МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ФГБОУ ВО «КубГУ»)**

**Физико-технический факультет**

**Кафедра оптоэлектроники**

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТОВОЛОКНА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОДНОФОТОННОГО ИМПУЛЬСА**

Работу выполнил \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Василенко Андрей Андреевич

Курс 3

Направление 03.03.03 Радиофизика

Научный руководитель

канд. физ.-мат. наук, доцент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ О. А. Кулиш

Нормоконтролер преподаватель\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В. Е. Лысенко

Краснодар 2018

**Реферат**

Курсовой проект 24 с., 4 рис., 7 источников.

ДИСПЕРСИЯ, ОПТОВОЛОКНО, ИМПУЛЬС, МОДА, СПЕКТР

Объектом рассмотрения данного курсового проекта является процесс распространения сигнала по оптическому волокну.

Целью проекта является рассмотрение влияния дисперсии в оптоволокне на распространение однофотонного импульса. В результате выполнения проекта были получены знания о дисперсии в оптическом волокне.

**Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
| Введение . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ……... | 4 |
| 1 Распространение сигнала по оптическому волокну. . . . . . . . . . . . . . …….. | 5 |
| 1.1 Особенности передачи сигнала. . . . . . . . . . . . . . …………................... | 5 |
| 1.2 Частотные и временные характеристики. . . . . . . . . . . . . . ………….... | 7 |
| 1.3 Собственные и частные характеристики оптического кабеля. ……… | 9 |
| 1.4 Искажения сигналов. . . . . . . . . . . . . . ………………………………….. | 10 |
| 2 Дисперсия. . . . . . . . . . . . . ……………………………………………………. | 16 |
| 3 Влияние дисперсии на однофотонный импульс. . . . . . . . . . . . . . ………… | 21 |
| Заключение . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ……… | 23 |
| Список используемых источников . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ……… | 24 |
|  |  |

**ВВЕДЕНИЕ**

Рассмотрение влияния характеристик оптоволокна на распространение однофотонного импульса связано с рассмотрением дисперсии. Дисперсия – это уширение оптического импульса, передаваемого по оптоволокну, во времени. Она уменьшает эффективную пропускную способность передачи.

При высокой частоте следования импульсов уширение на некотором расстоянии от передатчика приводит к перекрыванию соседних импульсов и ошибочному приему данных. Дисперсия ограничивает как дальность, так и скорость передачи информации. Она в общем случае характеризуется тремя основными факторами:

– различием скоростей распространения направляемых мод;

– направляющими свойствами световодной структуры;

– свойствами материала оптического волокна.

 Целью данной работы является исследование влияния дисперсии на сигнал в оптоволокне.

При этом существенно важным является решение следующих задач:

– рассмотреть виды дисперсии;

– рассмотреть распространение сигнала по оптическому волокну.

**1 Распространение сигнала по оптическому волокну**

**1.1 Особенности передачи сигнала**

Передача сигналов по оптическому кабелю имеет свои особенности, которые связаны со способом передачи оптических сигналов, а также с тем, что распространение излучения по световоду является многомодовым (многолучевым).

Предварительно нужно рассмотреть, что представляет собой оптический сигнал, распространяющийся по кабелю. Если электрический сигнал *u*(*t*) модулирует излучатель, например, изменяет ток накачки полупроводникового лазера в соответствии с изменением *u*(*t*) изменяется мощность излучения лазера. Следовательно, по кабелю распространяется сигнал:

$p\left(t\right)=ku\left(t\right),$ (1)

где *p(t)* – мощность оптического сигнала; *k* – коэффициент пропорциональности.

Если бы оптический кабель и фотоприемник не вносили никаких искажений, то на его выходе (после фотоприемника) возникал бы сигнал той же формы, что и на входе *u*(t).

Так, если входной сигнал представляет собой синусоидальное напряжение *u*=*Um*sin Ω*t* – частота, модулирующая излучатель, то при указанных выше допущениях на выходе кабеля также присутствовал бы синусоидальный электрический сигнал (фазовый сдвиг не принимаем во внимание). В действительности же возникают неизбежные искажения.

