

- transmission over 1000 km of standard fiber // Electronics Letters. V. 36, No. 23, 2000. – P. 1949-1951.
13. Патент RU 2435183 C1. Способ реконструкции и увеличения пропускной способности волоконно-оптической линии передачи / Бурдин В.А., Волков К.А., 11.05.2010.
14. Mishra M., Konar S. Interaction of Solitons in a Dispersion Managed Optical Communication System with Asymmetric Dispersion Map // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. Vol. 21, No. 14, 2007. – P. 2049-2058.
15. Hasegawa A. Massive WDM and TDM Soliton Transmission Systems. Springer, 2000, – 452 p.
16. Fatome J., Fortier C. e.a. Practical design rules for single-channel ultra high-speed dense dispersion management telecommunication systems // Optics Communications. V. 282, No. 7, 2009. – P. 1427-1434.
17. Mamyshev P.V., Mamysheva N.A. Pulse-overlapped dispersion-managed data transmission and intrachannel four-wave mixing // Optics Letters. Vol. 24, No. 21, 1999. – P. 1454-1456.

TRANSMISSION OF RADIO-OVER-FIBER SIGNAL OVER FIBER OPTICAL LINE IN DENSE DISPERSION MANAGEMENT REGIME

Arbuzova E.Y., Volkova K.A., Volkov K.A., Dashkov M.V., Kokurina O.E.

In this paper the application of dense dispersion management regime for Radio-over-Fiber (RoF) systems was proposed. The influence of the dispersion map parameters on RoF signal quality was investigated.

Keywords: radio over fiber, dense dispersion managed solitons, dispersion map, Q-factor.

Арбузова Евгения Юрьевна, магистр Кафедры «Телевидение и мультимедийные системы» (ТВМС) Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева (КАИ). Тел. 8-952-044-38-11. E-mail: evgeniya.arbuzova.91@mail.ru

Волкова Ксения Александровна, аспирант Кафедры «Линии связи и измерения в технике связи» (ЛС и ИТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8 (846) 228-00-66. E-mail: ksan_4ik@mail.ru

Волков Кирилл Александрович, ассистент Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: volkov_ka_lsits@mail.ru

Дашков Михаил Викторович, к.т.н., доцент Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: mvd.srttc@gmail.com

Кокурина Ольга Евгеньевна, магистр Кафедры ТВМС КАИ. Тел. 8-900-327-04-25. E-mail: olga.kokurina@list.ru

УДК 681.128.56

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ С КВАЗИСОЛИТОНОВЫМ РЕЖИМОМ ПЕРЕДАЧИ

Виноградова И.Л., Кашибиев А.А., Султанов А.Х.

Статья посвящена моделированию конструктивных параметров интерференционного преобразователя. Функционирование устройства основано на применении многолучевого интерферометра, образованного торцами центрального смесительного элемента. Кроме этого, если выполнить смеситель из легированного эрбием материала, устройство обеспечит усиление выходного сигнала. Выполнена оценка коэффициента отражения зеркал интерферометра и его геометрических параметров. Устройство обеспечивает также избирательность для спектральных составляющих входного излучения, что позволяет управлять чирпом оптического излучения.

Ключевые слова: оптические системы передачи, многолучевой интерферометр, эрбиевый усилитель, чирпирование, искажение цифрового сигнала.

Введение

Одно из направлений исследований в области развития телекоммуникационных систем предполагает разработку «умных» средств, обеспечивающих интеллектуализацию волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП), или, иными словами, управление информационным сигналом в результате использования оптических устройств ВОЛП. Становится

актуальным разработку и моделирование таких систем, обеспечивающих заданные дополнительные параметры сигнала, например, определенный уровень выходной мощности или chirпирование и т.д., наряду с очевидным требованием о минимальных вносимых искажениях. Безусловно, все это может решаться соответствующим набором компонентов (в ряде случаев – большим), но чем их больше, тем больше и уровень отраженного сигнала, не говоря уже о неизбежном повышении вносимых сопутствующих искажений. Следовательно, представляет интерес создание волоконно-оптических компонентов ВОЛП, выполняющих фактически сразу несколько функций преобразования оптического сигнала. При этом перспективным направлением является использование оптических эффектов и, соответственно, оптических сигналов управления (там, где это необходимо) без электронных средств.

