

Информационные параметры оптоволоконных устройств хранения оптической информации

А. В. Поляков, К. С. Юдыцкая

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: polyakov@bsu.by

Проведен анализ способов улучшения информационных параметров волоконно-оптических динамических запоминающих устройств (ВОДЗУ). Показано, что применение вместо волоконного эрбиевого усилителя гибридного оптического усилителя, состоящего из рамановского и эрбиевого усилителя, позволяет увеличить время хранения в два раза при заданной вероятности ошибки. Использование широкополосного оптического усилителя на основе комбинации двуокиси циркония и плавленого кварца обеспечивает возрастание информационной емкости в два раза, однако приводит к уменьшению времени хранения в три раза.

Ключевые слова: волоконно-оптическое динамическое запоминающее устройство; время хранения; информационная емкость.

Information parameters of fiber optics devices for optical information storage

A. V. Polyakov, K. S. Yudytskaya

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: polyakov@bsu.by

An analysis of ways to improve the information parameters of fiber-optic dynamic storage devices (FODSD) has been carried out. It has been shown that using a hybrid optical amplifier consisting of a Raman and erbium amplifier instead of an erbium fiber amplifier allows the storage time to be doubled for a given error probability. The use of a broadband optical amplifier based on a combination of zirconium dioxide and fused silica ensures a twice increase in information capacity, but leads to a three times reduction in storage time.

Keywords: fiber-optic dynamic storage device; storage time; information capacity.

Введение

Современные тенденции развития телекоммуникационных систем, связанные с увеличением объема и скорости передаваемой информации в широкополосных системах обмена данными, привели к необходимости использования оптических каналов на основе оптоволоконных линий связи. Для того чтобы избежать потерь информации при высокоскоростной передаче данных необходимо применять специализированные быстродействующие буферные запоминающие устройства. Одним из перспективных направлений решения подобных задач является использование волоконно-оптических динамических запоминающих устройств (ВОДЗУ). Достоинством ВОДЗУ является то, что запись информационного потока в них осуществляется в реальном масштабе времени, а хранение данных возможно в течение времени, необходимого для их последующей обработки. Кроме того, в оптоволоконных системах существует возможность организации по одному световоду одновременно

нескольких информационных каналов, используя технологию плотного спектрального мультиплексирования.

Разработана [1] архитектура цифрового волоконно-оптического динамического запоминающего устройства со спектральным уплотнением информационных каналов. Отличительной особенностью данной структуры является следующее. Во-первых, использование комбинации стандартного одномодового волокна и волокна с отрицательной дисперсией позволило уменьшить результирующую хроматическую дисперсию более чем на два порядка. Во-вторых, применяются два волоконно-оптических эрбиевых усилителя, первый из которых является линейным усилителем и компенсирует потери в петле рециркуляции, а второй представляет собой выходной усилитель мощности и позволяет исключить использование электронных усилителей на выходе каждого фотоприемника. С целью увеличения времени хранения информации в оптическом диапазоне осуществлялась 2R-регенерация (re-amplifying+re-shaping) циркулирующих информационных сигналов с помощью нелинейного оптического кольцевого зеркала (НОКЗ). Это дает возможность работать с гигагерцовыми скоростями записи информационного потока и не осуществлять промежуточное периодическое преобразование сигналов из оптического диапазона в электрический и обратно.