При передаче синусоидального сигнала мощность излучения будет меняться по закону

$\tilde{p}$(t) = P0 ($1 + M sin Ωt$)*,*

где *Р*0 – мощность излучения при отсутствии модуляции; *М* – глубина

модуляции.

Здесь мощность оптического излучения определена как эффективное значение мощности за период оптической частоты и пропорциональна квадрату напряженности (*Н* – магнитного или *Е* – электрического поля). Если перенос излучения осуществляется только одной модой, получим выражение, описывающее изменение во времени поля излучения (например, электрического) в таком виде:

*E*(*t*) *= kEm* $\sqrt{\left(1 + M\cos(Ωt)\right)}$ cos ωo*t* ,

где ωo – оптическая частота; *Еm* – амплитуда напряженности поля *Е*.

Таким образом, при принятом способе передачи оптических сигналов, т.е. модуляции мощности оптического излучения, сигнал, распространяющийся по кабелю, содержит не одну частоту модуляции, а спектр частот.

Если бы по закону модулирующего сигнала изменялась не огибающая мощность излучения, а электрическое поле, в рассматриваемом случае это изменение описывалось бы известным выражением:

*E*(*t*) = *Em* (1+ *M* sin Ω*t* ) sin ωo*t* .

Спектр этого сигнала, как известно, содержит только три составляющие на частотах ωo + Ω, ωo – Ω . Спектр же, определяемый выражением (3), содержит бесконечное число частот. Отсюда следует, что при модуляции оптической мощности спектр передаваемого сигнала обогащается, что вносит свой вклад в искажение сигнала. Следует отметить, что при *М* = 1 спектр содержит только две составляющие на частотах ωo + Ω, ωo – Ω . Учитывая, что в реальных световодах существует большое число мод, то спектральный состав

распространяющегося по оптическому кабелю сигнала оказывается более сложным, чем излучаемого.

Так как обычно частоты модуляции Ω $\ll $ ωo, то указанное обобщение спектра незначительно сказывается на условии распространения сигналов, однако учитывать это обстоятельство необходимо, особенно при измерениях характеристик передачи оптического кабеля.

Другой особенностью передачи сигналов по оптическому кабелю является многомодовое распространение. Независимо от закона, описывающего профиль показателя преломления сердечника световода, можно в самом общем случае указать те факторы, которые определяют распространение и искажение оптических сигналов:

– различие коэффициентов распространения β на данной частоте

для разных мод;

– нелинейная зависимость от частоты коэффициента распространения для данной моды;

– дисперсия в материале, т.е. зависимость показателя преломления

от частоты.

Все эти факторы приводят к различиям скоростей распространения модовых составляющих сигналов в зависимости от *i*-го порядка моды и частоты *ω*. Совокупное действие этих факторов определяет характеристики передачи оптического кабеля (частотные, временные), а также интегральные и частные параметры искажений (дисперсия импульсов, среднеквадратические и линейные значения ширины полосы частот и т.д.).

**1.2 Частотные и временные характеристики**

Применительно к оптическим кабелям необходимо уточнить понятие частотных характеристик. Такие определения, как зависимость от частоты отношения амплитуд гармонического сигнала на

выходе волокна к амплитуде на его входе (для амплитудно-частотной характеристики) и зависимость сдвига фазы выходного гармонического сигнала от частоты относительно входного (для фазовой характеристики) являются неправомочными. Так как приходится оперировать с огибающей мощности сигнала при модуляции оптической несущей, в отличие от указанного обычного определения, относящегося к амплитудно-частотной характеристике, вводится понятие модуляционно-частотные характеристики. Амплитудо-частотная и фазо-частотная характеристики объединяются в общую характеристику, называемую комплексным коэффициентом передачи:

*K* (Ω) = *C* (Ω)ejφ(Ω) .

При модуляции излучателя соответствует изменению коэффициента модуляции на выходе кабеля в зависимости от Ω, т.е. *C* (Ω) = *M* (Ω) .