Принцип построения конструкции устройства преобразования

Следует отметить, что разработка любого компонента ВОЛП не может обладать актуальностью в отрыве от решаемой телекоммуникационной задачи. Поэтому рассмотрим случай построения волоконно-оптической сети с топологией «точка-многоточка», но, в отличие от традиционных PON (Passive Optical Networks), пусть предполагается подключение удаленных (~ 100 км), возможно корпоративных, абонентов. Для этого необходим волоконно-оптический

разветвитель $1 \times N$, обеспечивающий, кроме равномерного разделения входного сигнала, уровень мощности в выходных оптических каналах не менее 0 дБм [1], достаточный для передачи к удаленному абоненту. Кроме того, учитывая, во-первых, существенное повышение битовых скоростей (до 1 ... 10 Гбит/с и далее) в системах абонентского доступа [2-3], во-вторых, активное внедрение средств компенсации хроматической дисперсии (ХД), основанных на использовании свойств сигнала и/или эффектов преобразования его на ВОЛП [4-5], пусть рассматриваемое устройство должно выполнять операцию преобразования chirпа, что обеспечит получение, например, отрицательного характера chirпирования излучения в выходных каналах. Действительно, это позволит не только получить требуемый бюджет мощности, но и снизить негативное влияние ХД на ВОЛП.

Возьмем за основу волоконно-оптический разветвитель $N \times N$ со смесительным элементом [6], см. рис. 1а. В отличие от разветвителей, получаемых в результате скалывания торцов оптических волокон (ОВ) и соответствующего их углового соединения [7], рассматриваемое устройство обеспечивает весьма равномерное разделение входного излучения в выходные каналы для их количества до 150 [6], а использование смесителя с зауженной областью и специальным (рассчитываемым, не обязательно сферическим (несферические профили могут быть удобнее для подключения ОВ с учетом возможного различия их свойств), зависящем от профиля показателя пре-

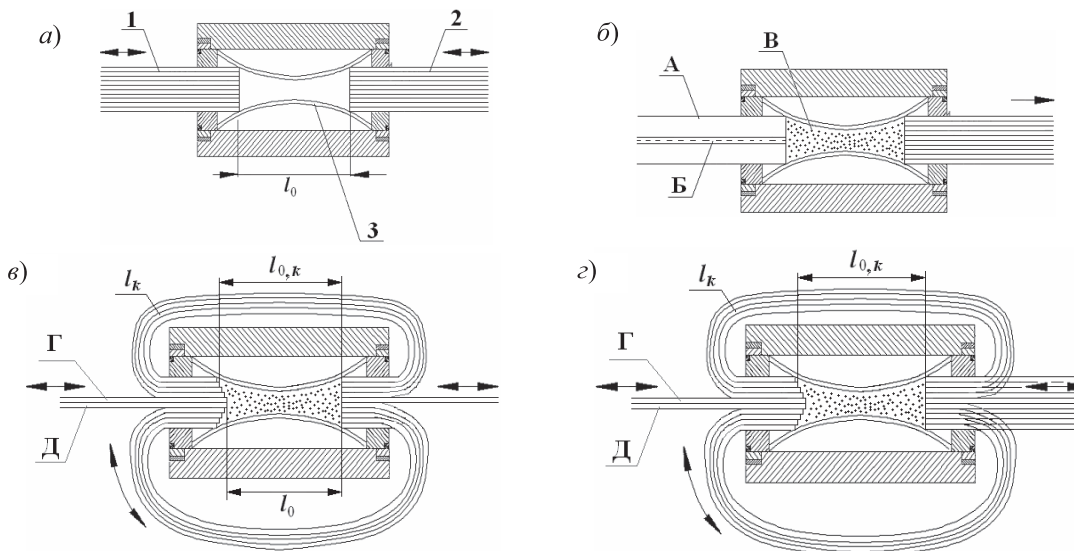


Рис. 1. Волоконно-оптическое устройство преобразования со смесительным элементом; а – разветвитель $N \times N$ со смесителем: 1 и 2 – входные/выходные световодные каналы, 3 – профиль смесителя; б – разветвитель $1 \times N$ со смесителем: А – область подачи излучения накачки для эрбиевой среды; Б – информационного сигнала; В – область легирования; в и г – устройства преобразования, содержащие дополнительные световодные каналы: Г – канал для подачи информационного излучения; Д – для подачи накачки (в общем случае каналы Г и Д могут быть основаны на ОВ различных типов); в – передача вида 1×1 и г – вида $1 \times N$, обеспечивающий преобразование и разделение сигнала

ломления световодных каналов [8], см. элемент 3 на рис. 1а) профилем позволяет обеспечить одномодовый характер передачи.

В данном случае заменим N входных однопольных каналов на два канала – один для подачи излучения накачки (см. А на рис. 1б), а другой – информационного сигнала (см. там же Б). При этом смеситель следует выполнять из материала, легированного редкоземельными элементами, например эрбием, – для передачи в области третьего окна прозрачности ОВ.

