

А.В. Жуковский, А.В. Поляков

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В ВОЛОКОННОМ СВЕТОВОДЕ НА ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ DWDM-ТЕХНОЛОГИИ

Волоконно-оптические информационные системы (ВОИС) занимают доминирующее положение среди устройств, предназначенных для высокоскоростной передачи и обработки потоков данных. В настоящее время актуальной является задача промежуточного хранения оптической информации в цифровом и аналоговом виде, например, поступающей с аэрокосмических носителей при лазерно-локационном зондировании, для последующего ввода этой информации в вычислительные структуры, в частности, в вычислительный канал суперкомпьютера «СКИФ К1000-2». Существующие в настоящее время интерфейсы электронных компьютеров не позволяют осуществлять непосредственный ввод данных субнаносекундного диапазона. Для этих целей разрабатываются специализированные быстродействующие буферные запоминающие устройства, позволяющие избежать потерь оптической информации при ее последующей обработке.

Основным способом повышения пропускной способности оптоволоконных информационных каналов является технология плотного спектрального (частотного) мультиплексирования (уплотнения) каналов с разделением по длинам волн, получившей название *DWDM*-технологии (dense wavelength division multiplexing). Экономичность *DWDM*-систем с большой суммарной скоростью передачи данных в значительной степени зависит от эффективности использования рабочего спектра для передачи информации, от увеличения так называемой спектральной эффективности. Сделать это можно двумя путями: уменьшить спектральный интервал между каналами и увеличить канальную скорость V (что связано с уменьшением тактового интервала и, соответственно, длительностью информационных импульсов).

До тех пор, пока оптическая мощность в волоконном световоде (ВС) невелика (несколько мВт), волокно может считаться линейной средой, то есть потери и показатель преломления волокна не зависят от мощности сигнала. Однако внедрение технологии спектрального

уплотнения *WDM/DWDM*, которая ведет к значительному возрастанию вводимой в ВС мощности, а также повышение скорости передачи до 10 Гбит/с и выше требует учета нелинейных эффектов в ВС при исследовании ВОИС.

Одним из основных компонентов ВОИС является волоконно-оптическое динамическое запоминающее устройство (ВОДЗУ) регенеративного типа, которое может использоваться в качестве быстродействующей динамической буферной памяти в оптических процессорах, оптоволоконных линиях связи; при исследовании быстропротекающих процессов для записи, хранения и обработке поступающих с большой скоростью информационных полей и т.п. Достоинством ВОДЗУ является то, что запись информационного потока в них осуществляется в реальном масштабе времени, а хранение данных в цифровой и аналоговой форме возможно в течение времени, необходимого для их последующей обработки. Кроме того, в таких оптоволоконных системах существует возможность организации по одному световоду одновременно нескольких информационных каналов, используя *DWDM*-технология.

Для минимизации влияния нелинейных эффектов были выбраны следующие параметры для волоконно-оптического запоминающего устройства. Применялась *DWDM*-технология с $k = 8, 16, 32$ информационными каналами, имевшими межканальный интервал 100 ГГц. В качестве линии задержки использовался комбинированный световод с коррекцией хроматической дисперсии, состоящий из 20 км стандартного одномодового волокна (дисперсия 16,5 пс/нм·км на $\lambda = 1550$ нм) и 5 км компенсирующего волокна (дисперсия минус 66 пс/нм·км на $\lambda = 1550$ нм), в результате чего средняя хроматическая дисперсия на всем участке волоконного световода составляла $D_{xp} = 0,05$ пс/нм·км. Поляризационная модовая дисперсия равнялась $D_{PMD} = 0,1$ пс/км^{1/2}, потери – $\alpha = 0,25$ дБ/км. В качестве источников излучения использовались лазеры, согласованные с отрезками волокна, на которых сформированы брэгговские решетки (DFB). Использование решеток позволяет гибко варьировать длину волны лазерной генерации в пределах контура усиления активной среды лазера, обеспечить стабильность генерации, уменьшить ширину лазерной линии, реализовать ее перестройку. DFB-лазеры обладали высокой температурной стабильностью и в окрестностях рабочей длины волны 1,55 мкм при прямой модуляции со скоростью более 10 Гбит/с, имели мощность излучения $P_0 = 2-4$ мВт на один спектральный канал и ширину линии генерации не более 0,01 нм. В этом случае

доминирующим нелинейным эффектом является фазовая автомодуляция (SPM).

