

**ЭЛЕКТРОНИКА**

УДК 621.382.621.395

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПОМЕХ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ**

В.Н. УРЯДОВ, Ю.Б. СТУНКУС

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 25 октября 2007*

Анализируются значения вероятности ошибки при приеме оптического сигнала с учетом влияния соседних спектральных каналов. Предполагается, что значение влияния зависит от характеристик, а также от количества оптических мультиплексоров, включенных в оптический тракт.

*Ключевые слова:* волоконно-оптические системы передачи, волновое уплотнение, вероятность ошибки, переходное затухание.

**Введение**

Одной из доминирующих тенденций развития телекоммуникационных сетей является процесс "фотонизации", результатом которого должен явиться переход к полностью оптическим транспортным сетям. В основу фотонных сетей в первую очередь положен принцип динамической волновой коммутации (маршрутизации). Это означает, что в системах со спектральным (волновым) разделением, которые будут основой таких сетей, увеличится не только количество каналов, но и количество мультиплексоров-демультиплексоров в оптическом тракте вдоль всего маршрута следования информации.

Поэтому в последнее время возникает повышенный интерес к таким оптическим компонентам, как мультиплексоры-демультиплексоры и влиянию их параметров на качество передачи информации. Задачей данной статьи является исследование влияния переходного затухания оптического мультиплексора ввода-вывода как основного компонента оптических маршрутизаторов на коэффициент ошибки, возникающей в фотонной сети.

**Теоретический анализ**

Как показано в [1] в ВОСП со спектральным разделением каналов (СРК), из-за флуктуации длины волны и параметров мультиплексоров и демультиплексоров, неидеальности их настройки возникают переходные помехи. Задачей данной работы является оценка влияния переходных помех соседних каналов и определение требований к переходному затуханию мультиплексоров в ВОСП с СРК. При решении данной задачи будем полагать, что взаимное влияние между оптическими каналами одинаково, прием их осуществляется методом однократного отсчета при идеальной синхронизации. При таком методе приема пороговое устройство в моменты стробирования напряжения сигнала синхронизирующими импульсами сравнивает его с пороговым уровнем. Напряжение сигнала в моменты стробирования в данном случае будет зависеть от комбинации символов в оптических каналах. Среднюю вероятность ошибки,

висеть от комбинации символов в оптических каналах. Среднюю вероятность ошибки, характеризующую помехоустойчивость ВОСП с некоррелированными цифровыми потоками в оптических каналах, можно определить из выражения [2]

$$P_{ош} = \sum_j \sum_i p(1, i, j) p\left(\frac{0}{1, i, j}\right) + \sum_j \sum_i p(0, i, j) p\left(\frac{1}{1, i, j}\right), \quad (1)$$

где  $p(1, i, j)=p(0, i, j)=1/8$  при равновероятной и независимой передаче "1" и "0" в каждом канале:

$$P_{ош} = \frac{1}{8} \left[ p\left(\frac{0}{111}\right) + p\left(\frac{0}{101}\right) + p\left(\frac{0}{110}\right) + p\left(\frac{0}{100}\right) + p\left(\frac{1}{000}\right) + p\left(\frac{1}{010}\right) + p\left(\frac{1}{001}\right) + p\left(\frac{1}{011}\right) \right]. \quad (2)$$

Для нахождения условных вероятностей будем полагать, что мощность каждого канала одинакова, что имеет место в системах DWDM, мощность при передаче нуля  $P_0=0$ , при передаче используется сбалансированный ( $P_c=P_u/2$ ) код NRZ, где  $P_c$  — средняя мощность сигнала, импульсы имеют прямоугольную форму, кривая затухания оптического мультиплексора в полосе пропускания симметрична, а значит:

$$p\left(\frac{0}{101}\right) = p\left(\frac{0}{110}\right), \text{ а } p\left(\frac{1}{010}\right) = p\left(\frac{1}{001}\right). \quad (3)$$

Учитывая, что переходная помеха является аддитивной, а на входе решающего устройства сигнал и помеха не имеют постоянной составляющей (связанной с  $P_c$ ), найдем условные вероятности ошибки:

$$p\left(\frac{0}{111}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{U_c + 2U_n}{\sqrt{2}\sigma_1}\right), \quad (4)$$

$$p\left(\frac{0}{101}\right) = p\left(\frac{0}{110}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{U_c}{\sqrt{2}\sigma_1}\right), \quad (5)$$

$$p\left(\frac{0}{100}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{U_c - 2U_n}{\sqrt{2}\sigma_1}\right), \quad (6)$$

$$p\left(\frac{1}{000}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{U_c + 2U_n}{\sqrt{2}\sigma_0}\right), \quad (7)$$

$$p\left(\frac{1}{010}\right) = p\left(\frac{1}{001}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{U_c}{\sqrt{2}\sigma_0}\right), \quad (8)$$

$$p\left(\frac{1}{011}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{U_c - 2U_n}{\sqrt{2}\sigma_0}\right), \quad (9)$$

где  $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty \exp(-x^2) dx$  — дополнительная функция ошибок.

