

УДК 621.391

Оцінюються фактори, що впливають на якість і швидкість передачі інформації у волоконно-оптичних лініях, аналізуються можливі методи компенсації міжсимвольної інтерференції, поляризаційно-модової дисперсії, розсіювань різної природи

Ключові слова: дисперсія, ВОЛП, нелінійні ефекти, методи компенсації

Оцениваются факторы, влияющие на качество и скорость передачи информации в волоконно-оптических линиях, анализируются возможные методы компенсации межсимвольной интерференции, поляризационно-модовой дисперсии, рассеяний различного происхождения

Ключевые слова: дисперсия, ВОЛП, нелинейные эффекты, методы компенсации

We estimate the factors affecting the quality and speed of information in optical fiber lines, examines possible methods of compensation for intersymbol interference, polarization-mode dispersion, scattering of different origin

Key words: dispersion, scattering, nonlinear effects, methods of compensation

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

А. А. Астраханцев

Кандидат технических наук доцент*

Контактный тел.: (057) 70-21-429

E-mail: astrakture@mail.ru

Ю. В. Онищенко*

*Кафедра «Сети связи»

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

просп. Ленина, 14, г. Харьков, 61166

E-mail: ulia696@mail.ru

Введение

В настоящее время большую актуальность приобретают сети, которые могут обеспечить не только надежную передачу данных, но и наибольшую скорость передачи.

Стремительное внедрение в информационные сети оптических линий связи является следствием преимуществ, вытекающих из особенностей распространения сигнала в оптическом волокне. Волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) обладают рядом достоинств, среди которых: малая масса и объем кабеля, низкое затухание, позволяющее передавать данные на длинные расстояния, без использования усилителей. Высокая надежность оптической среды гарантируется отсутствием переходных влияний, воздействий электрических полей и окисления. Широкая полоса пропускания позволяет достичь скоростей передачи, которые недоступны остальным системам связи.

Несмотря на многочисленные преимущества перед другими способами передачи информации, волоконно-оптические системы имеют также и недостатки. Ввиду хрупкости оптического волокна, необходима дополнительная защита волокон и повышается стоимость как самого волокна, так и его прокладки. Также следует отметить высокую стоимость интерфейсного оборудования. Кроме этого волоконно-оптические линии имеют ряд специфических недостатков, ограни-

чивающих дальность связи и скорость и оказывающих влияние на коэффициент битовых ошибок. К таким недостаткам можно отнести наличие дисперсии, джиттера, вандера, различных видов рассеяния и нелинейных эффектов.

Преимущества от применения волоконно-оптических линий связи настолько значительны, что, несмотря на перечисленные недостатки оптического волокна, дальнейшим направлением развития направляющих систем передачи является борьба с факторами, ограничивающими скорость и качество передачи информации в волоконно-оптических линиях.

Целью работы является повышение скорости и качества передачи информации в оптических системах передачи. Для этой цели необходимо исследовать факторы влияющие на качество и скорость передачи информации в волоконно-оптических системах. Определить наиболее влияющие и предложить методы их минимизации для улучшения характеристик оптической направляющей системы.

1. Влияние основных факторов, ограничивающих возможности ВОСП

Один из основных ограничительных факторов длины регенерационного участка и скорости передачи – это поляризационно-модовая дисперсия (ПМД).

Основная физическая причина появления поляризационно-модовой дисперсии – нециркулярность сердцевины одномодового волокна, в результате чего, появляются два разных показателя преломления для основных состояний поляризации. Это приводит к разным групповым скоростям распространения мод с ортогональными поляризациями и появлением задержки на приемной стороне.

$$\langle \Delta\tau \rangle = D_{\text{pmd}} * \sqrt{L} < 0.1 * T \quad (1)$$

где: $\langle \Delta\tau \rangle$ – дифференциальная групповая задержка; D_{pmd} – поляризационно-модовый параметр волокна; L – длина волокна; T – длительность бита;

$$V_{\text{max}} = \frac{\epsilon * \sqrt{L}}{D_{\text{pmd}}} \quad (2)$$

где: V_{max} – максимальная скорость; ϵ – часть битового интервала.