Входные каналы могут быть основаны, например, на многомодовом и одномодовом световодах соответственно, либо – на многослойном ОВ [9], сердцевинная область которого служит для передачи информационного сигнала, а внешняя часть – накачки. Безусловно, интерферометр Фабри-Перо (ИФП) в составе устройств по рис. 1а и 1б, образованный торцами входных и выходных световодных каналов с расстоянием между ними l_0 , должен быть настроен на максимум передачи центральной длины волны сигнала λ_0 , то есть $l_0 = m_0 \frac{\lambda_0}{n}$, где m_0 – порядок интерференционной картины; n – показатель преломления материала смесителя. Пусть n является неизменным для всего объема смесителя и равным показателю преломления сердцевины световодов, задействованных в устройстве (например, типа SMF-28).

Заметим, что наличие эрбиевой среды уже в некоторой степени приведет к положительному смещению чирпа входного излучения – ввиду «включения» эффекта нелинейного преломления. Но для того, чтобы усилить эффект положительного чирпирования, введем в состав устройства дополнительные световодные каналы, рис. 1в и 1г, обеспечивающие как интерференционную задержку коротковолновых, то есть «синих», составляющих излучения относительно длинноволновых, то есть «красных», при соответствующем подборе параметров устройства, так и повышение контрастности интерференционной картины в целом для сравнительно небольших значений коэффициента отражения зеркал ИФП $\rho \approx 0,1 \dots 0,4$ [10]. Последнее представляет главное условие ($\rho \leq 0,4$) невнесения интерференционных искажений в передаваемый сигнал [11].

Расположение дополнительных световодных каналов в смесителе (например, на входном торце, см. рис. 1в и 1г) выполним с небольшим сдвигом таким образом, чтобы расстояния между

торцами соответствующего дополнительного световода длиной l_k равнялось бы $l_{0,k}$. Это обеспечит спектральную избирательность для полос $\Delta\lambda_k$ с центральными длинами волн λ_k при $l_{0,k} = m_0 \frac{\lambda_k}{n}$, на которые можно разбить суммарную спектральную ширину $\Delta\lambda_0$ (с учетом чирпирования) входного излучения. А разницу набега фаз для указанных спектральных составляющих λ_k относительно $\lambda_{k\pm 1}$ и т.д. будут обеспечивать разные по длине дополнительные световодные каналы, для «красных» – покороче, а для «синих» – подлиннее. Отличие $l_{0,k-1}$ и $l_{0,k}$ должно оставаться малым и составлять, например, для чирпированного входного излучения с суммарным различием в $\Delta\lambda_0 \cong 0,05$ нм (с параметром чирпирования $C_\omega \approx -1$ [12]), порядка 0,005 нм для $K = 30$, что обеспечит единый для всего устройства порядок интерференции m и может быть реализовано, в частности, соответствующей огранкой пучка входных световодных каналов. Различие в длинах для l_{k-1} и l_k и будет определять задержку соответствующей спектральной составляющей и в конечном итоге – чирпирование выходного излучения.

Оценка коэффициента отражения зеркал интерферометра

Для того, чтобы выполнить моделирование процесса преобразования информационного сигнала в рассматриваемом устройстве и исходя из получаемого результата определить рекомендуемые его конструктивные параметры, необходимо, главным образом, задать коэффициент отражения зеркал ИФП ρ . Оценим данный параметр из следующего соображения. В устройстве предполагается использовать эрбиевую среду, которая, как известно, при накачке на длине волны 980 нм имеет провал усиления в области 1540 ... 1545 нм [13], что вполне может привести к деградации передаваемых там каналов. Чтобы скомпенсировать провал, подберем рабочую точку ИФП, определяемую через ρ , таким образом, чтобы максимум передаточной функции ИФП приблизительно совпадал с минимумом передаточной функции эрбиевой среды, то есть находился в пределах 1540 ... 1545 нм, см. рис. 2. Приблизительное совпадение связано с тем, что передаточная функция ИФП симметрична относительно максимума, а зависимость коэффициента усиления эрбиевой среды от длины волны – несимметрична.

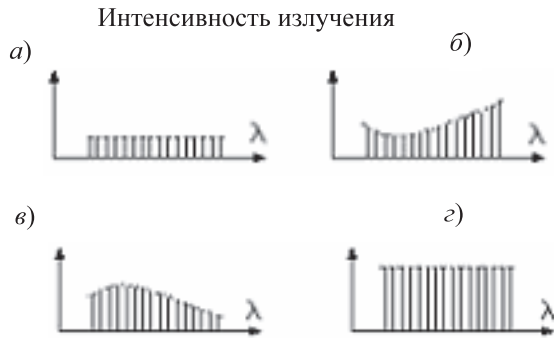


Рис. 2. Многоканальный информационный сигнал: а – поступающий на вход устройства; б – сигнал на входе в ИФП; в – сигнал на выходе ИФП; з – сигнал на выходе устройства