Используя асимптотическое разложение интегральной функции распределения при больших аргументах, несложно получить:

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{1}{x\sqrt{\pi}} \exp(-x^2) \quad (10)$$

При этом выражение для вероятности ошибки (2) с учетом (4)–(10) принимает вид:

$$\begin{aligned} P_{ou} = & \frac{1}{8} \left[ \frac{\sigma_1}{\sqrt{2\pi}(U_c + 2U_n)} \left[ \exp\left(-\frac{(U_c + 2U_n)^2}{2\sigma_1^2}\right) \right] + \frac{2\sigma_1}{\sqrt{2\pi}(U_c)} \left[ \exp\left(-\frac{(U_c)^2}{2\sigma_1^2}\right) \right] + \right. \\ & + \frac{\sigma_1}{\sqrt{2\pi}(U_c - 2U_n)} \left[ \exp\left(-\frac{(U_c - 2U_n)^2}{2\sigma_1^2}\right) \right] + \frac{\sigma_0}{\sqrt{2\pi}(U_c - 2U_n)} \left[ \exp\left(-\frac{(U_c - 2U_n)^2}{2\sigma_0^2}\right) \right] + \\ & \left. + \frac{2\sigma_0}{\sqrt{2\pi}(U_c)} \left[ \exp\left(-\frac{(U_c)^2}{2\sigma_0^2}\right) \right] + \frac{\sigma_0}{\sqrt{2\pi}(U_c + 2U_n)} \left[ \exp\left(-\frac{(U_c + 2U_n)^2}{2\sigma_0^2}\right) \right] \right] \quad (11) \end{aligned}$$

Обозначим отношение помеха-сигнал как  $U_n/U_c = \eta$ , а сигнал-шум  $U_n/\sigma = Q_{ou}$ , причем  $\sigma_1 = \sigma_0 = \sigma$  [4], и в соответствии с обозначениями запишем конечную формулу для вероятности ошибки:

$$\begin{aligned} P_{ou} = & \frac{1}{8} \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi}Q_{ou}(1+2\eta)} \left[ \exp\left(-\frac{Q_{ou}^2(1+2\eta)^2}{2}\right) \right] + \frac{2}{\sqrt{2\pi}Q_{ou}} \left[ \exp\left(-\frac{Q_{ou}^2}{2}\right) \right] + \right. \\ & + \frac{1}{\sqrt{2\pi}Q_{ou}(1-2\eta)} \left[ \exp\left(-\frac{Q_{ou}^2(1-2\eta)^2}{2}\right) \right] + \frac{2}{\sqrt{2\pi}Q_{ou}} \left[ \exp\left(-\frac{Q_{ou}^2}{2}\right) \right] + \\ & \left. + \frac{1}{\sqrt{2\pi}Q_{ou}(1-2\eta)} \left[ \exp\left(-\frac{Q_{ou}^2(1-2\eta)^2}{2}\right) \right] + \frac{1}{\sqrt{2\pi}Q_{ou}(1+2\eta)} \left[ \exp\left(-\frac{Q_{ou}^2(1+2\eta)^2}{2}\right) \right] \right] = \\ & \frac{1}{8} \left[ \frac{4}{\sqrt{2\pi}Q_{ou}} \left[ \exp\left(-\frac{Q_{ou}^2}{2}\right) \right] + \frac{2}{\sqrt{2\pi}Q_{ou}(1+2\eta)} \left[ \exp\left(-\frac{Q_{ou}^2(1+2\eta)^2}{2}\right) \right] + \right. \\ & \left. \frac{2}{\sqrt{2\pi}Q_{ou}(1-2\eta)} \left[ \exp\left(-\frac{Q_{ou}^2(1-2\eta)^2}{2}\right) \right] \right] = \frac{1}{Q_{ou}4\sqrt{2\pi}} \left[ 2\exp\left(-\frac{Q_{ou}^2}{2}\right) + \right. \\ & \left. \frac{1}{(1-2\eta)} \left[ \exp\left(-\frac{Q_{ou}^2(1-2\eta)^2}{2}\right) \right] + \frac{1}{(1+2\eta)} \left[ \exp\left(-\frac{Q_{ou}^2(1+2\eta)^2}{2}\right) \right] \right] \quad (12) \end{aligned}$$

На основании рассчитанного выражения можно построить зависимость  $P_{ou}(\eta)$  (рис. 1):

Чтобы найти интересующую нас зависимость вероятности ошибки от переходного затухания мультиплектора, нужно учесть, что величина отношения помеха-сигнал должна меняться в соответствии с законом:

$$\eta(L) = U_c \sum_{1}^N 10^{-\frac{L}{10}},$$

где  $L$  — величина переходного затухания;  $N$  — количество мультиплекторов.