Отсюда следуют такие определения: модуляционная амплитудно-частотная характеристика, модуляционная частотно-фазовая характеристика.

Модуляционная амплитудно-частотная характеристика представляет собой зависимость модуля комплексного коэффициента передачи огибающей мощности оптического излучения, модулированного гармоническим сигналом, от частоты модуляции [4].

Частотно-фазовая характеристика – это зависимость фазы комплексного коэффициента передачи огибающей мощности оптического излучения от частоты модуляции. Модуляционно-частотные характеристики полностью определяют особенности оптического волокна как направляющей системы и искажение сигналов.

Можно также пользоваться характеристиками, относящихся не к частотной, а к временной области, а именно: переходные и импульсные характеристики.

Переходная характеристика – это огибающая мощности оптического сигнала на выходе кабеля, если на его входе огибающая оптической мощности является единичным сигналом. Единичный сигнал, обозначаемый *1*(*t*), – это сигнал, возникающий скачком от нуля до единицы в момент *t* = 0 и существующий после своего возникновения бесконечно долго [1].

Импульсная характеристика – это огибающая мощности оптического сигнала на выходе кабеля, если на его входе огибающая оптической мощности является единичным импульсом. Единичный импульс, обозначаемый δ(*t*) (или дельта-импульс), является производной от единичного сигнала.

Если выбрать некоторый момент времени τ, то δ(*t* – τ) равна нулю при всех значениях *t* < τ, а при *t* = τ совершает скачок в бесконечность и затем уменьшается до нуля при всех *t* > τ, при этом площадь этого импульса равна единице. Переходная *h*(*t*; *l*) и импульсная *g*(*t*; *l*) характеристики полностью определяют распространение сигналов по оптическому кабелю. Пользуясь данными характеристиками, можно найти форму выходного сигнала оптического кабеля при известной форме входного. Кроме того, по этим характеристикам можно найти модуляционно-частотные характеристики (фазовую и амплитудную). Переходную характеристику можно определить экспериментально, а импульсную, как правило, – аналитически.

**1.3 Собственные и частные характеристики оптического кабеля**

В отличие от традиционных четырехполюсников, когда нормируется только форма входного испытательного сигнала, например, в виде единичного сигнала или в виде гармонического сигнала, для оптического кабеля должны оговариваться особенности источника излучения, а именно:

– распределение интенсивности по излучающей поверхности;

– распределение мощности излучения по модам (или по углу) диаграммы излучения;

– спектр излучения (по оптическим частотам).

Как показывает теория и подтверждают экспериментальные данные, характеристики передачи оказываются различными при разных показателях, относящихся к перечисленным особенностям. Действительно, искажение сигналов зависит, в частности, от распределения мощности излучения между модами, введенными в кабель и распространяющимися в нем. В зависимости от состава оптического спектра излучения степень материальной дисперсии будет различной. Поэтому при измерениях кабелей, возбуждаемых источником излучения с различными характеристиками и при идентичных условиях ввода излучения в кабель, характеристики передачи могут быть разными. Таким образом, характеристики передачи оптического кабеля не могут рассматриваться в отрыве от излучателя [5].

В связи с изложенным необходимо различать два вида характеристик передачи: собственные характеристики и частные характеристики.

Собственная характеристика – это характеристика, которая свойственна данному оптическому кабелю при условии, что он возбуждается строго одной оптической несущей, причем мощность всех мод, введенных в кабель, одинакова. В идеальном случае это возможно при возбуждении кабеля точным монохроматическим источником, расположенным на оси световода [3].

Частные характеристики соответствуют конкретным условиям возбуждения световода от определенного источника с известными характеристиками излучения. Эти характеристики не являются универсальными и не могут быть непосредственно использованы тогда, когда применяются источники излучения, отличные от тех, для которых эти характеристики были определены.

Частотные и переходные характеристики относятся к вторичным оптическим параметрам световодов, тогда как первичными параметрами являются геометрические размеры световодов (сердечника и оболочки), профиль показателя преломления и коэффициент затухания.

