

*М.С. Былина, С.Ф. Глаголев,
В.С. Иванов, Г.М. Смирнов*

**Методические указания к проектированию по
дисциплине «Современные технологии
проектирования, строительства и эксплуатации
направляющих систем электросвязи»**



М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, В.С. Иванов, Г.М. Смирнов. Методические указания к проектированию по дисциплине «Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации направляющих систем электросвязи» (спец. 210404) / СПб ГУТ. СПб, 2006.

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом университета.

Проект по дисциплине «Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации направляющих систем электросвязи» состоит из двух частей, связанных общей задачей. Первая часть посвящена проекту реконструкции существующей магистрали на коаксиальном кабеле. Вторая часть посвящена проекту строительства ВОЛС вдоль существующей трассы. В проекте определяются длины регенерационных участков и ориентировочные стоимости реконструкции и строительства. Для облегчения многовариантного проектирования студентам предлагается специальная компьютерная программа. Однако методическое пособие содержит все необходимые расчетные формулы и указания по их использованию для выполнения курсового проекта без специальной программы. Предполагается, что студенты, выполняющие проект, имеют базовые знания по дисциплинам «Направляющие системы электросвязи» и «Физические основы оптических направляющих систем».

Рецензент: доц. Чернов Б.К.

- © М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, В.С. Иванов, Г.М. Смирнов, 2006
- © Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2006.

Редактор Л.А. Медведева

Подписано к печати _____

Объем _____ печ. л. Тираж 300 экз. Зак. _____

РИО СПб ГУТ. 191186 СПб, наб. р. Мойки, 61

Отпечатано СТ «Факультет ДВО», 191186 СПб, наб. р. Мойки, 61

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Программа дисциплины.....	Ошибка! Закладка не определена.
Содержание проекта.....	6
Задание на проектирование	6
Указания по выполнению работы.....	6
1. Реконструкция магистрали на коаксиальном кабеле.....	7
1.1. Основные параметры магистрали	7
1.2. Принципы расчета длины регенерационного участка	7
1.3. Расчет стоимости реконструкции	11
1.4. Последовательность расчета	12
2. СТРОИТЕЛЬСТВО МАГИСТРАЛИ НА ОПТИЧЕСКОМ КАБЕЛЕ.....	13
2.1. Основные параметры магистрали	13
2.2. Принципы расчета длины регенерационного участка	14
2.3. Расчет стоимости строительства	18
2.4. Последовательность расчета	19
2.5. Сравнение возможных вариантов развития магистрали	21

Введение

Современный этап развития электросвязи в Российской Федерации характеризуется бурным ростом объемов передаваемой информации, с которым уже не справляются существующие магистральные и зонные кабельные линии связи. Происходит вытеснение аналоговых систем передачи и переход на цифровые системы передачи (ЦСП) плездохронной и синхронной цифровой иерархий. Возникает необходимость реконструкции существующих кабельных магистралей и строительства новых. Причем можно реконструировать магистрали на коаксиальных и симметричных кабелях, заменяя устаревшие аналоговые системы передачи современными ЦСП. Нуждаются в реконструкции ранее построенные волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Для увеличения пропускной способности ВОЛС используют переход с длины волны 1310 на 1550 нм, аппаратуру спектрального уплотнения (DWDM) и другие решения. Для строящихся магистралей используют только ВОЛС, которые имеют неоспоримые преимущества перед магистралями на медножильных кабелях.

Предлагаемый курсовой проект по дисциплине «Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации направляющих систем электросвязи» состоит из двух частей, связанных общей задачей. Первая часть посвящена проекту реконструкции существующей магистрали на коаксиальном кабеле. В проекте определяется длина регенерационного участка и ориентировочная стоимость реконструкции с использованием существующего кабеля. Вторая часть посвящена проекту строительства ВОЛС вдоль существующей трассы. В этом случае также определяется длина регенерационного участка и ориентировочная стоимость строительства.

Проектные решения при реконструкции и строительстве принимаются с учетом большого количества технических и экономических факторов и не являются единственно возможными. В курсовом проекте студентам предлагается использовать принцип многовариантного проектирования, при котором из нескольких вариантов, обеспечивающих требования технического задания, выбирается наиболее экономичный. Для освобождения студентов от рутинных повторяющихся расчетов авторами предлагается компьютерная программа «КурсСТНСЭ.exe». Однако методическое пособие содержит все необходимые расчетные формулы и указания по их использованию для выполнения курсового проекта без специальной программы. В этом случае желательно расчеты проводить с использованием известных и доступных математических программ, например MathCad.

«Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации направляющих систем электросвязи»

Основными задачами дисциплины являются:

- изучение общих положений по разработке проектов и смет в капитальном строительстве;
- изучение современных методов строительства линейных сооружений связи прежде всего на основе волоконно-оптических направляющих систем;
- изучение современных методов проведения реконструкции действующих кабельных магистралей, основанных как на металлических так и на волоконно-оптических кабелях связи;
- изучение вопросов, связанных с повышением эффективности существующей системы технической эксплуатации и обусловленных изменением структуры линейных трактов кабельных магистралей после проведения реконструкции;
- изучение вопросов выбора оптимальных методов проведения реконструкции и строительства современных линейных сооружений связи;
- изучение проблем повышения надежности реконструируемых линий связи в структуре системы технической эксплуатации.

Содержание дисциплины

1. Структура проектных организаций. Положение о проектной организации. Положение о главном инженере. Подготовительные проектные и изыскательские работы. Задание на проектирование, его состав, назначение, порядок согласования и утверждения.
2. Основные материалы и документы, определяющие состав, содержание и порядок разработки и оформления проектно-сметной документации. Рабочий проект, его особенности, область применения. Состав рабочего проекта. Рабочая документация. Состав основных чертежей.
3. Сметная часть. Значение смет и состав сметной документации. Виды сметной документации. Особенности составления сметной документации на технологические работы. Экспертиза проектной документации.
4. Технология строительства ВОЛС. Подземные, подводные и воздушные ВОЛС.
5. Реконструкция действующих линий связи на основе металлических кабелей с организацией трактов ЦСП. Требования к качественным характеристикам трактов. Расчет длин участков регенерации.
6. Реконструкция существующих ВОЛС первичной сети. Характеристики современных одномодовых оптических волокон. Параметры и шумовые характеристики источников излучения и фотоприемников
7. Расчет длин участков регенерации с использованием компенсаторов дисперсии и оптических усилителей.
8. Система технической эксплуатации линейных сооружений связи. Структура системы, принципы разделения на подсистемы. Основные параметры системы эксплуатации как системы массового обслуживания.
9. Одноканальные и многоканальные системы технической эксплуатации. Построение графов состояния системы и оценки вероятностей переходов из одного состояния в другое.
10. Расчет основных показателей системы технической эксплуатации. Оценка способов повышения эффективности работы системы.
11. Отказы линейных трактов кабельных магистралей. Статистика повреждений и анализ основных причин, вызывающих отказы. Показатели надежности линейных трактов. Понятие коэффициента готовности и времени восстановления.
12. Проведение ремонтно-восстановительных работ. Основные задачи, решаемые в процессе их проведения. Сокращение времени простоя линейных трактов при проведении ремонтно-восстановительных работ.