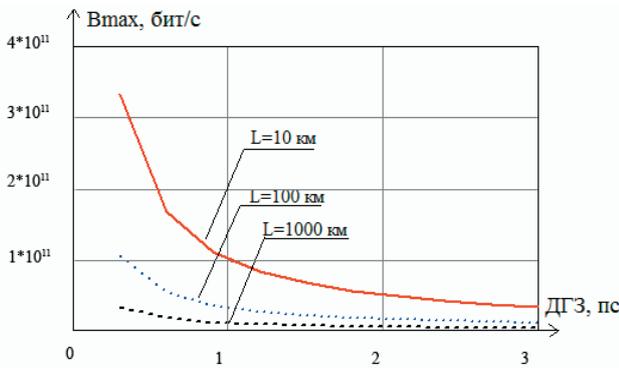


Рис. 1. Зависимость максимальной скорости передачи от дифференциально-групповой задержки при различной длине волоконного кабеля

Основываясь на проведенных исследованиях можно заключить, что дифференциальная групповая задержка имеет значительное влияние, ограничивая максимальную скорость. Как следует из результатов моделирования, приведенных на рис. 1, минимизировав влияние ДГЗ, на малых расстояниях можно достичь терабитного диапазона скоростей. При большей протяженности волоконной линии максимально достижимая скорость оказывается на порядок меньше.

Нелинейности в оптическом волокне. Большое количество искажений возникает из-за незначительных изменений показателя преломления оптического волокна в зависимости от оптической мощности передаваемого сигнала.

$$n = n_0 + n_{\text{н}} * P_0 / A_{\text{eff}} \quad (3)$$

где: n_0 – индекс рефракции сердцевины оптического волокна при низких уровнях оптической мощности; $n_{\text{н}}$ – коэффициент нелинейности индекса рефракции; P_0 – оптическая мощность; A_{eff} – эффективная площадь ядра.

Влияние нелинейностей возрастает в прямой зависимости с возрастанием оптической мощности. Оно приводит к хотя и незначительным изменениям показателя преломления, но достаточным для появления потерь и изменения качества передачи информации по оптическим системам связи.

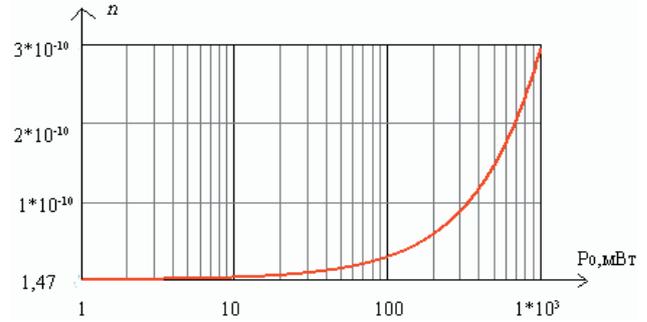


Рис. 2. Изменение показателя преломления под воздействием оптической мощности передаваемого сигнала

Стимулированное рассеивание Бриллюэна (SBS)

– определяет верхнюю границу уровня оптической мощности, которая может быть передана по оптическому волокну. При превышении уровня оптической мощности в оптическом волокне возникает акустическая (гиперзвуковая) волна, под влиянием которой изменяется величина индекса рефракции n .

Изменения n вызывают рассеивание света, что приводит к дополнительной генерации акустических волн. При этом вводится понятие эффективной длины ВОЛП, определяемой по формуле:

$$L_{\text{eff}} = \frac{4.343}{\alpha} [1 - \frac{1}{e^{0.23\alpha L}}] \quad (4)$$

Пороговая мощность Бриллюэна может быть определена из соотношения:

$$P_{\text{SBS}} = \frac{21A_{\text{эф}}}{g_{\text{Б}} * L_{\text{эф}}} (1 + \frac{\Delta V_{\text{LS}}}{\Delta V_{\text{BW}}}) \quad (5)$$

Для удобства расчетов выражение (6) может быть преобразовано:

$$P_{\text{SBS[41]}} = 14,8 - 10 \lg L_{\text{эф}} + 10 \lg (1 + \frac{\Delta V_{\text{LS}}}{20}) + 20 \lg (\frac{D_{\text{эф}}}{9,2}) \quad (6)$$

где: α – затухание; $A_{\text{эф}}$ – эффективная площадь ядра оптического волокна; ΔV_{LS} – линейная ширина полосы лазерного источника; ΔV_{BW} – SBS полоса взаимодействия; $g_{\text{Б}}$ – SBS усилительный коэффициент; $L_{\text{эф}}$ – эффективная длина оптической линии; $D_{\text{эф}}$ – эффективный диаметр модового пятна.