**1.4 Искажения сигналов**

В оптических кабелях основной причиной искажения сигналов является различное время запаздывания и затухания лучей, распространяющихся под различными углами.

В результате этого, например, фронт прямоугольного сигнала на месте приема будет растянут. Любая другая форма сигнала, поданного на вход кабеля, также будет искажена.

Характер и степень искажения зависят от формы входного сигнала, угловой характеристики излучения источника, параметров световода, длины кабеля, вида и степени его неоднородностей. Запаздывание различных лучей, как уже известно, следует из неравенства путей их распространения [2]. Можно также рассматривать механизм искажения оптических сигналов как результат различий скоростей распространения мод разных порядков и зависимости их затухания от порядка мод.

Каждая мода представляет собой плоскую волну, имеющую свой коэффициент распространения, определяющий фазу и затухание, зависящее от номера моды.

С коэффициентом связана групповая скорость моды на данной частоте (*U*ωi). При постоянном значении частоты с увеличением порядка моды коэффициент фазы уменьшается и групповая скорость падает. Для различных мод с увеличением частоты коэффициент распространения и групповая скорость возрастают в разной степени. На рисунке 1 приведен характер зависимости β*i* от частоты и порядка мод.

В результате время запаздывания моды на длине

 *l* *τ*i = $\frac{l}{U\_{ωi}}$

будет больше для мод более высокого порядка и для более высоких частот. Если при этом учесть распределение мощностей между модами, то можно на заданной длине кабеля определить запаздывание, а следовательно форму сигнала. Таким образом, с увеличением числовой апертуры количество мод, распространяющихся по световоду, растет и степень искажения увеличивается. В градиентных световодах различие в *τ*i меньше, чем в световодах со ступенчатым профилем, поэтому искажения могут быть существенно меньше, однако для полной реализации такого положения необходимо выбирать параметр *g* строго в зависимости от длины волны излучения и оптических свойств материала световода, а также следует обеспечить с высокой степенью точности (до 3-4%) постоянство принятого профиля коэффициента вдоль всего световода.



Рисунок 1 – Характер зависимости β*i* от частоты и порядка мод: 1, 2,…, *i* – порядок мод

Теория и практика показывают, что при наличии рассеянных неоднородностей искажения оптических сигналов, распространяющихся по оптическому кабелю, несколько уменьшаются. Это связано с процессами выравнивания диаграммы излучения или (в модовом толковании) с обменом энергии между модами. Таким образом, наличие неоднородностей выравнивает скорости различных мод на пути распространения по кабелю излучения, т.е. относительное запаздывание становится меньше и искажения сигналов несколько уменьшаются.

Выше указывалось, что форма выходного сигнала зависит, в частности, от формы входного. Поэтому принято оперировать некоторыми нормированными формами сигналов. При этом угловая характеристика излучения может быть представлена в виде:

*P(*φ*) = P*0*cosm* φ ,

где *m* – целое число; φ – угол относительно оптической оси.

Такое описание широко принято для источников излучения, используемых в оптической связи. В частности, при *m* = 1 имеем так называемую ламбертову поверхность излучения. При *m* = 2…3 имеем характеристики полупроводникового лазера [7].

В отдельных случаях бывает достаточно найти лишь некоторые параметры, определяющие искажения сигналов; в этом случае пользуются частными оценками искажений. Эти оценки в основном относятся к уширению выходного импульса или к определению ширины его переднего фронта. Очевидно, что такие оценки должны быть привязаны к определенной форме входного импульса, так как уширение, связывающего ширину выходного импульса с шириной входного, зависит от формы последнего. В качестве нормированной формы входного импульса выбирается единичный или ступенчатый импульс *1*(*t*). Тогда для световода со ступенчатым профилем коэффициента преломления время нарастания сигнала находится по формуле:

τ = $\frac{\left(NA\right)^{2}l}{2n\_{1}c}$

Для реальных градиентных световодов, учитывая недостаточно точное поддержание постоянства профиля показателя преломления:

τ ≈ (50…60) × 10-9(*n*1 *– n*2)*l*.