13. Системы резервирования линейных трактов, организованных по металлическим кабелям, на основе применения волоконно-оптических кабельных вставок.

14. Методы контроля и измерения параметров волоконно-оптических кабельных вставок, оценка срока их службы.

Содержание проекта

1. Титульный лист
2. Исходные данные к проекту
3. При использовании специальной программы КурсСТНСЭ.exe необходимо привести распечатки экранов с исходными данными и результатами расчетов для ключевых вариантов (не менее 3 по реконструкции и не менее 3 по строительству) и заполненные таблицы со всеми вариантами расчетов.

При выполнении проекта без использования специальной программы необходимо приводить расчетные формулы, результаты расчетов и заполненные таблицы для всех вариантов расчета. Допускается вместо расчетных формул приводить распечатки расчетов с комментариями, выполненных в какой либо среде, например MathCad.

Таблицы и распечатки сопровождать комментариями в произвольной форме по результатам расчетов по каждому варианту и обоснованиями выбора следующего варианта или окончания расчета.

4. Техничко-экономическое сравнение вариантов развития магистрали.

Задание на проектирование

Целью курсового проекта является технико-экономическое сравнение двух вариантов создания зонных или магистральных цифровых линейных трактов. Первый вариант предполагает реконструкцию существующей магистрали на коаксиальном кабеле связи. Второй вариант предполагает строительство новой волоконно-оптической линии связи. Исходными данными для проектирования являются: общая протяженность существующей магистрали на коаксиальном кабеле и его тип, требуемая скорость передачи данных и максимально допустимая вероятность ошибки. Вариант индивидуального задания на курсовое проектирование определяется двумя последними цифрами номера студенческого билета предпоследней $N1$ и последней $N2$. Длина магистрали рассчитывается по выражению:

$$l_m = N1 \cdot 100 + N2 \cdot 10 + 89, \text{ км.}$$

Скорость передачи C определяется по последней цифре номера студенческого билета $N2$ в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1

$N2$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C, \text{ Мб/с}$	155	565	34	140	155	565	620	2500	34	620

Тип коаксиального кабеля определяется по последней цифре номера студенческого билета $N2$ следующим образом: при $N2 < 5$ – МКТСБ-4, при $N2 \geq 5$ – КМБ-4.

Указания по выполнению работы

1. Реконструкция магистрали на коаксиальном кабеле

1.1. Основные параметры магистрали

Одной из основных задач, решаемых при реконструкции магистрали на коаксиальном кабеле, является определение длины регенерационного участка.

Исходными данными для расчета являются:

- Общая протяженность магистрали l_m , км.
- Скорость передачи C , Мбит/с.
- Допустимая вероятность ошибки на всю магистраль p_{ed} .
- Выходная мощность регенератора P_m , Вт.
- Строительная длина кабеля l_{cd} , км.
- Волновое сопротивление коаксиальной пары Z_v , Ом.
- Коэффициент затухания коаксиальной пары α_0 на частоте F_0 , дБ/км.
- Коэффициент шума усилителя-корректора fk .
- Максимальная абсолютная температура кабеля T_a , К.

Параметры коаксиальных пар (КП) приведены в таблице 3.

Таблица 3

Тип кабеля	Число КП	l_{cd} , км	Z_v , Ом	α_0 , дБ/км	F_0 , МГц
КМБ-4	4	0.6	75	5.54	5
МКТСБ-4	4	1	75	11.91	5

Выходная мощность регенератора P_m при первоначальном расчете принимается равной 0.1 Вт.

Коэффициент шума усилителя-корректора принимается равным $fk = 4$.

Максимальная абсолютная температура принимается равной $T_a = 293$ К.

1.2. Принципы расчета длины регенерационного участка

В данном курсовом проекте предполагается, что в качестве линейного кода используется квазитрочный код с чередованием полярности импульсов (ЧПИ). В простейшем случае в этом коде логические единицы передаются положительными и отрицательными прямоугольными импульсами, причем каждая следующая единица имеет другую полярность. Логическим нулям соответствует отсутствие сигнала.

Известно, что для восстановления формы импульсного цифрового сигнала, передаваемого по магистрали, через определенные расстояния l_p необходимо устанавливать регенераторы. С точки зрения экономии целесообразно увеличивать расстояние l_p . Однако с увеличением l_p возрастают искажения передаваемого сигнала. Он ослабляется, импульсы растягиваются и начинают перекрывать друг друга. Возникают межсимвольные искажения, которые приводят к ошибкам при регенерации исходной последовательности импульсов. Для уменьшения межсимвольных искажений между решающим устройством регенератора и линией устанавливают усилитель-корректор

Коэффициент передачи согласованной линии на высоких частотах определяется выражением:

$$K_l(F) = \frac{U_l}{U_0} = \text{dec} \left(-\frac{\alpha \cdot l_p}{20} \right) \quad (1.1)$$

где U_0 , U_l – напряжения на входе и выходе линии, соответственно;

α – коэффициент затухания на частоте F , который может быть определен через коэффициент затухания α_0 на частоте F_0 по выражению:

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \sqrt{\frac{F}{F_0}}, \text{ дБ/км.} \quad (1.2)$$

Оператор $dec(x)$ в (1.1) равносильно выражению 10^x и используется в некоторых случаях для удобства записи.

Известно, что затухание импульсов в линии равно затуханию на полутактовой частоте $F/2$, численно равной половине скорости передачи C . С учетом этого коэффициент затухания на полутактовой частоте будет равен:

$$\alpha_t = \alpha_0 \cdot \sqrt{\frac{C}{2 \cdot F_0}}, \text{ дБ/км.} \quad (1.3)$$

Частотная зависимость коэффициента передачи K_{kl} , которая рекомендуется для системы линия+корректор и позволяет значительно уменьшить межсимвольные искажения, имеет вид:

$$K_{kl}(F) = K_l(F) \cdot K_k(F) = \cos^2\left(\frac{\pi \cdot F}{2 \cdot F_t}\right), \quad (1.4)$$

где $K_k(F)$ – частотная зависимость коэффициента передачи корректора, выражение для которой можно получить из (1.1), (1.3) и (1.4):

$$K_k = \cos^2\left(\frac{\pi \cdot F}{2 \cdot F_t}\right) \cdot dec\left(\frac{\alpha_t}{20} \cdot l_p \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot F}{F_t}}\right). \quad (1.5)$$

Для определения амплитуды прямоугольного импульса U_m на выходе регенератора (на входе линии), соответствующей логической единице, воспользуемся выражением:

$$U_m = \sqrt{P_m \cdot Z_v}. \quad (1.6)$$

Тогда амплитуда напряжения сигнала на входе решающего устройства будет равна

$$U_k = 0.5 \cdot U_m, \quad (1.7)$$

т.к. коэффициент передачи системы линия+корректор на полутактовой частоте равен 0.5.

