Большаков К.Э., Ильиных Н.И.

Влияние температуры на оптические и структурные свойства оптических волокон

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
(УрТИСИ СибГУТИ)
(Россия, Екатеринбург)

doi: 10.18411/lj-01-2019-117

idsp: ljjournal-01-2019-117

Аннотация

В настоящее время оптические волокна широко используются в отрасли связи. Основными требованиями предъявляемыми, к передаче информации через оптические волокна, являются высокая пропускная способность и минимальные потери. Однако, чем выше пропускная способность, тем большую мощность требуется вводить в оптическое волокно, что в дальнейшем приводит к его нагреванию и изменению оптических свойств.

Ключевые слова: оптические волокна, показатель преломления, мощность излучения, температура, плавление.

Abstract

Currently, optical fibers are widely used in the communications industry. The main requirements for the transmission of information through optical fibers are high throughput capacity and minimum loss. However, the higher the throughput, the more power is required to be injected into the optical fiber, which further leads to its heating and changes in the optical properties.

Keywords: optical fiber, index of refraction, the radiation power, temperature, melting.

Основной частью любой волоконно-оптической системы передачи (ВОСП) является волоконно-оптический кабель (ВОК). Главной составляющей такого кабеля является оптическое волокно (ОВ). Оптическое волокно представляет собой кварцевое, стеклянное или полимерное волокно, предназначенное для передачи света на расстояние.

Идея посылать энергию через оптическое волокно не нова. На самом деле, волокна широко использовались в промышленных, медицинских, гражданских и военных целях. Недавнее уменьшение потерь в оптоволокне расширило возможности использования его в области связи.

Рисунок 1 – Структура оптического волокна

Передача света происходит в тонком световоде. Световод представляет собой совокупность сердцевины и оболочки, вдоль границы которой распространяется световой сигнал. И сердцевина, и оболочка состоят из кварца с разным показателем преломления. Поверх сердцевины накладывается покрытие (буфер), которое служит в целях защиты и обеспечивает гибкость [1].

Волны по световоду в заданном направлении передаются за счет отражений их от границы раздела сердцевины и оболочки, имеющих разные показатели преломления. Граница раздела сред характеризуется соотношением между длиной волны и поперечным диаметром сердцевины. Если длина волны меньше диаметра сердцевины, передача сигнала будет осуществляться за счет многократного отражения от раздела сред с различными характеристиками [1]:

$$n(r) = n_1 - \Delta n (r/a)^g$$

где n_1 – максимальное значение показателя преломления сердцевины, Δn – нормированная разность показателей преломления, r – расстояние от оси волокна, a – радиус сердцевины, g – параметр, характеризующий профиль показателя преломления.

Профили показателя преломления многомодового волокна:

$g = \infty$ – профиль ступенчатый

$g = 1$ – профиль треугольный

$g = 2$ – профиль параболический

Для успешного прохождения света по оптическому волокну он должен войти в волокно и отражаться от оболочки с углами, большими критического. Из-за того, что в результате преломления направление распространения световых лучей меняется, для успешного прохождения луча по оптическому волокну накладываются ограничения на угол, под которым луч может поступить в сердечник (апертурный угол). Любой луч, падающий на оболочку под углом меньше критического, проникнет в оболочку и будет потерян.

Рисунок 2 – Схема попадания луча в сердцевину оптического волокна

Для того, чтобы удерживать свет в оптоволокне, показатель преломления в центре оптоволокна должен быть выше, чем по краям. В этом случае работает механизм полного внутреннего отражения [1].

Производительность оптической системы может определяться свойствами ее оптических волокон. Показатель преломления волокна зависит от разных факторов: длины волны света, температуры и других физических свойств. Температурные колебания оказывают влияние на абсолютные значения коэффициентов преломления ядра и оптической оболочки, а, следовательно, и на их разность, что может приводить к нарушению условий существования одной моды и появлению дополнительных мод. При этом, перераспределение энергии между модами приведет к потере мощности основного сигнала. Различие коэффициентов теплового расширения стеклянного сердечника и полимерной оптической оболочки увеличивает потери на микроизгибах. Другими словами, изменение показателя преломления оптического волокна может привести к изменению преломления света в сердцевине, что, в свою очередь, приведет к изменению длины волны и возникновению волноводной дисперсии [1].

Длина волны излучения должна соответствовать одному из окон прозрачности: 850, 1300 и 1550 нм. Это обусловлено тем, что на данных длинах волн наименьшие затухания. Затухание – это уменьшение мощности оптического сигнала.

Рисунок 3 – Зависимость затухания сигнала от длины волны

Чем меньше затухание (потери), тем больше может быть расстояние между регенерационными участками. В связи с этим изменения, внесенные в системы оптической связи, были сосредоточены на трех основных задачах: увеличение расстояния распространения, увеличение пропускной способности (битрейта) и сокращение расходов на развертывание и эксплуатацию. Достижение этих целей стало возможным только благодаря ряду технологических достижений, таких как, разработка оптических усилителей и внедрение методов мультиплексирования длины волны [4]. Однако следствием этих изменений стало увеличение общей оптической мощности, распространяющейся вдоль волокон.

Высокая мощность сигнала может стать причиной локального увеличения температуры покрытия в местах сгиба, что, в свою очередь, может привести к так называемому, эффекту фитиля. Этот эффект может привести к разрыву или плавлению волокна с последующим его разрушением вдоль длины [2].

Эффект фитиля в волокне, получил свое название из-за сходства с горящим фитилем. После нагревания стекловолокна, как горящий фитиль, зона плавления распространяется к источнику света, испаря сердцевину волокна с излучением видимого белого света. После распространения зоны плавления в сердечник оптического волокна можно наблюдать полосу пустот, как показано на рисунке [3].

Рисунок 4 – Распространение температуры вдоль длины ОВ

Феномен всегда ассоциировался с тепловым эффектом и, хотя пока отсутствуют очень точные экспериментальные данные по фактической температуре, достигнутой в волоконном ядре, считается, что пиковая температура выше точки испарения кремния, около 3027оС [3].

Однако наличие высокой оптической мощности недостаточно для плавления волокна, также требуется пусковой механизм, состоящий из начальной точки нагрева. Во время воспламенения, этот тепловой скачек вызывает сильное светопоглощение, которое, в свою очередь, приводит к катастрофическому повышению температуры до значений, достаточных для того, чтобы испарить сердечник стекловолокна.

Эффект плавления волокна – это явление, которое может возникать в оптических волокнах при наличии высокой оптической мощности и может привести к разрушению оптического волокна на протяжении нескольких километров, а также достичь оптических излучателей оборудования, что приводит к повреждению активных компонентов сети [4].

1. Валерий Яковлев. Основы оптоволоконной технологии // Журнал «Современные технологии автоматизации» – 2002. №4, с. 79.
 2. Семенов С.Л. Физические процессы, определяющие прочность и долговечность волоконных световодов. Канд. Дисс. ИОФАН, 1997.
 3. T. Li, “Structures, Parameters and Transmission Properties of Optical Fibers,” Proc. IEEE, vol. 68, pp. 1175-1180, 1980.
 4. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. Эко-Трендз, М.: 2000. 267с
-