Фазовая автомодуляция возникает вследствие того, что показатель преломления волокна содержит нелинейно-зависимую от интенсивности компоненту, которая вызывает смещение фазы, пропорциональное интенсивности импульса. По этой причине различные составляющие импульса претерпевают различные фазовые смещения, обуславливая изменение линейной частотной модуляции (ЛЧМ) импульсов вне зависимости от их формы. Изменение ЛЧМ импульсов в свою очередь приводит к увеличению их длительности из-за дисперсии. Таким образом, SPM модифицирует влияние дисперсии на расширение импульса. Так как этот эффект изменения ЛЧМ пропорционален мощности передаваемого сигнала, SPM более ощутим в системах, использующих высокие мощности передачи. Поэтому вызванные SPM изменение ЛЧМ оказывает влияние на расширение импульса вследствие дисперсии и в связи с этим должно учитываться в системах с высокими битовыми скоростями, которые уже обладают значительными ограничениями из-за дисперсии.

На основе разработанной математической модели проведено исследование динамики изменения длительности циркулирующих импульсов в волоконно-оптическом запоминающем устройстве в зависимости от числа спектральных каналов и скорости записи информации с учетом дисперсионных свойств ВС и фазовой автомодуляции. Установлено, что длительность информационных импульсов в процессе циркуляции вначале уменьшается, а затем увеличивается. Данный эффект объясняется следующим образом. Импульсы, излучаемые полупроводниковыми лазерами с непосредственной модуляцией, представляют собой частотно-модулированные импульсы. Поскольку для стандартного одномодового волокна для длин волн, больших 1,3 мкм параметр дисперсии групповой скорости меньше нуля и вызванное SPM изменение ЛЧМ положительно, то рециркулирующие импульсы сначала подвергаются сжатию, а затем расширению. Данный эффект увеличивается с увеличением передаваемой мощности (т.е. увеличением числа информационных каналов), поэтому наблюдается увеличение степени начального сжатия и скорости последующего расширения импульсов с увеличением передаваемой мощности.

Одним из критериев, по которым оцениваются информационные параметры ВОДЗУ, является условие $\tau/T_i \leq 0,6$, τ – длительность информационных импульсов на входе решающего устройства, T_i – величина тактового интервала. Тогда влиянием межсимвольных помех

можно пренебречь. Проведенные расчеты показали, что при использовании только амплитудной регенерации и компенсации дисперсии для $k = 32$ время хранения информации оценивается величинами $t_{xp1} = 62$ мс ($B = 2,5$ Гбит/с) и $t_{xp2} = 20$ мс ($B = 10$ Гбит/с); информационная емкость составляет $W_1 = 1,2$ Мб ($B = 2,5$ Гбит/с) и $W_2 = 4,8$ Мб ($B = 10$ Гбит/с), при этом время последовательного считывания всей информации не превышает 120 мкс. Дальнейшее увеличение времени хранения связано с использованием специальных методов оптической регенерации информационных импульсов по форме, длительности и временному положению.

В.А. Ковтун-Кужель¹, Р.А. Дынич², А.Н. Понявина²

¹УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», Гродно, Беларусь

²ГНУ «Институт физики имени Б.И. Степанова» НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ЛОКАЛИЗАЦИЯ И РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В УПОРЯДОЧЕННЫХ АНСАМБЛЯХ КОНЕЧНЫХ ЦИЛИНДРОВ

Распространение и рассеяние электромагнитного излучения в пространственно упорядоченных структурах представляет значительный интерес для актуальных задач фотоники и радиофизики. Среди таких структур перспективными являются упорядоченные системы одинаково ориентированных цилиндров конечной длины, которые будем дальше называть упорядоченными системами цилиндров (УСЦ). Например, известно, что нанопористые тонкие пленки с сотовой структурой, сформированные электрохимическим анодированием алюминия, обладают свойствами спектральной и угловой селективности [1,2]. Использование электродинамически связанных цилиндров конечной длины является также эффективным способом управления диаграммами направленности излучателей для терагерцевого и микроволнового диапазонов [3].

Наиболее важными причинами, вызывающими существенную трансформацию спектральных и угловых характеристик излучаемой радиации, являются многократное рассеяние и эффект усиления локальных полей. Выявление особенностей формирования внутренних полей способствует разработке способов управления спектральными и