Таким образом, длина волны, на которой наступает максимум передаточной функции ИФП $\lambda_{\max} = 1540$ нм, для нее интенсивность излучения на выходе ИФП $I_{\max} = 1$ отн. ед. При изменении длины волны на $\Delta\lambda$ интенсивность излучения на выходе ИФП изменится на ΔI . Пусть для спектральной границы многоканального сигнала $\Delta\lambda = 1550$ нм – 1540 нм = 10 нм. В соответствии с выражением для передаточной функции ИФП [14] запишем

$$1 = \frac{1}{1 + H \cdot \sin^2\left(\frac{2\pi n \cdot l_0}{\lambda_{\max}}\right)}; \quad (1)$$

$$1 - \Delta I = \frac{1}{1 + H \cdot \sin^2\left(\frac{2\pi n \cdot l_0}{\lambda_{\max} + \Delta\lambda}\right)},$$

где $H = \frac{4\rho}{(1-\rho)^2}$. Соотношение между l_0 и порядком интерференции m_1 дает:

$$\frac{2\pi n \cdot l_0}{\lambda_{\max}} = \frac{\pi}{2} \cdot m_1. \quad (2)$$

Из (1) получаем

$$1 - \Delta I = \frac{1}{1 + H \cdot \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot \lambda_{\max}}{\lambda_{\max} + \Delta\lambda}\right)}$$

или относительно H :

$$H = \frac{\Delta I}{1 - \Delta I} \sin^{-2}\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot \lambda_{\max}}{\lambda_{\max} + \Delta\lambda}\right).$$

Из-за того, что ИФП оказывает влияние также и на излучение накачки, желательно, чтобы интерферометр был настроен на максимум передаточной функции и на длине волны

$\lambda_{pump} = 980$ нм, поэтому, принимая во внимание (2), запишем

$$l_0 \cong \frac{\lambda_{\max} \cdot m_1}{4n} = \frac{\lambda_{pump} \cdot m_2}{4n}. \quad (3)$$

Очевидно, что соотношение целочисленных параметров m_1 и m_2 должно приблизительно соответствовать соотношению λ_{\max} и λ_{pump} . Так как числа 1540 и 980 соотносятся, как 11:7, необходимо выполнить условие

$$m_1 : m_2 = 7 : 11. \quad (4)$$

Пусть значение ΔI , которое должно соответствовать в относительных единицах перепаду характеристик усиления легированной среды, рис. 2б и 2в, равно $\Delta I \cong 0,87I$; что соответствует усилению линейного EDFA – в 9,5 дБм [13]. С учетом этого коэффициент ρ может быть найден в результате решения системы уравнений

$$\frac{4\rho}{(1-\rho)^2} = \frac{\Delta I}{1-\Delta I} \sin^{-2}\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot \lambda_{\max}}{\lambda_{\max} + \Delta\lambda}\right); \quad (5)$$

$$\frac{\lambda_{\max} \cdot m_2}{4n} \cdot \frac{\pi\sqrt{\rho}}{1-\rho} \cong l_0.$$

Исходя из соображений о реальности параметров конструкции ИФП, а также в соответствии с (4) получено, что при $n = 1,48$ и $m_1 = 4 \cdot 10^3$ (для $l_0 \approx 4,527$ мм и $m_2 \approx 6313$) коэффициент $\rho \approx 0,337$. В этом случае эффективное число интерферирующих лучей [14] (число переотражений) в интерферометре составляет 12,358; откуда следует, что $N_e = 12 \dots 13$.

Модель процесса преобразования в интерферометре

Приблизительно оценив такие конструктивные параметры устройства, как ρ , n , K , l_0 , определяющей m для λ_0 , необходимо рассчитать длины дополнительных световодов l_k (либо среднееарифметическое значение $l_{k,cp}$), а также определить ожидаемую величину относительного смещения спектральных компонентов выходного излучения. Очевидно, что критерием применимости рассматриваемого преобразователя на ВОЛП служит ограничение по вносимым искажениям в передаваемый сигнал. Ввиду того, что в настоящее время подавляющее большинство систем передачи работают с сигналами «меандрового» типа [1], считывание которых производится по уровню амплитудного значения и длительности тактового интервала на основании заданной глаз-диаграммы [15], то опасными искажениями будем считать следующие:

- появление многопикового характера формы выходного импульса (под формой импульса следует понимать огибающую его оптической мощности [12]), что связано с интерференционными явлениями в устройстве;

- снижение амплитуды импульса,
- увеличение его длительности.