1. Способ увеличения времени хранения

Вероятность ошибки, а значит и время хранения информации при заданной вероятности ошибки, зависит от значения отношения сигнал/шум в процессе рециркуляции. Математическая модель для расчета отношения сигнал/шум включает дробовые шумы лавинного фотодиода (ЛФД), флуктуации интенсивности излучения инжекционного лазера (ИЛ), тепловые шумы нагрузочного сопротивления фотоприемника, шумы на выходе линейного эрбиевого оптического усилителя EDFA1, усилителя мощности EDFA2, усилителя НОКЗ EDFA3, а также шумы, связанные с флуктуациями фототока, вызванными биениями между сигналом и усиленным спонтанным излучением. Коэффициент усиления EDFA1 должен компенсировать потери мощности излучения в волоконно-оптической петле на каждом цикле рециркуляции. Проведенный анализ показал, что основной вклад в отношение сигнал/шум вносят шумы линейного оптического усилителя EDFA1. Мощность шума, вносимого EDFA, состояла из линейно накапливавшейся на каждом цикле рециркуляции мощности усиленного спонтанного излучения, и шума, связанного с квантовыми флуктуациями. При сонаправленной накачке шум-фактор эрбиевого усилителя равнялся 3,7 дБ. Для уменьшения шум-фактора предложили использовать гибридный усилитель, представляющий собой комбинацию эрбиевого и распределенного рамановского усилителя встречной накачки, предназначенный для усиления сигналов в С-диапазоне сетки DWDM, при этом рамановский усилитель являлся первым каскадом усиления [2]. Поскольку шум-фактор рамановского усилителя значительно меньше, чем у эрбиевого усилителя, а как известно, результирующий шум гибридного усилителя в основном определяется шумами первого каскада усиления, основное преимущество гибридного усилителя заключается в существенном уменьшении уровня шума на приемной стороне. Проведенные эксперименты показали [2], что наилучшая равномерность усиления достигалась в рамановском усилителе при

использовании полупроводниковых лазеров накачки со стабилизацией длины волны брэгговской решеткой на длине волны 1452 нм с максимальной мощностью 300 мВт и на длине волны 1427 нм с максимальной мощностью 220 мВт. В этом случае шум-фактор (NF) гибридного усилителя уменьшался до 1,5–2 дБ, коэффициент усиления достигал 31 дБ. Относительный же недостаток – более значительная неравномерность спектра усиления по сравнению с обычным эрбиевым усилителем.

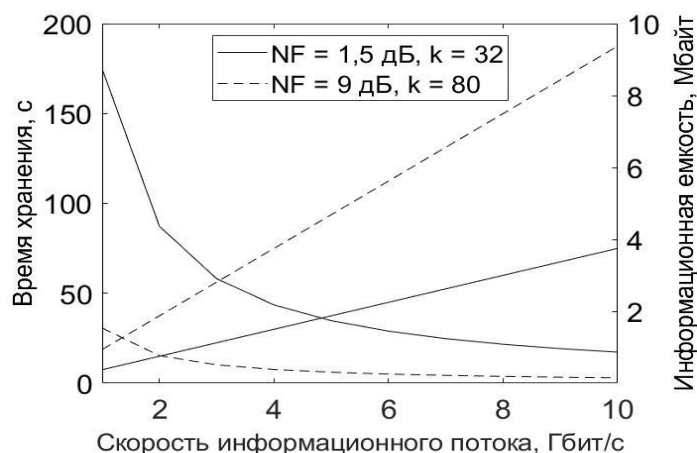
На основе разработанной математической модели проведены исследования эффекта разрушения оптических информационных полей в процессе хранения цифровой информации при спектральной и временной компрессии входных потоков. Показано, что совместное влияние амплитудных флуктуаций, явления временного джиттера и фазовой самомодуляции приводит к появлению максимума времени хранения в зависимости от длины оптоволоконной петли. Установлено, что значение этой длины не зависит от скорости поступающей информации, мощности излучения лазера и коэффициента усиления волоконного эрбиевого усилителя мощности EDFA2. Использование гибридного усилителя позволило увеличить время хранения практически в два раза, при этом максимальное время хранения наблюдалось при длине оптоволоконной линии задержки $L = 19$ км [3]. Информационная емкость осталась неизменной.

