа посвящена вопросам измерения OSNR, изучению зависимости OSNR от других параметров приемной и передающей аппаратуры

Ключевые слова: волоконно-оптическая линия связи, оптическое отношение сигнала к шуму

Голышев Владимир Юрьевич

Кандидат физико-математических наук, доцент
Московский государственный университет
информационных технологий, радиотехники и
электроники
г. Москва, проспект Вернадского, 78

The optical signal to optical noise ratio (OSNR) is one of the most important characteristics of the fiber-optical communication lines defining quality of information transfer, the maximum distance of transfer, stability of a signal when fiber aging and degradation of the equipment of the line occur. This laboratory work is devoted to questions of measurement of OSNR, studying of dependence of OSNR on other parameters of a receiver and the transmitter equipment

Key words: fiber-optical communication line, optical signal to noise ratio

Golyshev Vladimir Yurjevich

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor
Moscow state university of information technologies,
radioengineering and electronics
Moscow, Vernadsky ave., 78

Отношение оптического сигнала и оптического шума (OSNR) является одной из самых важных характеристик волоконно-оптических линий связи, определяющих качество передачи информации, максимальную дальность передачи, устойчивость и стабильность сигнала при старении волокна и деградации оборудования линии. Данная лабораторная работа посвящена вопросам измерения OSNR, изучению зависимости OSNR от других параметров приемной и передающей аппаратуры.

Оптическое отношение сигнал/шум определяется выражением

$$OSNR(B_o) = \frac{P_s}{P_n} \cong \frac{P_s}{P_n(\nu)B_o}, \quad (1)$$

где P_s – оптическая мощность сигнала, P_n – полная мощность шума (спонтанной люминесценции оптических усилителей в линии) в заданной оптической полосе B_o , $P_n(\nu)$ – спектральная плотность мощности шума (как правило, это гладкая функция частоты и практически не меняется на интервале B_o). Таким образом, значение OSNR всегда соотносится с оптической полосой, для которой происходит его вычисление или измерение. Типичные значения B_o : 0.1, 0.2, 0.4 нм.

Важный вопрос – это измерение OSNR. Оно проводится при помощи оптического анализатора спектра, который характеризуется спектральным разрешением B_{osa} . Для корректного измерения нужно учитывать, что спектр сигнала имеет непредсказуемую форму и может меняться со временем. Поэтому, выбор разрешения анализатора меньше ширины полосы сигнала B_s , не практикуется. С другой стороны, при слишком большой полосе анализатора спектра (в несколько нм) будет ошибочно определяться уровень спонтанной люминесценции, присутствующей в сигнале. Поэтому обычно полагают $B_s < B_{osa} \leq 1$ нм.

Измерения при помощи анализатора спектра дают следующую величину отношения сигнал/шум

$$OSNR(B_{osa}) = \frac{P_s}{P_n(\nu)B_{osa}} = OSNR(B_o) \frac{B_o}{B_{osa}}. \quad (2)$$

Зная разрешение анализатора, измеренное отношение сигнал/шум легко пересчитать к требуемой величине для полосы B_o , определяемой формулой 1.

Следует учесть одну еще важную особенность. Анализатор спектра показывает не отношение сигнала и шума, а отношение суммы сигнала и шума к шуму. Обозначим его через Δ . Тогда, переходя к децибельному представлению OSNR, получим

$$OSNR(B_{osa})|_{dB} = 10 \log(10^{0.1\Delta|_{dB}} - 1). \quad (3)$$

Используя 2 и 3 легко найти связь отношения сигнал/шум в полосе B_o и показаний анализатора спектра Δ :

$$OSNR(B_o)|_{dB} = 10 \log(10^{0.1\Delta|_{dB}} - 1) + 10 \log\left(\frac{B_{osa}}{B_o}\right). \quad (4)$$

Предельный или критический OSNR определяется как отношение сигнал/шум при котором достигается определенный, заданный уровень ошибок в точке приема. Превышение этого значения приводит к неработоспособности системы передачи данных и считается недопустимым. При проектировании волоконно-оптических линий связи стараются обеспечить запас по OSNR (разница критического и измеренного в линии OSNR) на уровне не менее 2-3 дБ.

В [1] приводится выражение предельного OSNR для NRZ формата модуляции в пренебрежении внутренним шумом оптического приемника:

$$OSNR_{cr}(B_o) = \frac{E+1}{(E-1)^2} \left[Q^2 \frac{B_e}{B_o} (E+1) + Q \sqrt{\frac{B_e}{B_o} (4EQ^2 \frac{B_e}{B_o} + (E-1)^2 \left(\frac{B_{ch}}{B_o} - \frac{B_e}{2B_o} \right))} \right], \quad (5)$$

где E – уровень экстинкции принимаемого оптического сигнала (отношение оптической мощности битовой единицы к мощности битового нуля), B_e – электрическая полоса фотоприемника по уровню -3 дБ, B_{ch} – полоса пропускания оптического демультиплексора (фильтра) по уровню -3 дБ.