Первая категория искажений наиболее опасна, так как при длительности пика порядка некоторого τ_{resh} он может быть принят решающим устройством за отдельный импульс, что приведет к росту битовых ошибок. Общее снижение амплитуды импульса может быть вызвано отражением от устройства, причем величина $\Delta I_{\text{отр}}$ тем больше, чем дальше λ_0 отстоит от λ_{max} . В рассматриваемом случае, принимая во внимание (1), а $\lambda_0 = 1550$ нм, $\lambda_{\text{max}} = 1540$ нм и пояснения к (5), получаем $\Delta I_{\text{отр}} \leq 0,043$ отн. ед., что допустимо на ВОЛП [1; 15]. Искажение третьего типа может, опять-таки, быть связано с изменением формы импульса, в частности, из-за перестройки и возможной задержки спектральных составляющих (амплитуды которых в общем случае различны) под действием интерференции. Дисперсионными и нелинейными эффектами пренебрегаем вследствие очевидного недостижения их эффективных длин [12] для полученных l_0 и N_c и реальных физических свойств материала устройства.

Для приближенной оценки степени искажений формы выходного импульса запишем и решим систему уравнений (6) для продольных комплекснозначных составляющих \tilde{A}_f и \tilde{A}_b электрической напряженности поля световой волны в смесителе, переносящих импульс [12]. Здесь \tilde{A}_f – Фурье-образ суммарной амплитуды составляющих поля, распространяющихся по направлению от первого зеркала ИФП ко второму, рис. 3, и \tilde{A}_b – наоборот:

$$\sum_{N=1}^{N_c} \frac{\partial \tilde{A}_f^{(N)}}{\partial z} = j \sum_{N=1}^{N_c} \sum_{k=1}^K \left((\beta(\omega) - \beta_k) \cdot \tilde{A}_f^{(k,N)} + \rho \cdot |\tilde{A}_b^{(k,N)}| + \frac{\Gamma}{2} \cdot \tilde{A}_f^{(N)} \right);$$

$$-\sum_{N=1}^{N_c} \frac{\partial \tilde{A}_b^{(N)}}{\partial z} = j \sum_{N=1}^{N_c} \sum_{k=1}^K \left((\beta(\omega) - \beta_k) \cdot \tilde{A}_b^{(k,N)} + \rho \cdot |\tilde{A}_f^{(k,N)}| + \frac{\Gamma}{2} \cdot \tilde{A}_b^{(N)} \right), \quad (6)$$

где Γ – коэффициент усиления эрбиевой среды; $\beta(\omega)$ – параметр распространения направляемой моды: $\beta(\omega) = n(\omega) \cdot \frac{2\pi}{\lambda_0}$; $\beta_k = \pi/nl_k$. Система (6) составлена при допущении пренебрежения интерференционными эффектами внутри дополнительных световодов (интерференция происходит только внутри смесителя) и потерь при прохождении излучения в устройстве и на зеркалах.

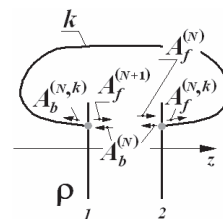


Рис. 3. Иллюстрация прохождения волны с амплитудными составляющими $A_f^{(N)}$ и $A_b^{(N)}$ через зеркальные торцы смесителя в k -ый дополнительный канал

Кроме того, между представленными на рис. 3 величинами справедливы следующие алгебраические соотношения:

$$A_b^{(N)} + A_f^{(N,k)} = A_f^{(N)}; \quad \frac{A_b^{(N)}}{A_f^{(N)}} = \rho;$$

$$A_b^{(N,k)} + A_f^{(N+1)} = A_b^{(N)}.$$

Результаты моделирования

Решение уравнений (6) совместно с (7) методом численного интегрирования на базе программного пакета Synplify 8.1 выполнялось для трех видов начальных условий, характеризующих входной импульс:

$$A_1(0, T) = A_0 \exp \left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{2\ell} \right);$$

$$A_2(0, T) = A_0 \exp \left(-\frac{1 + jC_\omega}{2} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{2\ell} \right); \quad (8)$$

$$A_3(0, T) = A_0 \exp \left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{2\ell} \right) \cdot \exp \left(j \frac{C_\omega}{2} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{2\ell-1} + j\omega_q T \right),$$

где A_0 и T_0 – пиковая амплитуда и параметр, определяющий начальную длительность входного импульса, рис. 4; C_ω – параметр chirпирования [12], определяющий величину и направление смещения мгновенной частоты; T – время в системе отсчета, связанной с импульсом [12]; ℓ – целочисленный параметр, характеризующий крутизну фронта; и ω_q – круговая частота излучения, на которой передается центральная часть входного импульса, рис. 4.