По существу, приведенные выражения определяют приближенное значение переднего фронта переходной характеристики *h*(*t*).

 Особо учитывается влияние материальной дисперсии, определяющуюся зависимостью скорости распространения излучения в материале волокна от оптической частоты. Учитывая, что скорость распространения оптической волны *U* = $\frac{c}{n}$ , а показатель преломления зависит от частоты, возникает относительная задержка между частотами при распространении сигналов, содержащих несколько частот. С материальной дисперсией приходится считаться в связи с тем, что существующие источники оптического излучения излучают не одну частоту, а спектр оптических частот, который значительно шире спектра модулирующих. В первом приближении учет материальной дисперсии можно сделать путем добавления к фронту переходной функции *h*(*t*) величины

τ=10-7 $\frac{Δf}{f\_{0}}l$ , (9)

где $Δf$ – ширина спектра излучателя; $f\_{0}$ – его центральная частота.

Искажения оптических сигналов, распространяющихся по световодам, свидетельствуют о том, что модуляционно-частотные характеристики последних должны быть нелинейными, спадающими. При этом вследствие искажения и ограничения спектров сигналов, введенных в световод, возникают искажения этих сигналов. Необходимо рассмотреть более подробно тот факт, что модуляционно-частотные характеристики световодов являются нелинейными и ограниченными. Предварительно нужно отметить, что спектральная характеристика световода (т.е. зависимость его затухания от оптической частоты) в области, намного превосходящей диапазон модулирующих частот Ω , не имеет спадающего характера, т.е. практически неограничена, а небольшие отклонения на таком участке спектральной характеристики от линейности несущественны и связаны с особенностями поглощения излучения в материале световода. Таким образом, спектральная характеристика практически не вносит искажений в сигнал. Иначе обстоит дело с частотными характеристиками.

По мере распространения мод по световоду вследствие различия в коэффициентах распространения фазы расходятся и равнодействующие всех составляющих (суммарный вектор) уменьшаются, а равнодействующая фаза (суммарного вектора) изменяется. Такое расхождение фаз, а следовательно, изменение значения суммарного вектора и его фазы, будет иметь место и при изменении модулирующей частоты, с увеличением которой также увеличивается расхождение фаз. В результате такого процесса по мере увеличения Ω и длины световода *l* модулированная мощность излучения уменьшается. Вследствие сложной зависимости фазы каждой из мод от частоты и длины световода сложение составляющих векторов, т.е. интерференция огибающих мощностей, также происходит по сложному закону и дает периодические нулевые значения суммарного вектора, т.е. затухающую осцилляцию.

**2 Дисперсия**

Дисперсия – расплывание светового импульса по мере его движения по оптическому волокну. Дисперсия ограничивает ширину полосы пропускания и информационную емкость кабеля. Скорость передачи битов должна быть при этом достаточно низкой, чтобы избежать перекрытия различных импульсов. Чем ниже скорость передачи сигналов, тем реже располагаются импульсы в цепочке и тем большая дисперсия допустима.

Дисперсия – уширение импульсов – имеет размерность времени и определяется как квадратичная разность длительностей импульсов на выходе и входе кабеля длины *l* по формуле. Обычно дисперсия нормируется в расчете на 1 км, и измеряется в пс/км. Дисперсия в общем случае характеризуется тремя основными факторами, рассматриваемыми ниже:

– различием скоростей распространения направляемых мод (модовой, или межмодовой, дисперсией);

– направляющими свойствами световодной структуры (волноводной дисперсией),

– свойствами материала оптического волокна (материальной, или молекулярной, дисперсией).

Чем меньше значение дисперсии, тем больший поток информации можно передать по волокну.

На практике, особенно при описании многомодового волокна, чаще пользуются термином полоса пропускания. При расчете полосы пропускания *W* можно пользоваться формулой:

*W* = 0,44 / *t*.

Измеряется полоса пропускания в МГц\*км. Из определения полосы пропускания видно, что дисперсия накладывает ограничения на дальность передачи и верхнюю частоту передаваемых сигналов. Физический смысл *W* – это максимальная частота модуляции передаваемого сигнала при длине линии 1 км. Если дисперсия линейно растет с ростом расстояния, то полоса пропускания обратно пропорционально зависит от расстояния.