На вход решающего устройства поступает также аддитивный шум со среднеквадратическим значением U_w . Для систем передачи с коаксиальным кабелем необходимо в первую очередь учитывать тепловые шумы кабеля. Шумы кабельной цепи эквивалентны шумам резистора с сопротивлением, равным Z_v . Увеличение уровня шума за счет усилителя-корректора учитывается шум-фактором fk . Помехами от взаимных влияний между коаксиальными парами и попутного потока можно пренебречь.

Решающее устройство принимает решение в момент стробирования, сравнивая поступающую на его вход смесь сигнала и шума с некоторым пороговым напряжением. При использовании квазитрочного кода используют два пороговых напряжения для логических единиц разной полярности. Оптимальными значениями пороговых напряжений являются $\pm 0.5U_k$. Процессы принятия решения хорошо иллюстрируется, так называемой, «глаз-диаграммой» (рис. 1), которая может быть получена экспериментально с помощью осциллографа, на вход Y которого поступает смесь сигнала и шума $u(t)$. Длительность развертки устанавливается равной двум тактовым интервалам $t_T = 1/C$, а синхронизация развертки осуществляется подачей на вход внешней синхронизации напряжения тактовой частоты. Тогда на экране осциллографа можно одновременно наблюдать все возможные сигналы с учетом

шумов в пределах двух тактов. Это переходы из 0 к $\pm U_k$, из $\pm U_k$ в 0, из U_k в $-U_k$ и из $-U_k$ в U_k . В центральной части осциллограммы видны так называемые «глаза», свободные от шумов. Их пересекают уровни пороговых напряжений $\pm 0.5U_k$. Оптимальному моменту принятия решения (стробирования) на осциллограмме соответствует $t=0$. При этом относительная ширина «глаз диаграммы» $L(t/t_T)$ максимальна $L(0)=0.747$. Для расчета относительной ширины «глаз-диаграммы» на выходе усилителя-корректора используется выражение

$$L(t/t_T) = \exp[-k \cdot (t/t_T)] \cdot [1 - 4 \cdot \exp(-k) \cdot \text{ch}(2k \cdot t/t_T)], \quad (1.8)$$

где $k=2.76$.

При смещении момента стробирования, которое может иметь место в реальном решающем устройстве, относительная ширина «глаз диаграммы» уменьшается. Для расчетов можно принять $t/t_T=0.1-0.2$. При этом минимальное значение выбирают для низкоскоростных систем передачи (до 155 Мбит/с), а максимальное - для систем передачи 2500 Мбит/с и выше.

При принятии решения о том, что передавалось 1 или 0, возможны ошибки, вероятность p_e которых можно определить через интеграл вероятности $\Phi(x)$

$$p_e = \frac{1}{2} \cdot [1 - \Phi(x)], \quad (1.9)$$

где $x = \frac{L(t/t_T) \cdot U_k}{2 \cdot U_{ш}}$ - (1.10)

аргумент интеграла вероятности, по сути представляющий собой отношение половины амплитуды сигнала логической единицы к шуму с учетом относительной ширины «глаз диаграммы».

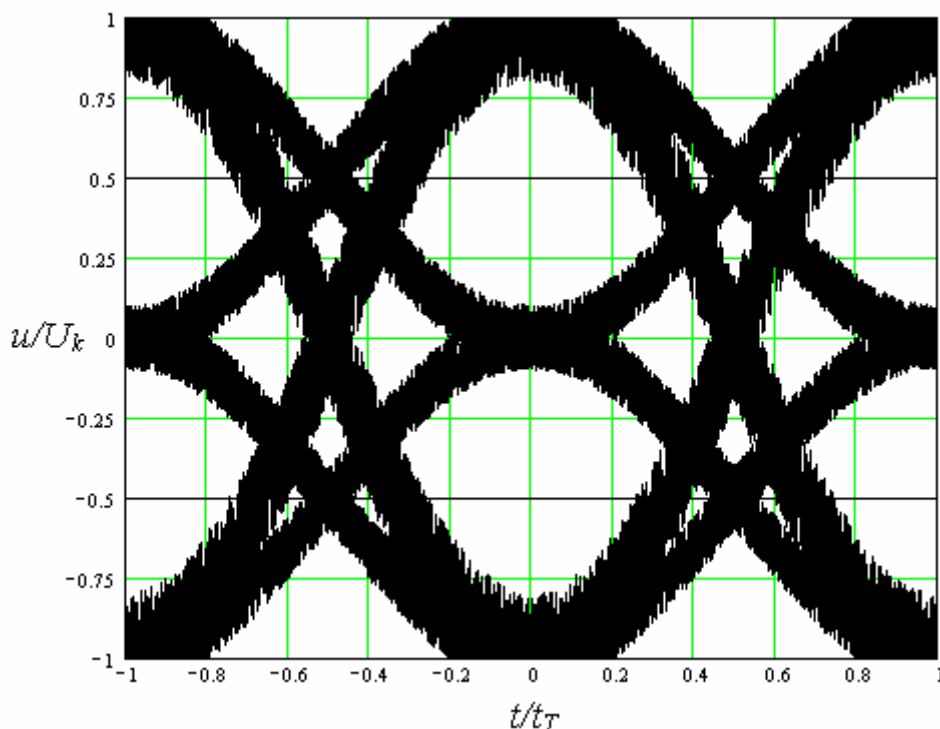


Рис. 1. Глаз-диаграмма квазитроичного цифрового сигнала

Интеграл вероятности относится к специальным функциям, которые не выражаются через элементарные функции. Их значения либо берут из таблиц, либо вычисляют по аппроксимационным формулам. Для расчета вероятности ошибки при $x > 5$ можно использовать выражение

$$P_e = \frac{I}{2} \cdot [I - \Phi(x)] = \frac{I}{x \cdot \sqrt{2x}} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \cdot \left(1 - \frac{I}{x^2}\right) \quad (1.11)$$

Определим среднеквадратическое напряжение шума на выходе усилителя-корректора (на входе решающего устройства), полагая тепловой шум волнового сопротивления Z_v белым со спектральной плотностью

$$S_{uu}^2 = 4 \cdot k_b \cdot T_a \cdot Z_v, \quad (1.12)$$

где $k_b = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана. Для среднеквадратического напряжения шума U_n на выходе усилителя-корректора с учетом его шум фактора fk и оптимальной частотной характеристики K_k можно записать

$$\begin{aligned} U_{uu}^2 &= \int_0^{F_t} S_{uu}^2 K_k^2 \cdot fk \cdot dF = \\ &= 4k_b T \cdot Z_v \cdot fk \cdot \int_0^{F_t} \cos^4\left(\frac{\pi F}{2F_t}\right) \cdot dec\left(\frac{\alpha_t}{10} \cdot l_p \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot F}{F_t}}\right) dF \end{aligned} \quad (1.13)$$

Из выражения (1.13) следует, что U_{uu} зависит от длины регенерационного участка l_p и, следовательно, величина x (1.10) и вероятность ошибки p_e на регенерационный участок (1.11) также зависят от его длины.