«Супергауссова» форма $A_1(0, T)$ представляет собой нечирпированный входной импульс; $A_2(0, T)$ – обладает несимметричным смещением частоты на протяжении длительности импульса [12]. Предлагаемая форма $A_3(0, T)$ отражает характерные черты импульсов «ме-

андрового» типа, традиционно генерируемых в результате модуляции тока накачки полупроводникового лазера в широко применяемых SFP-модулях [15-18]. Фронты именно таких импульсов, как правило, содержат характерное смещение частоты, рис. 4, а выбор $\ell \cong 4$ обеспечивает приблизительное соответствие формы $A_3(0, T)$ маске линейного сигнала интерфейса 10 Гбит/с, достаточное для выполняемых оценок.

Учитывая введенные в рассмотрение виды искажений, связанные главным образом с интерференционной многопиковой структурой выходного импульса, а также для упрощения вычислительных процедур поиск производился не выходной формы целиком, а лишь точек с номерами M_i , для которых выполнялось $\frac{dA}{dt} = 0$. Очевидно, что общее число пиков равно $M_\Sigma = \sum M_i - 1$. Далее выполнялось определение длительностей ΔT_i между точками M_i и M_{i+1} , характеризующих ширину пиков; после чего находилось ΔT_{\max} и среднееарифметическое $\Delta T_{\text{ср}}$. С точки зрения работы решающего устройства – чем более коротким (узким) является пик, тем он безопаснее в смысле нарушения работы приема. И наоборот, при $\Delta T_i \rightarrow \tau_{\text{реш}}$ вероятность ошибки считывания бита возрастает.

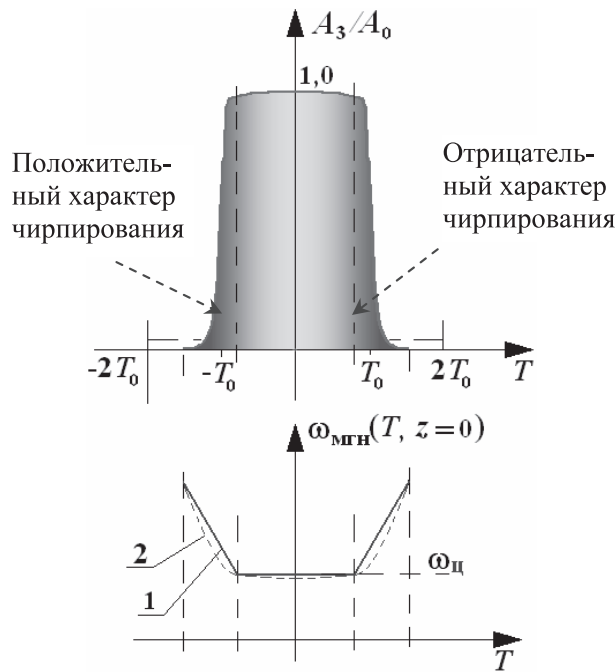


Рис. 4. Вид входного импульса (8) при $\ell = 4$, содержащего chirpированные фронты: 1 – линейное изменение мгновенной частоты $\omega_{\text{мгн}}$, соответствующее реальной физической системе; 2 – получаемое из (8) изменение частоты ω

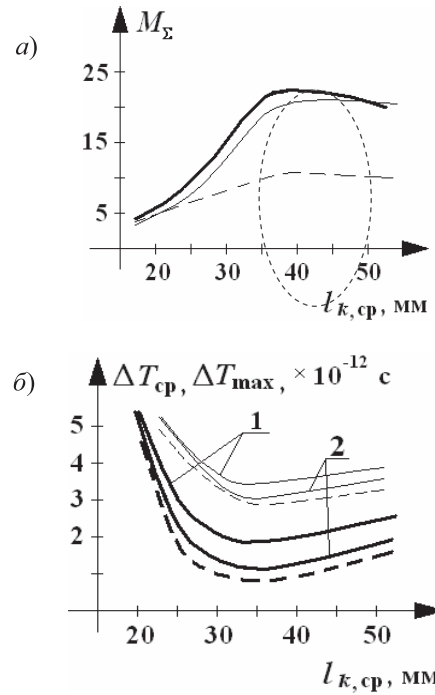


Рис. 5. Зависимости параметров искажений от среднееарифметического значения длин дополнительных световодов: а – пунктирные кривые построены для A_1 , тонкие – для A_2 , жирные – для A_3 ; б – тонкие кривые характеризуют ΔT_{\max} , жирные – $\Delta T_{\text{ср}}$; пунктирные кривые построены для A_1 ; 1 – A_2 и 2 – A_3