Виды дисперсий:

1) Модовая дисперсия

Модовая дисперсия свойственна только многомодовым волокнам. Она возникает из-за того, что лучи, входящие в оптоволокно под разными углами, проходят различные пути и, следовательно, достигают противоположного конца волокна в различные моменты времени.

Модовая дисперсия может быть уменьшена тремя способами:

1. Использование ядра с меньшим диаметром, поддерживающим меньшее количество мод.

2. Использование волокна со сглаженным индексом.

3. Использование одномодового волокна.

2) Хроматическая

Хроматическая дисперсия состоит из материальной и волноводной составляющих и имеет место при распространении как в одномодовом, так и в многомодовом волокне. Однако наиболее отчетливо она проявляется в одномодовом волокне, в виду отсутствия межмодовой дисперсии.

Материальная дисперсия обусловлена зависимостью показателя преломления волокна от длины волны.

Уровень дисперсии зависит от двух факторов:

1. Спектральной ширины источника. Светодиод характеризуется большей спектральной шириной, чем лазер - около 35 нм для светодиода и от 2 до 3 нм для лазера.

2. Центральной рабочей длины волны источника. В области 850 нм более длинные волны движутся быстрее по сравнению с более короткими. Волны длиной 860 нм движутся быстрее по стеклянному волокну, чем волны длиной 850 нм. В области 1550 нм ситуация меняется: более короткие волны движутся быстрее по сравнению с более длинными; волны длиной 1560 нм движутся медленнее, чем волны длиной 1540 нм. В некоторой точке спектра происходит совпадение, при этом более голубые и более красные длины волн движутся с одной и той же скоростью. Это совпадение скоростей происходит в области 1300 нм, называемой длиной волны с нулевой дисперсией.

Диапазон длин волн от 820 до 850 часто используется для передачи во многих волоконно-оптических системах. В этом диапазоне длин волн молекулярная дисперсия равна примерно 0.1 нсек/нм ширины спектра.

Волноводная дисперсия обусловлена тем, что часть оптической энергии (до 20% от общей мощности) движется не по ядру, а по оптической оболочке. А так как они имеют различные показатели преломления, то излучение движется со слегка различающимися скоростями в ядре и оптической оболочке. Волноводная дисперсия зависит от совокупности таких геометрических параметров оптоволокна, как отклонение от круглой формы сечения, непостоянство диаметра, несоосность ядра и оболочки, непостоянство показателя преломления по длине оптоволокна и т.п [6].

Изменение внутренней структуры волокна позволяет существенно влиять на волноводную дисперсию, тем самым изменяя специфицированную общую дисперсию волокна. Это является одним из перспективных направлений разработки одномодовых систем.



Рисунок 2 – Зависимость материальной дисперсии от длины волны

3) Поляризационная

Поляризационная модовая дисперсия возникает из-за анизотропии профиля показателя преломления сердцевины оптоволокна и как следствие –различной скорости распространения двух взаимно перпендикулярных поляризационных составляющих моды.

Из-за небольшой величины поляризационная дисперсия может проявляться исключительно в одномодовом волокне, причем когда используется передача широкополосного сигнала (полоса пропускания 2,4 Гбит/c и выше) с очень узкой спектральной полосой излучения 0,1 нм и меньше. В этом случае хроматическая дисперсия становится сравнимой с поляризационной модовой дисперсией [3].



Рисунок 3 – Поляризационная дисперсия в оптоволокне

В одномодовом волокне в действительности может распространяться не одна мода, а две фундаментальные моды – две перпендикулярные поляризации исходного сигнала. В идеальном волокне, в котором отсутствуют неоднородности по геометрии, две моды распространялись бы с одной и той же скоростью. Однако на практике волокна имеют не идеальную геометрию, что приводит к различной скорости распространения двух поляризационных составляющих мод.