Обычно допустимая вероятность ошибки p_{ed} задается на всю магистраль длиной l_m . Тогда допустимая вероятность ошибки p_{ed1} на один участок регенерации l_p составит

$$p_{ed1} = \frac{p_{ed}}{n_p} = p_{ed} \cdot \frac{l_p}{l_m}, \quad (1.14)$$

где n_p – число участков регенерации одинаковой длины.

Используя выражения (1.11) и (1.14), можно определить максимально допустимую длину регенерационного участка, при которой обеспечивается допустимая вероятность ошибки p_{ed} , решив уравнение:

$$p_{ed} \cdot \frac{l_p}{l_m} = p_{e1}, \quad (1.15)$$

где p_{e1} зависимость вероятности ошибки (1.11) от аргумента x (1.10), который в свою очередь зависит от длины регенерационного участка l_p , т.к. напряжение шума (1.13) также является функцией l_p .

Уравнение (1.15) является трансцендентным и может быть решено численным или графическим методом. Программа «КурсСТНСЭ.exe» решает уравнение (1.15) и кроме того выводит результаты расчета в виде графиков зависимостей $p_{e1}(l_p)$ и $p_{ed1}(l_p)$. При этом точка пересечения определяет максимально допустимую длину участка регенерации l_{p0} для магистрали с одинаковой протяженностью участков, а также вероятность ошибки для этой длины.

Реально длины участков регенерации выбираются в зависимости от местных условий, но не больше величины l_{p0} . Минимально необходимое количество участков регенерации определяется выражением

$$n_p = \text{Int}\left(\frac{l_m}{l_{p0}} + 1\right), \quad (1.16)$$

где Int – обозначает целую часть числа.

Наиболее экономичным вариантом построения магистрали является вариант, при котором длины всех участков выбираются одинаковыми и равными средней длине участка регенерации

$$l_{pc} = \frac{l_m}{n_p}. \quad (1.17)$$

Вероятность ошибки для такой длины участка регенерации p_{ec1} можно определить по выражению (1.11) с использованием выражений (1.10) и (1.13). Общая вероятность ошибки на магистраль p_{ec} при этом будет в n_p раз больше.

Результаты расчетов поместим в таблицу 4.

Таблица 4

Номер расчета	$P_m, \text{ мВт}$	$l_p, \text{ км}$	n_p	$l_{pc}, \text{ км}$	p_{ec}	$Cm_{рек}, \text{ у.е.}$
1	100					
2						
...						

В качестве оптимального выбираем вариант расчета из табл. 4 с минимальными значениями P_m и n_p .

1.3. Расчет стоимости реконструкции

В ходе реконструкции не предполагается замена кабеля и соединительных муфт. Поэтому в стоимость необходимо включить только затраты на оконечное и промежуточное оборудование и работы по его установке, монтажу и наладке.

Для расчета стоимости оконечного и промежуточного оборудования воспользуемся упрощенными выражениями

$$Cm_{aок} = Cm_{aок0} \frac{F_t}{C_0}, \quad (1.18)$$

$$Cm_{анп} = Cm_{анп0} \frac{F_t}{C_0},$$

где $Cm_{aок0}=50$ у.е./канал - стоимость основного цифрового телефонного канала (ОЦТК) со скоростью $C_0=64$ кбит/с в оконечном оборудовании,

$Cm_{анп0}=20$ у.е./канал - стоимость ОЦТК в промежуточном оборудовании.

Стоимость монтажа оконечного оборудования можно принять равной $0.4 Cm_{aок0}$, промежуточного оборудования – $0.3 \cdot Cm_{анп0}$.

При расчете стоимости реконструкции полагаем, что магистраль содержит два оконечных оборудования и n_p-1 единиц промежуточного оборудования. Определим суммарную стоимость реконструкции как сумму стоимости аппаратуры и работ по ее вводу в эксплуатацию:

$$Cm_{рек} = [2.8 \cdot Cm_{aок} + 1.3 \cdot (n_p - 1) \cdot Cm_{анп}] \cdot \left(1 + \lg \frac{P_m}{100 \text{ мВт}}\right) \quad (1.19)$$

1.4. Последовательность расчета

1.4.1. Выполнение курсового проекта без использования программы «КурсСТНСЭ.exe»

Наиболее рационально проводить все расчеты, пользуясь программой КурсСТНСЭ.exe. Программу «КурсСТНСЭ.exe» можно скачать с сайта www.vizo.ru. Однако выполнить курсовой проект можно и без этой программы. Последовательность расчета приведена ниже.

1. Определить амплитуду напряжения прямоугольной формы на выходе регенератора (1.6) и амплитуду напряжения на входе решающего устройства (1.7).
2. Задаваясь допустимым смещением момента стробирования в соответствии с рекомендациями в п. 1.2, определить относительную ширину глаз-диаграммы (1.8).
3. Рассчитать коэффициент затухания на полутактовой частоте (1.3).
4. Рассчитать зависимость вероятности ошибки от длины регенерационного участка по выражению (1.11), используя для расчета выражения (1.13) и (1.10). Построить график.
5. Рассчитать зависимость допустимой вероятности ошибки на один участок регенерации от длины этого участка (1.14). Построить график.
6. С целью определения максимально допустимой длины участка регенерации графически решить уравнение (1.15). При графическом решении на одном графике строятся зависимости, полученные в пунктах 4 и 5.
7. Рассчитать необходимое количество участков регенерации (1.16) и регенерационных пунктов, полагая, что магистраль имеет два конечных пункта.
8. Рассчитать среднюю длину участка регенерации (1.17) и определить вероятность ошибки на магистраль для этой длины по графику зависимости вероятности ошибки от длины регенерационного участка, полученной в п. 4.
9. По выражениям (1.18) и (1.19) рассчитать стоимость реконструкции магистрали. Результаты расчетов по п. 1-9 свести в строку таблицы 4.

1.4.2. Выполнение курсового проекта с использованием программы «КурсСТНСЭ.exe»

1. Ввести исходные данные для реконструируемой магистрали.
2. Записать в текст курсового проекта результаты предварительных расчетов с экрана компьютера.
3. Задаваясь различными значениями смещения момента стробирования от 0 до 0.3 с шагом 0.05, построить графики зависимости максимально допустимой длины регенерационного участка и вероятности ошибки на средний регенерационный участок от смещения момента стробирования. Для изменения момента стробирования переместить курсор на графике «Зависимость относительной ширины глаз диаграммы от выбора момента стробирования» (вкладка глаз-диаграмма). При этом программа рассчитывает относительную ширину глаз диаграммы (1.8) и зависимости вероятности ошибки (1.11, зеленый график на вкладке «Вероятность ошибки») и допустимой вероятности ошибки (1.15, красный график на вкладке «Вероятность ошибки») от длины участка регенерации.

4. Ввести исходные данные к расчету стоимости реконструкции магистрали в соответствии с рекомендациями п. 1.3.