На рис. 5 представлены результаты расчета, характеризующие искажения. Определена область оптимальных значений $l_{k,\text{ср}}$ с точки зрения меньшего нарушения работы приема – обведена замкнутой линией на рис. 5, а. Несмотря на увеличение количества пиков в данной области, они являются весьма узкими, оставаясь в среднем короче $\sim 3 \cdot 10^{-12}$ с; пик максимальной длительности соответствует центральной части импульса. Если принять, что для передачи 10 Гбит/с значение $\tau_{\text{реш}} \approx 4 \cdot 10^{-11}$ (см глаз-диаграммы в [15]), то, согласно [7], возможные искажения длительности тактового интервала на величину $\varepsilon \leq 0,1 \cdot \tau_{\text{реш}}$ являются допустимыми. Увеличение ΔT_{\max} и $\Delta T_{\text{ср}}$ с ростом $l_{k,\text{ср}}$ свыше 40 мм, по-видимому, связано со снижением когерентности интерферирующих лучей и смазыванием интерференционной картины в целом. Расчет разности фаз $\Delta\phi$ спектральных составляющих, соответствующих краям спектрального диапазона выходного импульса, выполнен для A_1, A_2 и A_3 , рис. 6. Установлено, что для больших $l_{k,\text{ср}}$ из выбранного диапазона $\Delta\phi$ практически линейно растет и слабо зависит от коэффициента отражения ρ для всех видов рассматриваемых форм. Для меньших

значений $l_{k,ср}$ существенное оказывают влияние свойства смесителя, см. графики 1-3 на рис. 6, а также начальные условия, характеризующие свойства входного излучения.

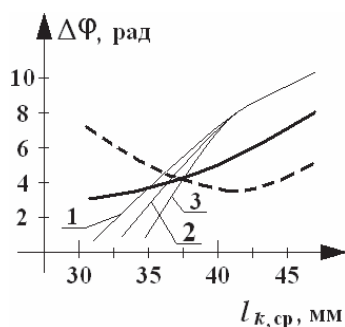


Рис. 6. Зависимости для разности фаз спектральных составляющих: тонкие кривые построены для A_1 : 1 – построена для $\rho = 0,3$, 2 – для $\rho = 0,35$ и 3 – для $\rho = 0,4$; штриховая кривая соответствует A_2 и утолщенная кривая – A_3

Расчет проведен для $T_0 = 2,5 \cdot 10^{-11}$ с, что соответствует скорости передачи в 10 Гбит/с при кодировании с возвратом к нулю. Значение $\omega_{\text{ц}}$ было выбрано равным $12,15 \cdot 10^{14}$ рад/с исходя из $\lambda_0 = 1550$ нм; параметр C_{ω} , входящий в A_2 и A_3 , равнялся -1 . Учитывая, что входной сигнал на реальных ВОЛП, вероятнее всего, будет содержать отрицательное chirpирование, а также приняты во внимание параметры искажений, предлагается $l_{k,ср}$ выбирать в диапазоне 40...43 мм. Значение $l_{k,ср}$ должно быть достаточным для «перевода» отрицательного характера chirpирования в положительное, но еще не приводить к искажению сигнала и ухудшению качества приема.

Выводы

Предложена конструкция волоконно-оптического интерференционного устройства преобразования параметров оптического сигнала. Действие указанного устройства основано на использовании многолучевой интерференции в двухрезонаторном интерферометре, обладающем существенной избирательностью к спектральным составляющим входного излучения. Предложено также смеситель, являющийся центральной частью устройства, выполнять из материала, легированного редкоземельным элементом, например эрбием, для повышения мощности выходного сигнала.

Выполнена оценка основных конструктивных параметров устройства. Предложено коэффициент отражения зеркал интерферометра, образованного торцами смесителя, выбрать из условия взаимной компенсации передаточной функции

ИФП и характеристики усиления легированной среды. Среднее значение длины дополнительных световодов также предложено выбрать исходя из свойств сигнала – при условии минимизации нарушений приема. Проведено моделирование процесса преобразования входного импульса, представленного одной из выбранных супергауссовых форм, в устройстве. Это позволило определить диапазон значений средней длины $l_{k,ср}$ дополнительных световодов.

Предложенное устройство может представлять интерес при построении разветвленных волоконно-оптических сетей с топологической структурой «точка - многоточка», обслуживающих удаленных абонентов.