График снижения эффективной длины оптической линии, при различных значениях погонного затухания приведен на рис. 3. Результаты моделирования эффекта Бриллюэна приведены на рис. 4.

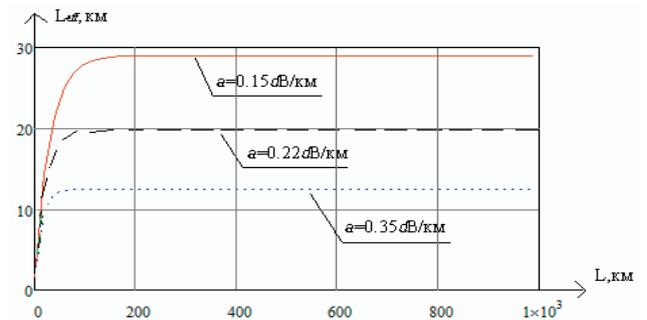


Рис. 3. Зависимость эффективной длины оптической линии от затухания и физической длины оптической линии

Эффективная длина зависит от длины оптической линии только на начальных расстояниях до 100 км, потом же оно совсем незначительное, что при расчетах им можно пренебречь. Можно пронаблюдать обратную зависимость от затухания, чем больше затухание, тем меньше эффективная длина. Таким образом, на больших расстояниях в учет будет браться только величина затухания в линии связи.

Стимулированное рассеивание Рамана (SRS). Эффектом Рамана называют рассеяние монохроматического излучения в веществе, при котором оптический сигнал рассеивается и смещается в область более длинных волн. SRS более выражено на коротких волнах, и является частотно зависимым; наблюдается для встречных и прямых волн; обладает широким спектром.

Пороговая мощность определяется по формуле:

$$P_{SRS} = \frac{16 * K_{SRS} * A_{эф}}{g_R * L_{эф}} \tag{7}$$

Для удобства расчетов, преобразуем его к виду:

$$P_{SRS[41]} = 44 - 10 \lg L_{эф} + 20 \lg \left(\frac{D_{эф}}{9.2} \right) \tag{8}$$

где: K_{SRS} – числовое значение, которое зависит от поляризационного состояния волны; g_R – SRS усиленный коэффициент.

Как видно из графиков (рис. 4, 5) пороговая мощность рассеяния Рамана практически на три порядка выше мощности рассеяния Бриллюэна.

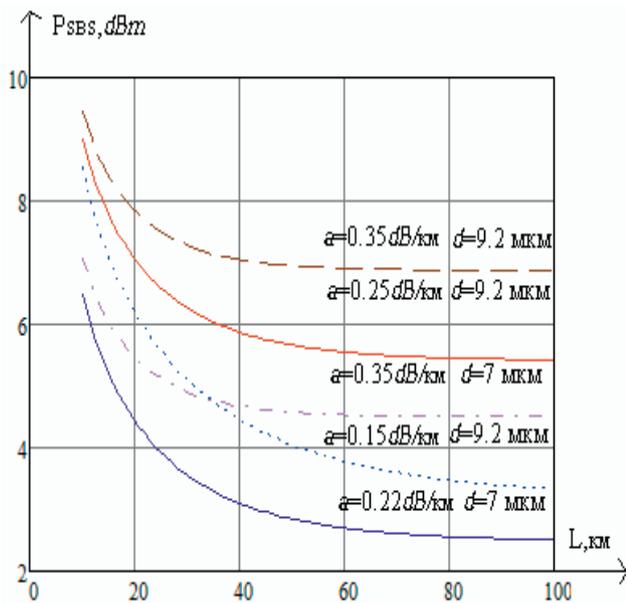


Рис. 4. Зависимость стимулированного рассеивания Бриллюэна и от длины волоконного кабеля при различном диаметре модового пятна (d) и затухании (a)

Как следует из рис. 4, увеличение модового пятна с 7 мкм до 9,2 мкм увеличивает пороговую мощность SBS на 2 дБ и эквивалентно увеличению погонного затухания на 0,12 дБ/км.

Поскольку пороговая мощность рассеяния Бриллюэна выше, то и увеличение модового пятна с 7 мкм до 9,2 мкм увеличивает пороговую мощность SBS на большую величину (порядка 2,8 дБ).