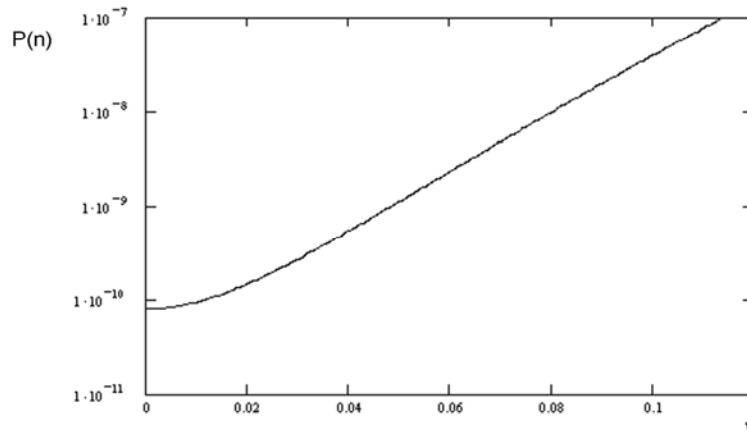


Рис. 1. Зависимость вероятности ошибки  $P_{\text{ош}}$  от отношения помеха-сигнал  $\eta$

На рис. 2 приведена кривая зависимости вероятности ошибок от величины переходного затухания и количества оптических устройств волнового разделения:

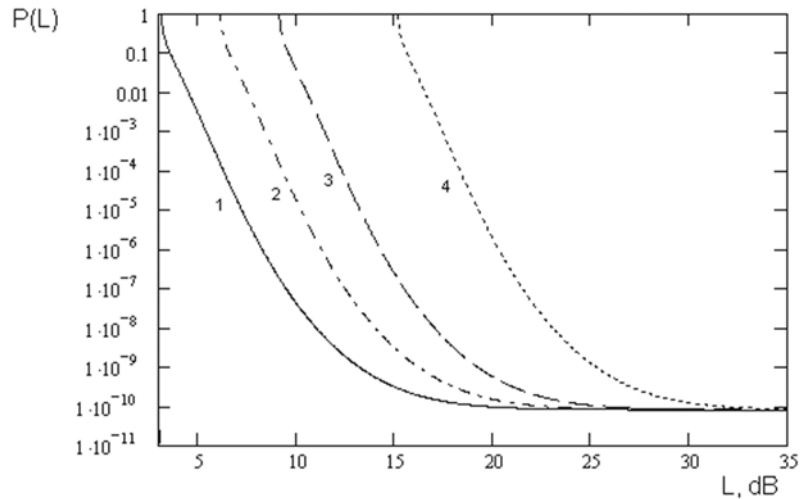


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки  $P_{\text{ош}}$  от величины переходного затухания  $L$ :  
 1 — для одного; 2 — для двух; 3 — для четырех; 4 — для шестнадцати мультиплексоров

### Результаты и их обсуждение

Как видно из рис. 2, величина вероятности ошибки для двух мультиплексоров (что характерно для соединения "точка-точка") после 22 дБ принимает значение  $>10^{-10}$  (в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т G957). Если система DWDM используется в фотонных сетях, которые предполагают использование большего количества мультиплексоров-демультиплексоров ввода-вывода для оптической коммутации и маршрутизации, то требования к этим устройствам более жесткие. Так, например, если маршрутный путь состоит из четырех мультиплексоров-демультиплексоров, то переходное затухание должно составлять 25 дБ, если из 16, то уже 31 дБ. После 40 дБ переходного затухания вероятность ошибки остается неизменной и не зависит от влияния соседних каналов практически для любого количества мультиплексоров. Это позволяет сделать вывод о том, что это значение затухания достаточно для качественной передачи сигнала для любого маршрута оптической фотонной сети.

# ESTIMATION OF INFLUENCE OF CROSSTALK IN OPTICAL FIBRE SYSTEMS OF TRANSFER WITH SPECTRAL DIVISION OF CHANNELS

V.N. URYADOV, J.B. STUNKUS

## Abstract

The analysis of value of probability of a mistake is made at reception of an optical signal in view of influence of the next spectral channels. It is supposed, that value of influence depends on characteristics and also from quantity of the optical multiplexers, which have been switched on in an optical path.

## Литература

1. *Скляр О.К.* Волоконно-оптические сети и системы связи. М., 2004.
2. *Алиев Я.В., Урядов В.Н., Соборова И.Г., Синкевич В.И.* "Эффективность адаптивной компенсации переходных помех в ВОСП с поляризационным разделением каналов". Радиотехника и электроника. Минск, 1991. С. 20–23.
3. *Pastor D., Munoz P., Capmany J.* // J. of lightwave technology. 2002. Vol. 20, № 4.
4. *Алиев Я.В., Урядов В.Н.* Перспективные информационные технологии в волоконно-оптических сетях телекоммуникаций. Минск, 2003.