5. Задать смещение момента стробирования в соответствии с рекомендациями п. 1.2. Задаваясь различными значениями выходной мощности регенератора от 100 мВт до 1 Вт, записать в табл. 4 значения максимально допустимой длины регенерационного участка l_p , минимального числа регенерационных участков n_p , средней длины регенерационного участка l_{pc} , вероятности ошибки на регенерационный участок средней длины p_{ec} и стоимости реконструкции магистрали $C_{трек}$.

6. Проанализировать результаты расчетов в табл. 4 и выбрать оптимальный вариант, который должен иметь минимальные число участков регенерации, мощность регенератора и стоимость.

2. СТРОИТЕЛЬСТВО МАГИСТРАЛИ НА ОПТИЧЕСКОМ КАБЕЛЕ

2.1. Основные параметры магистрали

Исходными данными для расчета максимально допустимой длины регенерационного участка магистрали на ОК являются:

- Допустимая вероятность ошибки на всю магистраль p_{ed} .
- Общая протяженность магистрали l_m , км.
- Скорость передачи C , Мбит/с.
- Выходная мощность регенератора P_m , мВт.
- Длина волны λ , нм.
- Полуширина спектра излучения источника $\Delta\nu$, ГГц.
- Тип волокна (смотри табл. 5).
- Коэффициент затухания α , дБ/км.
- Хроматическая дисперсия D_x , пс/нм/км.
- Строительная длина кабеля l_{cd} , км.
- Потери в разъёмных соединениях a_p , дБ.
- Потери в неразъёмных соединениях a_n , дБ.
- Эксплуатационный запас по затуханию $a_{эз}$, дБ.

Значения: l_m , км, (общая протяженность магистрали), C , Мбит/с (скорость передачи), и p_{ed} (допустимая вероятность ошибки на всю магистраль), – определяются индивидуальным заданием в зависимости от двух последних цифр номера студенческого билета.

Выходная мощность регенератора P_m , мВт, для первичного расчета берется равной 1 мВт.

Длина волны λ , нм, - при расчете курсового проекта берется равной 1310 и 1550 нм.

Полуширина спектра излучения источника $\Delta\nu$, ГГц, для первичного расчета берется равной 100 ГГц; в случае необходимости может быть уменьшена до 1 ГГц

Параметры одномодовых волокон приведены в таблице 5.

Строительная длина оптического кабеля l_{cd} выбирается в пределах (3-10) км.

Средние потери в разъёмных соединениях $a_p = (0.2-0.4)$ дБ,

Средние потери в неразъёмных соединениях – $a_n = (0.05-0.1)$ дБ,

Эксплуатационный запас по затуханию $a_{эз} = (2.5-3.5)$ дБ.

Таблица 5

Параметры оптических волокон рекомендуемые МСЭ		Рекомендации МСЭ			
		G.652	G.653	G.655	G.655
Тип волокна		SSF	DSF	-NZDSF	+NZDSF
Окна прозрачности, нм		1300/1550	1500-1600	1530-1565	1530-1565
Коэффициент затухания α , дБ/км	$\lambda = 1310$ нм	0.34	<1.0	н/н	н/н
	$\lambda = 1550$ нм	0.22	0.22	0.19-0.22	0.19-0.22
Хроматическая дисперсия D_x , пс/км/нм	1310 нм	± 3.5	17-18	н/н	н/н
	1550 нм	17-18	± 3.5	-(5-8)	5-8

2.2. Принципы расчета длины регенерационного участка

Расчет максимально допустимой длины регенерационного участка проводится по двум критериям: по затуханию и по дисперсии.

Расчет по затуханию

Полагаем, что мощность оптических импульсов P_0 на выходе регенератора имеет гауссовскую форму и описывается выражением

$$P_0 = P_m \cdot \left[(1 - A) \exp\left(-\frac{(t/t_T)^2}{2 \cdot K^2}\right) + A \right], \quad (2.1)$$

где P_m , $t_T = \frac{1}{2C}$ – максимальная мощность оптического импульса на выходе регенератора и полуширина тактового интервала,

$P_m(1-A)$ – амплитуда гауссовского импульса.

A – отношение оптической мощности излучаемой при длинной последовательности нулей к мощности одиночной единицы. Величина A однозначно связана с коэффициентом гашения (экстинкции) K_G

$$A = 10^{-\frac{K_G}{10}},$$

$K = t_0/t_T$ – коэффициент равный отношению полуширины гауссовского импульса t_0 на выходе регенератора к полуширине тактового интервала, он всегда меньше 1. Для расчетов можно выбрать значения этого коэффициента в пределах (0.4-0.6).

Выбор параметра A можно провести в соответствии с рекомендациями МСЭ в пределах (0.08 – 0.15).

Известно, что хроматическая дисперсия совместно с затуханием приводит к расширению оптического импульса на выходе регенерационного участка и уменьшению его амплитуды. Форма импульса при этом остается гауссовской.

Для полуширины оптического импульса на выходе регенерационного участка длиной l_p можно записать

$$t_l = K \cdot t_T \sqrt{1 + \left[1 + (2 \cdot \pi \cdot \Delta\nu \cdot K \cdot t_T)^2 \right] \cdot \frac{\lambda^4 \cdot D_x^2 \cdot l_p^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot c^2 \cdot K^4 \cdot t_T^4}} = K_1 \cdot K \cdot t_T, \quad (2.2)$$

где $\Delta\nu$ – полуширина гауссовского спектра излучения источника на уровне $1/e$,

D_x – хроматическая дисперсия,

K_l – коэффициент, учитывающий дисперсионное расширение; он всегда больше 1,
 $c = 3 \cdot 10^5$ км/с – скорость света в вакууме.

Параметр K_1 можно выбрать из диапазона (1.12-1.18).

Выражение для формы оптического импульса на выходе регенерационного участка с учетом хроматической дисперсии, коэффициента затухания в ОВ α и дополнительного затухания за счет дисперсионного расширения, а также потерь в разъемных a_p и неразъемных a_n соединениях имеет вид:

$$P_l = P_m \cdot 10^{-\alpha \cdot l_p - n_p \cdot a_p - n_n \cdot a_n} \cdot \left[(1 - A) \frac{1}{K_1} \cdot \exp\left(-\frac{(t/t_T)^2}{2 \cdot K^2 \cdot K_1^2}\right) + A \right], \quad (2.3)$$

где n_p и n_n – количество разъемных и неразъемных соединений на регенерационном участке.