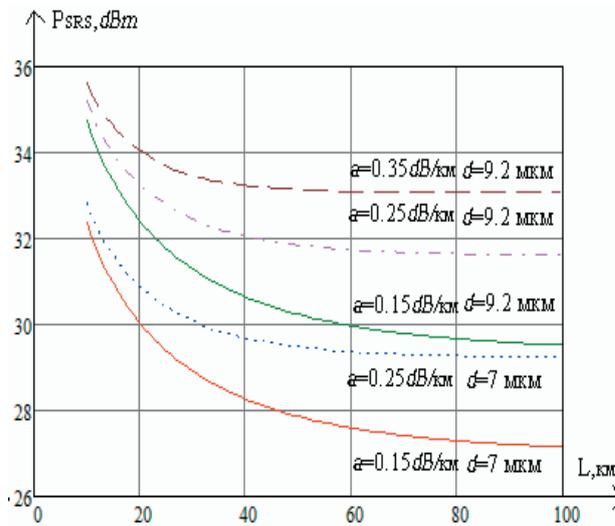


Рис. 5. Зависимость стимулированного рассеивания Рамана от длины волоконного кабеля при различном диаметре модового пятна (d) и затухании (a)

2. Анализ методов компенсации основных негативных факторов

Поляризационно модовая дисперсия и ее методы компенсации. Проблема компенсации поляризационно-модовой дисперсии неизбежно возникает в проектах передачи на дальние расстояния на скоростях 40 Гбит/с. Одним из основных методов является динамическая компенсация дисперсии, базирующаяся на петле обратной связи (рис. 6). Устройство, измеряющее дисперсию, выдает сигнал на управляющий процессор, который, в свою очередь, выдает сигнал устройству компенсации, чтобы уменьшить дисперсию. Одни и те же принципы применимы для компенсации как хроматической, так и поляризационной дисперсии, как одного, так и нескольких каналов.



Рис. 6. Схема динамической компенсации дисперсии

На практике ключевым моментом оказывается лишь то, как настроен компенсатор – на отдельный оптический канал, или он воздействует на группу рядом расположенных каналов. Системы с компенсацией отдельных каналов обеспечивают большую точность, но и оказываются намного дороже.

Другим способом является изготовление оптического волокна с низкой степенью эллиптичности со слабой связью мод. Недостатком этого метода уменьшения ПМД является то, что проложенный опто-

волоконный кабель подвергается механическим напряжениям и изгибам, что неминуемо приводит к увеличению ПМД.

Стимулированное рассеивание Бриллюэна и Рамана. Для борьбы с рассеиванием Бриллюэна рассматривается ряд способов, наиболее распространенными из которых являются два способа.

Первый способ связан с использованием лазеров с внешней модуляцией с "размытой" частотой излучения шириной в несколько сотен мегагерц и более. Это увеличивает пороговую мощность SBS, но без увеличения дисперсии, как это было бы при использовании лазера с непосредственной модуляцией. Такие перспективные лазеры, по сути, обеспечивают режим оптической частотной модуляции, чем и обеспечивается расширение спектра оптического сигнала, формируемого лазером с внешней модуляцией.

Второй способ основывается на источниках питания лазеров с принудительной модуляцией. В этом случае, стабильный источник постоянного тока модулируется принудительным тональным переменным сигналом. Частота принудительной модуляции источ-

ника питания лазера должна быть, по крайней мере, выше в два раза наивысшей частоты модулирующего сигнала. Теоретически такой метод позволяет повысить порог SBS на величину до 5 дБ. К недостаткам метода следует отнести некоторое ухудшение дисперсионных характеристик. Однако использование специальных средств позволяет свести дисперсионные эффекты фактически до нуля.

Выводы

Анализ основных факторов, влияющих на качество волоконно-оптических систем передачи позволил выделить наиболее влияющие, такие как ПМД, нелинейные эффекты, стимулированное рассеивание. Оценена степень влияния каждого из факторов. Для анализа методов повышения качества передачи информации в ВОЛП создана программная модель в среде Matlab, позволяющая моделировать описанные выше негативные факторы и основные методы их компенсации.

Литература

1. Убайдулаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – Москва. 2000. – 385 с.
2. Климаш М.М., Чернихівський Є.М., Олексін М.І. Поляризаційно-модова дисперсія оптичних волокон транспортних мереж // Львів: Вид. УАД, 2007. – 198 с.
3. Иванов А.Б. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Syrus Systems, 1999. – 672 с.