2. Способ увеличения информационной емкости

Для увеличения информационной емкости ВОДЗУ необходимо увеличивать длину оптоволоконной петли L , скорость информационного потока V и число информационных каналов k . Однако увеличение L более 19 км приведет к уменьшению времени хранения. Увеличение V и k путем уменьшения спектрального интервала между каналами влечет за собой резкое возрастание влияния на время хранения четырехволнового смещения и фазовой перекрестной модуляции. Для увеличения количества информационных каналов предлагается использовать широкополосный оптический усилитель с плоским распределением коэффициента усиления, в котором активной средой служит комбинация высоколегированного эрбиевого волокна на основе двуоксида циркония (ZEDF) и волокна на основе плавленого кварца (EDF) [4]. Параллельная конфигурация представляет собой широкополосный EDFA, в котором сигналы в С- и L-полосах усиливаются отрезками волокон ZEDF (2 м) и EDF (9 м), которые накачиваются лазерными диодами на длинах волн 980 нм и 1480 нм соответственно. В параллельной конфигурации достигается плоское распределение коэффициента усиления ZEDF-усилителя с EDF-усилителем при использовании WDM-ответвителя для мультиплексирования и демultipлексирования каналов в областях длин волн 1525–1565 нм (С-полоса) и 1570–1615 нм (L-полоса), т. е. спектральная полоса усиления увеличивается более чем в два раза. Описанный широкополосный усилитель позволяет достигать коэффициента усиления от 15 до 33 дБ для разных длин волн при усилении малых сигналов (–30 дБм), однако коэффициент шума при этом возрастает до 9 дБ.

Сравнительное влияние числа информационных каналов и шум-фактора комбинированного оптического усилителя и широкополосного оптического усилителя на информационные параметры ВОДЗУ приведено на рисунке. Из представленных графиков имеется возможность выбрать оптимальную конфигурацию линейного

оптического усилителя, исходя из требуемых технических характеристик информационных параметров ВОДЗУ.



Сравнение информационных параметров усилителей с различным шум-фактором и количеством информационных каналов при мощности излучения лазера $P_{\text{л}} = 10$ мВт

Заключение

Таким образом, использование усилителей с различными параметрами в качестве линейного оптического усилителя, компенсирующего потери в петле рециркуляции, позволяет увеличить либо время хранения, либо информационную емкость волоконно-оптических динамических запоминающих устройств. Расширение спектрального диапазона за счет использования более широкополосного усилителя приводит к увеличению числа информационных каналов и, как следствие, росту информационной емкости ВОДЗУ в 2,5 раза, но уменьшает максимально возможное время хранения при заданной вероятности ошибки в три раза ввиду снижения отношения сигнал/шум. В то же время, применение гибридного волоконного усилителя, состоящего из рамановского усилителя и эрбиевого усилителя, со сниженным значением шум-фактора обеспечивает возрастание времени хранения оптической информации в 2 раза по сравнению с использованием только одного волоконного эрбиевого усилителя для амплитудной модуляции в RZ-формате при вероятности ошибки $\text{BER} < 10^{-9}$, при этом информационная емкость не изменяется.

Библиографические ссылки

1. Polyakov A. V. Simulation of fiber-optic buffer loop memory with all-optical 2R regeneration // Optical Memory and Neural Networks. 2020. Vol. 29, iss. 2. P. 100–109.
2. Широкополосный гибридный оптический усилитель: как улучшить существующие ВОЛС / И. Шихалиев [и др.] // Первая миля. 2018. № 2. С. 67–72.
3. Поляков А. В., Юдыцкая К. С. Увеличение времени хранения информации оптоволоконной буферной памятью в системах лазерной космической связи // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: материалы VII межд. науч.-практ. конф., Минск, 18–19 мая 2023г. / НИИПФП им. А. Н. Севченко. Минск, 2023г. С. 435–436.
4. Широкополосный усилитель с плоским распределением коэффициента усиления на основе волокон с высокой концентрацией эрбия в параллельной двухпроходной конфигурации / Б. А. Хамида [и др.] // Квантовая электроника. 2012. Т. 42, № 3. С. 241–243.