Из последнего выражения следует, что амплитуда гауссовского импульса за счет дисперсионного расширения уменьшается в K_l раз, т.е. возникает дополнительное затухание на регенерационном участке a_d за счет дисперсионного расширения

$$a_d = 10 \cdot \lg(K_1). \quad (2.4)$$

Тогда общее затухание для амплитуды гауссовского импульса составит

$$a_p = \alpha \cdot l_p + n_p \cdot a_p + n_n \cdot a_n + a_d. \quad (2.5)$$

Для определения формы и ширины импульса на входе порогового устройства необходимо также учесть искажения, которые возникают при преобразовании оптического гауссовского импульса (2.3) в электрическое напряжение за счет частотных искажений в фотоприемном устройстве (ФПУ). В первом приближении можно считать ФПУ фильтром нижних частот (ФНЧ) с постоянной времени τ_f . Полагаем, что дополнительное затухание в ФПУ a_{df} можно принять равным a_d . При этом дополнительное расширение импульса в ФПУ будет таким же, как и за счет дисперсии. Тогда для полуширины импульса на входе решающего устройства можно записать:

$$t_p = K \cdot K_1^2 \cdot t_T = B \cdot t_T \quad (2.6)$$

Относительную полуширину импульса B на входе решающего устройства можно выбрать из диапазона (0.65-0.75). Тогда относительная полуширина импульса на выходе регенерационного участка составит

$$K = \frac{B}{K_1^2}. \quad (2.7)$$

Постоянную времени ФНЧ можно определить по приближенной формуле

$$\frac{\tau_f}{t_T} = 0.8 \cdot B + 0.05 \quad (2.8)$$

Для заданной вероятности ошибки p_e можно определить необходимое отношение сигнала к шуму SN на входе решающего устройства регенератора по выражениям аналогичным (1.9 -1.11)

$$p_e = \frac{0.4 \cdot \exp(-0.5 \cdot x^2)}{x}, \quad (2.9)$$

где $x = \frac{L(t/t_T) \cdot SN}{2}$.

Относительная ширина глаз-диаграммы (рис. 2) определяется выражением

$$L(t/t_T) = (1 - A) \cdot \left\{ 2 \cdot \exp\left[-\frac{(t/t_T)^2}{2 \cdot B^2}\right] - \sum_{i=-q}^q \exp\left[-\frac{(t/t_T - 2 \cdot i)^2}{2 \cdot B^2}\right] \right\}. \quad (2.10)$$

С увеличением q точность расчета растет. Обычно достаточно выбрать $q=3$. Для проверки правильности выбора q рекомендуется повторить расчет при большем на единицу значении q . При этом результаты расчета не должны существенно отличаться

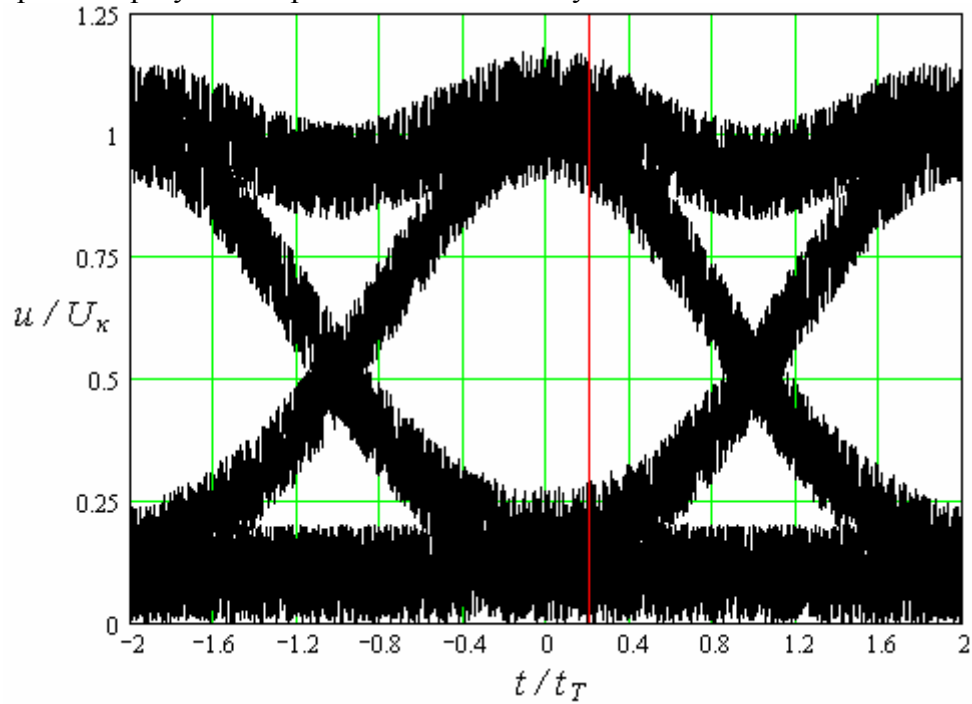


Рис. 2. Глаз-диаграмма оптического бинарного сигнала.

Будем полагать, что в качестве фотоприемника в ФПУ используется р-і-п или лавинный фотодиод (ФД), а усилитель фототока (УФТ) построен по схеме (рис. 3) преобразователя фототока I_f в выходное напряжение $U_{\text{вых}}$:

$$U_{\text{вых}} = I_f \cdot R \cdot M = S \cdot P_l \cdot R \cdot M, \quad (2.11)$$

где R - сопротивление резистора обратной связи, M - коэффициент лавинного умножения ($M = 1$ для р-і-п ФД).

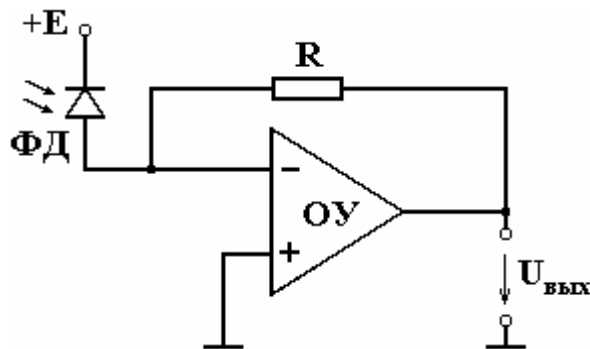


Рис. 3. Упрощенная схема ФПУ.

Важным параметром ФПУ является пороговая оптическая мощность, при которой напряжение сигнала $U_{\text{вых}}$ равно среднеквадратическому значению шума при отношении сигнала к шуму, равном 1. В табл. 6 приведены значения P_n , рассчитанные с учетом дробового тока ФД,

шума лавины, тепловых шумов резистора обратной связи, шумов операционного усилителя (ОУ).

Таблица 6

λ , нм	C , Мбит/с М	P_n , нВт						
		34	140	155	565	620	2500	10000
1310	1	15.8	90.5	104	635	726	5650	45000
	10	8.42	19.1	20.5	71.9	80.8	570	4480
	20	10.7	22.2	23.4	53.9	58.4	297	2246
	50	15.0	30.5	32.1	62.5	65.8	171	932
1550	1	13.4	76.6	87.7	536	614	4780	38000
	10	7.72	17.2	18.5	62.0	69.4	482	3790
	20	9.86	20.3	21.4	48.2	52.0	253	1900
	50	13.8	28.1	29.5	57.3	60.2	152	793

Используя данные таблицы 6, можно рассчитать зависимость отношения сигнала к шуму от длины участка регенерации l_p

$$SN = Y_m - Y_n - 2 \cdot a_{pc} - 2 \cdot a_d - a_{эз} - l_p \cdot \left(\alpha + \frac{a_c}{l_{cd}} \right) \quad (2.12)$$

где $Y_m = 10 \cdot \lg \frac{P_m \cdot (1 - A)}{1 \text{ мВт}}$, $Y_n = 10 \cdot \lg \frac{P_n}{1 \text{ мВт}}$ - уровни максимальной и пороговой мощности в дБм, т.е. по отношению к 1 мВт.