Факторы роста анизотропии профиля волокна:

Статические факторы:

– несовершенство заводского процесса вытяжки волокон;

– скрутка волокон при изготовлении волоконно-оптического кабеля;

– изгибы и как следствие механические деформации волокон проложенного кабеля.

Динамические факторы:

– вариации температуры окружающей среды - для кабелей, проложенных в грунт;

– динамические деформации волокон (ветровые нагрузки, вариации температуры окружающей среды, деформации вследствие оледенения кабеля) - для подвесных кабелей.

Из-за наличия динамических факторов даже в пределах отдельного сегмента волокна невозможно определить направление поляризации сигнала после прохождения этого сегмента.

**3 Влияние дисперсии на однофотонный импульс**

При прохождении импульсных сигналов через оптоволокно дисперсия приводит к уширению импульса.



а) – входные импульсы; б) – выходные импульсы

Рисунок 4 – Уширение импульса из-за дисперсии в оптоволокне

Она определяется как квадратичная разность длительности импульсов на выходе и входе оптоволокна длиной l, получаемой на половине высоты импульса, и измеряется в пикосекундах.

Предел пропускной способности (скорости передачи информации, информационной полосы пропускания) оптоволокна определяется тем, насколько близко могут располагаться кодирующие информацию соседние импульсы без взаимного перекрытия и, следовательно, без возникновения межсимвольных помех. Большие значения дисперсии приводят к ошибкам декодирования вследствие перекрытия импульсов цифрового оптического сигнала.

Уширение импульса определяет полосу частот передаваемого сигнала Δ f (скорость передачи информации) следующим образом:

Δ *f ≈* τ –1

Дисперсия также ограничивает длину регенерационного участка, так как уширение импульса пропорционально длине линии. В конечном итоге может возникнуть ситуация, когда соседние импульсы перекрывают друг друга.

Дисперсия в волокне должна быть минимальной, так как использование волокна с высокой дисперсией приводит к уменьшению полосы пропускания и в любом случае ведет к недостаточной линейности оптической передающей системы.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные результаты курсового проекта состоят в следующем:

1 Изучена литература, посвященная оптическим волокнам.

2 Была рассмотрена зависимость материальной дисперсии от длины волны.

3 Исследовано влияние дисперсии на однофотонный импульс в системах квантовой передачи информации.

4 Были изучены виды дисперсии.

При изучении разновидностей дисперсии, были рассмотрены модовая, хроматическая и поляризационная дисперсия. Когда короткий световой импульс вводится в волокно в пределах числовой апертуры, вся энергия не достигает конца оптоволокна одновременно. Разные моды переносят энергию по разным длинам. Это импульс, распространяясь по разным длинам светового пути вызывает модовую дисперсию. Хроматическая дисперсия происходит, потому что световой импульс имеет разные длины волны, каждый перемещается по волокну на различных скоростях. Поляризационная дисперсия происходит из-за разных скоростей распространения энергий одной длины волны, но разной поляризации с перпендикулярными осями.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 Мелких А.В., Повзнер А.А. Физика нелинейных явлений: учеб. пособие. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2009. – 144 с..

2 Розанов Н.Н. Нелинейная оптика: учеб. пособие. Уравнения распространения излучения и нелинейный отклик среды. – СПб.: СПбГУИТМО, 2008. – 95 с.

3 Дианов Е. М. Квантовая информация / Е. М. Дианов // Квантовая электроника. − 2010. − Т.40, № 1. − С. 1−6.

4 Килин С. Я. Волоконная оптика: сорок лет спустя / С. Я. Килин, Д.Б. Хорошко – Минск: Беларуская наука, 2007. – 391 с.

5 Альбов А. Квантовая криптография / А. Альбов – Страта, 2016.– 236 с.

6 Клюев В.Г. Нелинейные явления в оптоволоконных системах: учеб. пособие для вузов. – Воронеж: ВГУ, 2008. – 59 с.

7 Шумкова, Д. Б. Специальные волоконные световоды / Д. Б. Шумкова, А. Е. Левченко. – Пермь: ПНИПУ, 2011. – 177 с.