Литература

1. Рекомендация отрасли ITU-T G.709/Y.1331. Оптические интерфейсы транспортной сети OTN. Интернациональное телекоммуникационное общество. 2009. – 15 с.
2. В группе стандартов IEEE 802.3 ведется разработка требований к оптическим интерфейсам со скоростью, превышающей 10 Гбит/с. Сети и телекоммуникации // http://www.seti-ua.com/?in=seti_show_article&seti_art_ID=351&by_id=2&_CATEGORY=14
3. Полунин А. С. Гигабиты в пассивных оптических сетях // <http://www.linkc.ru/index.php/seti-dostupa/233-passivnye-opticheskie-seti-pon-gigabitnye-tehnologii-i-novoe-pokolenie-oborudovaniya>
4. Electronic Dispersion Compensation for 10 Gb/s, 1550nm Optical Links // <http://www.oif/products/Product.omn=165>
5. Бурдин В.А., Дашков М.В., Волков К.А. Влияние параметров схемы компенсации хроматической дисперсии на работу волоконно-оптической линии передачи // Оптический журнал. № 2, 2011. – С. 80-81.
6. А.с. СССР № 1697035. Волоконно-оптический разветвитель // Тухватуллин Р.А., Виноградова Л.Е., Ржевский С.П., Виноградова И.Л. Оpubл. БИ № 45, 1991.
7. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. М.: Компания Сайрус-Системс, 1999. – 670 с.
8. Султанов А.Х., Виноградова И.Л., Салихов А.И. Подход к комплексному моделированию профилированного интерферометра типа Фабри-Перо, обеспечивающего переключение оптических сигналов // Вестник УГАТУ. Сер. Управление, информатика и вычислительная техника. №1, 2009. – С. 172-179.

9. Султанов А.Х., Виноградова И.Л., Салихов А.И. Стыковка разнотипных волокон при дистанционной доставке сигнала накачки EDFA-усилителя // ИКТ. Т.4, №2, 2006. – С. 38-42.
10. Виноградова И.Л. Характеристики двухрезонаторного интерферометра Фабри-Перо // Радиотехника. №6, 2002. – С. 33-37.
11. Султанов А.Х., Усманов А.Г., Шарифгалиев И.А., Виноградова И.Л. Волоконно-оптические системы передачи: вопросы оценки работоспособности. М.: Радио и связь, 2005. – 372 с.
12. Agrawal G.P. Nonlinear fiber optics. Boston: Academic Press, 2001. – 466 p.
13. Жирард А. Компоненты системы DWDM: оптические усилители EDFA. EXFO, 2001. – 381 с.
14. Матвеев А.Н. Оптика. М.: Высшая школа, 1985. – 351 с.
15. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 416 с.
16. Гауэр Дж. Оптические системы связи: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1989. - 504 с.
17. Pluggable Optical Modules: Transceivers for the Cisco ONS Family // http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/optical/ps5724/ps2006/brochure_c02-452560.html#wp9004360
18. Ржевский С.П. Интерференционные волоконно-оптические устройства вычислительной техники и систем управления. Дис. к.т.н. Уфа, УГАТУ, 1989. – 197 с.

MULTIFUNCTIONAL COMPONENT FOR FIBER-OPTICAL COMMUNICATION WITH TRANSFER OF SOLITONS

Vinogradova I.L., Kashbiev A.A., Sultanov A.H.

The article is devoted to modeling of the interferential converter design data. The functioning of the device is based on application multibeam interferometer, formed by end faces of a central amalgamation element. Besides, if to execute the amalgamator from an erbium doped material, the device will supply amplification a target signal. The estimation of factor of interferometer mirrors reflection and its geometrical parameters is executed. The device provides also selectivity for spectral components of entrance radiation, that allows to operate of optical radiation chirp.

Keywords: optical transfer systems, multi-beam interferometer, erbium doped amplifier, chirp of signal radiation, distortion of a digital signal.

Виноградова Ирина Леонидовна, д.т.н., профессор Кафедры «Телекоммуникационные системы» (ТС) Уфимского государственного авиационного технического университета (УГАТУ). Тел.: (8-347) 272-43-84. E-mail: tks@ugatu.ac.ru.

Кашбиев Айдар Аглямич, технический специалист ОАО «ACTIVE TELECOM». Тел. (8-347) 250-21-51. E-mail: kashbiev@activetelecom.ru

Султанов Альберт Ханович, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой ТС УГАТУ. Тел. (8-347) 273-06-89. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

УДК 004.75

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ

Бахарева Н.Ф., Коннов А.Л., Тарасов В.Н., Ушаков Ю.А

В статье представлены результаты исследований проблемы обеспечения требуемых параметров производительности и качества обслуживания в перспективном сегменте программно-конфигурируемых сетей. Даны общие положения относительно реализации QoS в коммутаторах различных производителей, обоснованы и предложены решения на основе особенностей реализации протокола OpenFlow версии 1.0

Ключевые слова: Quality of Service (QoS), центр обработки данных (ЦОД), программно-конфигурируемые сети, протокол OpenFlow.

Введение

Основа реализации качества обслуживания (Quality of Service, QoS) базируется на контроле входа и выхода пакета из устройства. Какая единица данных при этом используется – поток или пакет, – не имеет значения, основа реализации QoS сводится к определению приоритетов конкретных пакетов. Контроль над прохождением пакетов через сеть доступен только в пределах центра обработки данных (ЦОД), за пределами