Для определения максимально допустимой длины регенерационного участка, при которой обеспечивается допустимая вероятность ошибки на всю магистраль p_{ed} и на один участок p_{ed1} , необходимо решить уравнение:

$$p_{ed1} = p_e,$$

которое с учетом (2.12) и (1.14) примет вид:

$$p_{ed} \cdot \frac{l_p}{l_k} = \frac{0.4 \cdot \exp(-0.5 \cdot x^2)}{x}, \quad (2.13)$$

где $l_k = l_m \cdot K_k$ - физическая длина ОК, которая всегда превышает длину трассы. Необходимый запас кабеля учитывается коэффициентом K_k , который можно выбрать из диапазона 1.05-1.10 (5-10%).

Уравнение (2.13) является трансцендентным и может быть решено численным методом. Программа «КурсСТНСЭ.exe» решает уравнение (2.13) и выводит результаты расчета в виде графиков зависимостей $p_e(l_p)$ и $p_{ed1}(l_p)$, причем точка пересечения определяет максимально допустимую длину участка регенерации l_{pe} по затуханию для магистрали с одинаковой протяженностью участков и вероятность ошибки для этой длины.

Расчет по дисперсии

Выражение для расчета максимальной длины регенерационного участка по дисперсии l_{pd} может быть получено из (2.2):

$$l_{pd} = \frac{2 \cdot \pi \cdot c \cdot K^2 \cdot t_T^2}{\lambda^2 \cdot |D_x|} \cdot \sqrt{\frac{K_1^2 - 1}{1 + (2 \cdot \pi \cdot \Delta v \cdot K \cdot t_T)^2}}. \quad (2.14)$$

Значения хроматической дисперсии D_x приведены в табл. 5.

Из двух полученных значений максимальной длины регенерационного участка l_{pe} и l_{pd} выбирается меньшее l_{p0} .

Минимально необходимое количество участков регенерации определяется выражением (1.16). Средняя длина участка регенерации определяется выражением (1.17).

Вероятность ошибки для средней длины участка регенерации p_{ec1} можно определить по выражению (2.9) с использованием выражений (2.10) и (2.12). Общая вероятность ошибки на магистраль p_{ec} при этом будет в n_p раз больше.

2.3. Расчет стоимости строительства

Будем полагать, что для магистрали будут использоваться одномодовые оптические кабели ОКЛ-10-0.22- x с броней из оцинкованной стальной проволоки, предназначенные для прокладки непосредственно в грунт. Количество волокон x должно, как минимум, превышать необходимое на два волокна. В нашем случае будем принимать $x=4$. Свободные волокна выполняют роль резерва, который необходим для обеспечения надежности ОК.

Расчет стоимости оконечного и промежуточного оборудования может быть проведен по выражению, аналогичному (1.18)

$$CT_{Aok} = CT_{Aok0} \frac{C}{C_0}, \quad (2.15)$$
$$CT_{Anp} = CT_{Anp0} \frac{C}{C_0},$$

где CT_{Aok0} – стоимость оконечного оборудования, приведенная к скорости цифрового потока, соответствующего одному телефонному каналу ($C_0=64$ кбит/с) у.е./канал (полагаем $CT_{Aok0}=70$ у.е./канал),

CT_{Anp0} – стоимость промежуточного оборудования, приведенная к одному каналу, у.е./канал (полагаем $CT_{Anp0}=25$ у.е./канал).

Стоимость монтажа оконечного оборудования можно принять равной $0.5 \cdot CT_{Aok}$, промежуточного оборудования – $0.4 \cdot CT_{Anp}$.

При расчете стоимости аппаратуры полагаем, что магистраль содержит два оконечных оборудования и N_r-1 единиц промежуточного оборудования.

Определить стоимость ОК длиной l_k можно по выражению

$$CT_{\kappa} = CT_{\kappa 0} l_k, \quad (2.16)$$

где $CT_{\kappa 0}$ – стоимость 1 км выбранного кабеля (таблица 7).

Для ориентировочной оценки стоимости прокладки и монтажа ОК CT_m необходимо сначала определить количество соединительных муфт

$$N_m = \text{Int} \left(\frac{l_k}{l_{cd}} + 1 - n_r \right). \quad (2.17)$$

$$CT_m = N_m \cdot (C_m + C_{mm}) + l_k \cdot CT_{p0} + CT_{\kappa}, \quad (2.18)$$

где C_m, C_{mm} – стоимость муфты и ее монтажа,

CT_{p0} – средняя стоимость прокладки 1 км оптического кабеля.

Суммарную стоимость строительства можно определить по выражению

$$CT_{cmp} = 3 \cdot CT_{Aok} + 1.8 \cdot (n_r - 1) \cdot CT_{Anp} + CT_m \quad (2.19)$$

В расчетах можно принять следующие средние стоимости изделий и работ:

$$C_m = 300 \text{ у.е.}; C_{mm} = 150 \text{ у.е.}; CT_{p0} = 1000 \text{ у.е./км.}$$

Таблица 7

Марка ОК	Рекомендации МСЭ	Тип ОБ	Броня	Стоим. у.е./км
ОК-10-0.22-4-Е-0	G.652	SSF	нет	505
ОК-10-0.22-4-С-0	G.653	DSF		810
ОК-10-0.22-4-Н-0	G.655	+NZDSF		950
ОК-10-0.22-4-Н-0	G.655	-NZDSF		950
ОК-10-0.22-4-Е-1	G.652	SSF	есть	870
ОК-10-0.22-4-С-1	G.653	DSF		1175
ОК-10-0.22-4-Н-1	G.655	+NZDSF		1315
ОК-10-0.22-4-Н-1	G.655	-NZDSF		1315

2.4. Последовательность расчета

2.4.1. Выполнение курсового проекта без использования программы «КурсСТНСЭ.exe»

Наиболее рационально проводить все расчеты, пользуясь программой КурсСТНСЭ.exe. Однако выполнить курсовой проект можно и без этой программы. Последовательность расчета приведена ниже.

1. Рассчитать дополнительное затухание сигнала a_d за счет хроматической дисперсии по выражению (2.4).
2. Рассчитать зависимость вероятности ошибки p_e от длины участка регенерации l_p по выражениям (2.9, 2.10 и 2.12) для исходных данных, приведенных в табл. 8. Построить график.
3. Рассчитать зависимость допустимой вероятности ошибки от длины участка регенерации по выражению (1.14). Построить график.
4. С целью определения максимально допустимой длины участка регенерации необходимо решить уравнение (2.13) графически. При графическом решении на одном графике строятся зависимости, полученные в пунктах 2 и 3.
5. Рассчитать количество участков регенерации (1.16), рассчитать среднюю длину участка регенерации (1.17) и определить вероятность ошибки p_{ec1} на один участок средней длины по графику $p_e(l_p)$ из пункта 2 и вероятность ошибки p_{ec} на всю магистраль.
6. Рассчитать, количество муфт (2.17), стоимость кабеля (2.16) и общую стоимость строительства (2.19) с учетом (2.15) и (2.18). Результаты расчетов по пунктам 2-6 поместить в таблицу 8.