Предельный OSNR соответствует определенному уровню ошибок принимаемых данных или Q-фактору. Q-фактор однозначно определяется вероятностью битовых ошибок в принимаемых данных, которые задаются величиной BER:

$$BER(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_Q^{+\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx. \quad (6)$$

Так $BER=10^{-12}$ соответствует $Q=7.0345$ и $BER=10^{-10}$ – $Q=6.3615$. Следует заметить, что приведенные формулы для критического отношения сигнал/шум не учитывают наличие FEC (Forward Error Correction) в системе. Использование избыточного помехоустойчивого кодирования RS FEC (стандарт G.709) дает выигрыш по критическому OSNR в районе 3 дБ при передаче на скорости 10 Гбит/с. В случае eFEC (enhanced FEC) он составит уже 6 дБ.

Остановимся более подробно на величинах B_e и B_{ch} . Электрическая полоса приемника сигнала связана с битовой скоростью B . Оптимальное соотношение такое ([1], [2])

$$B_e = 0.75B. \quad (7)$$

Увеличение полосы приемника приводит к возрастанию критического OSNR и, следовательно, к ухудшению параметров системы. Реальная полоса приемника приводится его производителем в паспорте на изделие и, как правило, находится в диапазоне от $0.75B$ до $1B$.

Оптическая полоса демультиплексора B_{ch} также отличается у разных производителей. Следует учитывать, что для безошибочной передачи информации эта полоса не может быть меньше удвоенной электрической полосы передатчика, которая в идеальном случае равна $0.75B$. Т.е.

$$B_{ch} > 1.5B_e. \quad (8)$$

Для измерения критического OSNR используется анализатор спектра. Схема измерительной установки показана на рисунке 1.

Рис. 1. Схема измерения критического OSNR

Увеличивая затухание перестраиваемого затенителя на входе оптического усилителя, добиваются заданного уровня ошибок, возникающих в приемном тракте транспондера. Уровень ошибок контролируется BER-анализатором.

Значение отношения оптического сигнала к шуму измеряется анализатором спектра через пассивный разветвитель 50%.

Рассмотрим, как зависит критический OSNR от оптической полосы демультиплексора (оптического фильтра). В качестве примера возьмем следующие параметры: скорость передачи данных $B=10$ Гбит/с, $B_o=12.5$ ГГц (0.1 нм), $B_e=0.75B$, $E=10$ дБ, $Q=6.3615$, начальная полоса демультиплексора равна 0.4 нм (50 ГГц). Такую полосу имеет стандартный мультиплексор для сетки частот 100 ГГц. Конечную полосу выбираем 35 нм (4375 ГГц) Она соответствует полосе усиления эрбиевого оптического усилителя в диапазоне СЗ. Практически, такая полоса подразумевает отсутствие демультиплексора перед приемником. Расчетная кривая по формуле 5 приведена на рисунке 2. По оси x отложена ширина спектра демультиплексора, выраженная в нм.

Рис. 2. Зависимость OSNR от оптической полосы демультиплексора

Из графика видно, что критический OSNR возрастает с 17.8 дБ до 21.8 дБ, т.е. на 4.0 дБ. В некоторых случаях это может быть существенным увеличением и использование спектрального фильтра (демультиплексора) будет оправдано.

При изменении полосы демультиплексора в 2 раза, например, с 0.4 нм до 0.8 нм (это соответствует случаю, когда стандартный фильтр для сетки частот 100 ГГц заменяется фильтром 200 ГГц) OSNR возрастает до 18.0 дБ, или всего лишь на 0.2 дБ. Т.е. небольшая зависимость имеется, но она не определяющая для системы передачи. Поэтому значение полосы демультиплексора часто не указывают, когда приводят значение OSNR.

Рис. 3. Зависимость OSNR от электрической полосы приемника

Рис. 4. Зависимость OSNR от экстинкции

Посмотрим, какой выигрыш по OSNR можно получить, оптимизируя электрическую полосу приемника B_e . Пусть скорость передачи данных $B=10$ Гбит/с, $B_o=12.5$ ГГц (0.1 нм), $B_{ch}=50$ ГГц (0.4 нм), $E=10$ дБ, $Q=6.3615$, начальная полоса приемника равна оптимальной ($0.75B$). Зависимость показана на рисунке 3. По оси x отложена ширина спектра приемника, выраженная в B .

Изменяем полосу приемника от $1B$ до $0.75B$. Результирующий выигрыш составляет около 1.2 дБ.

Зависимость OSNR от экстинкции передатчика. Полагаем $B=10$ Гбит/с, $B_o=12.5$ ГГц (0.1 нм), $B_{ch}=50$ ГГц (0.4 нм), $B_e=0.75B$, $Q=6.3615$. График показан на рисунке 4.

Как видно из графика, влияние экстинкции на OSNR может быть очень существенным. Увеличение экстинкции с 10 дБ до 15 дБ (это эквивалентно замене передатчика с ЕА-модулятором на передатчик с МZ-модулятором) приводит к уменьшению критического OSNR на 1.1 дБ. С другой стороны, падение экстинкции на приемнике с 10 дБ до 6 дБ (оно может быть обусловлено влиянием дисперсии и нелинейных эффектов в линии) поднимает критический OSNR на 3.1 дБ.

Список используемых источников:

1. ITU-T O.201 "Q-factor test equipment to estimate the transmission performance of optical channels".
2. G.957 "Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy".

© 2015, Голышев В.Ю.

Методические указания по выполнению лабораторной работы «Оптическое отношение сигнал / шум в волоконно-оптических линиях связи»

© 2015, Golyshev V.Yu.

Methodical instructions on laboratory work performance "The optical signal to noise ratio in fiber-optical communication lines"