Таблица 8

№ п/п	λ , нм	M	P_m , мВт	Тип ОБ	$\Delta\nu$, ГГц	l_{pe} , км	l_{pd} , км	n_r	l_{pc} , км	p_{ec}	p_e	C_{cmp} , у.е.
1	1310	1	1	SSF	100							
2	1550	1	1	SSF	100							
3	1550	1	1	DSF	100							
4	1310	10	1	SSF	100							

5	1550	10	1	SSF	100							
6	1550	10	1	DSF	100							
7			50		100							
....												

7. С целью повышения экономической эффективности и уменьшения количества участков регенерации выбрать из 6 первых вариантов наиболее экономичный и увеличить выходную мощность до 50 мВт. Если в результате расчета не удастся уменьшить количество участков регенерации, необходимо перейти к следующему пункту расчета. Если удастся уменьшить количество участков регенерации, то надо повторить расчеты по пунктам 5 и 6. К вновь рассчитанной стоимости строительства необходимо добавить стоимость более мощных передающих устройств

$$C_{don1} = 2 \cdot 10000 + (n_r - 1) \cdot 10000, \text{ y.e.} \quad (2.20)$$

8. Для трех наиболее экономичных вариантов из табл. 8, включая расчет в строке 7, провести расчет длины регенерационного участка по дисперсии (2.14), выбрав значения коэффициентов K_1 , B и рассчитав K по (2.7), а также приняв полуширину спектра излучения равной $\Delta\nu = 100 \text{ ГГц}$. Результаты поместить в графу l_{pd} табл. 9.

9. Если рассчитанные длины регенерационных участков по дисперсии l_{pd} больше средних длин по затуханию l_{pc} , то эти варианты необходимо сравнить только по стоимости строительства и выбрать наиболее экономичный. В противном случае необходимо уменьшить полуширину спектра излучения источника. Минимальная полуширина спектра может составлять 1 ГГц.

При этом надо учитывать, что уменьшение ширины спектра излучения увеличивает стоимость источников излучения и строительства в целом на

$$C_{don2} = 2 \cdot 2500 \cdot (2 - \lg \Delta\nu) + (n_r - 1) \cdot 2500 \cdot (2 - \lg \Delta\nu), \quad (2.21)$$

$\Delta\nu$ подставляется в ГГц.

10. Если не удастся увеличить длину регенерационного участка по дисперсии l_{pd} до величины l_{pc} , то в качестве средней длины регенерационного участка можно принять полученную максимальную величину l_{pd} , повторить расчеты по пунктам 5-9 с учетом (2.20) - (2.21) и занести результаты в дополнительные строки табл. 8.

2.4.2. Выполнение курсового проекта с использованием программы «КурсСТНСЭ.exe»

1. Ввести исходные данные и дополнительные параметры для проектируемой магистрали в соответствии с рекомендациями п. 2.1 и 1-й строкой табл. 8, а также исходные данные к расчету стоимости строительства магистрали в соответствии с рекомендациями п. 2.3. Обратить внимание, что длина магистрали, скорость передачи и вероятность ошибки вводятся на вкладке «Коаксиальный кабель».

2. Задать смещение момента стробирования в соответствии с рекомендациями п. 1.2. при этом программа рассчитает относительную ширину глаз-диаграммы (2.10, вкладка «Глаз-диаграмма») и зависимости вероятности ошибки (2.10, зеленый график на вкладке «Вероятность ошибки») и допустимой вероятности ошибки (1.15, красный график на вкладке «Вероятность ошибки») от длины участка регенерации.

3. Записать в первую строку табл. 8 результаты расчетов параметров магистрали.

4. Изменяя исходные данные в соответствии с левой частью табл. 8, занести результаты расчетов в ту же таблицу. Заполнить первые 6 строк таблицы.

5. С целью повышения экономической эффективности и уменьшения количества участков регенерации выбрать из шести первых вариантов три наиболее экономичных, увеличить выходную мощность до 50 мВт и заполнить с 7 по 9 строки таблицы 8.

6. Если рассчитанные длины регенерационных участков по дисперсии l_{pd} , больше средних длин по затуханию l_{pc} , то эти варианты необходимо сравнить только по стоимости строительства и выбрать наиболее экономичный. В противном случае необходимо уменьшить полуширину спектра излучения источника. Минимальная полуширина спектра может составлять 1 ГГц.

2.5. Сравнение возможных вариантов развития магистрали

Сравнивая два варианта проектных решений, предпочтение следует отдавать более экономичному, т.е. реконструкции или строительству. При сравнении вариантов надо хотя бы качественно сравнить их по надежности и по эксплуатационным расходам, которые в первую очередь зависят от количества регенераторов. Кроме того, необходимо рассмотреть перспективы дальнейшего развития реконструируемой и строящейся магистралей. Надо оценить возможности увеличения пропускной способности магистрали.

Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

2. Измерение параметров волоконно-оптических линейных трактов. Учебное пособие для вузов. М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, Л.Н. Кочановский, В.В. Пискунов, СПб ГУТ, 2002 г.
3. Передаточные характеристики оптических волокон. Учебное пособие для вузов. С.Ф. Глаголев, В.С. Иванов, Л.Н. Кочановский СПб ГУТ, 2005 г.
4. Оптимизация линий связи первичных сетей. Учебное пособие для вузов. С.Ф.Глаголев, Б.К.Никитин СПб ГУТ, 2005 г.
5. Оптимизация линейных сооружений связи. С.М. Верник, Л.Н. Кочановский. М.: Радио и связь, 1984 г.
6. Конструкция, прокладка, соединение и защита оптических кабелей связи //Рекомендации МСЭТ, Женева, 1994 г.
7. Основы проектирования сооружений связи. А.И. Овсянников, В.А. Колесников, М.К. Цибулин. М. Радио и связь, 1991 г.
8. Справочное пособие заказчика-застройщика, т.т.1,2. Н.И. Монахов. М. Стройиздат, 1990 г.

б) дополнительная литература:

1. Волоконная оптика (Компоненты, системы, измерения). А.Б Иванов.SYRUS system.М.:, 1999 г.
2. Волоконно-оптические системы передачи и кабели. Справочник. И.И. Гроднев, А.Г. Мурадян, Р.М. Шарафутдинов и др. Радио и связь. М.,1993.
3. Волоконно-оптические системы связи. Справочник. Б.З. Берлин, А.С. Брискер, В.С. Иванов. М.:, Радио и связь.М.,1994 г.
4. Коаксиальные и высокочастотные симметричные кабели связи: Справочник / Воронцов А.С., Маркелов А.П., Соловейчик Б.Л. и др. – М.: Радио и связь, 1994. – 312 с.: ил.