

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

**Автономное профессиональное образовательное учреждение
Удмуртской Республики
«Техникум радиоэлектроники и информационных технологий
имени Александра Васильевича Воскресенского»**

Практические работы

по МДК 01.01 «Технология монтажа и обслуживания направляющих систем»

Разработали
преподаватели:

Е.В. Нагорнова,
А.Д. Насретдинов

Практическая работа № 1

«Конструкции и маркировки кабелей местных сетей»

Цель: По образцам кабелей связи изучить их конструктивные элементы и ознакомиться с кабельными материалами. Научиться по конструкции определять тип (марку) и область применения кабеля телефонной связи.

Время выполнения: 2 часа.

Оборудование: Плоскогубцы, кабельный нож, микрометр, штангенциркуль, измерительная линейка, ножовка, куски междугородного, городского и сельского телефонных кабелей.

Ход работы:

Задание: Произвести разделку предложенных образцов кабелей, снять данные отдельных конструктивных элементов и занести в таблицу 1. Изучить конструкцию образцов кабелей. определить марку каждого кабеля.

В процессе выполнения работы студент должен проделать следующие операции:

- разделить наружный и внутренний покровы, а также броню кабеля по слоям (при наличии данных конструктивных элементов);
- замерить толщину наружного и внутреннего покровов и брони;
- снять влагозащитную оболочку и замерить её наружный диаметр и толщину;
- снять размеры поясной изоляции и экрана (если он присутствует в конструкции кабеля);
- разобрать жилы кабеля по повивам (пучкам) и подсчитать число групп в каждом повиве (пучке);
- определить тип изоляции токопроводящих жил, замерить диаметр голой жилы, изолированной жилы и диаметр корделя (если он имеется);
- определить тип и марку каждого из предложенных образцов кабелей и проводов.

Все данные кабеля и измерений свести в таблицу 1.

Таблица 1

Наружный диаметр кабеля, мм	Материал и толщина подушки, мм	Форма и размер брони, мм	Наружный диаметр оболочки, мм	Материал и толщина оболочки, мм

Число повивов в кабеле	Число групп в каждом повиве	Токопроводящие жилы			Тип кабеля	Маркировка кабеля	Обл. прим кабеля	Способ прокладки
		изоляция	Материал и диаметр	Скрутка жил				

Содержание отчёта.

- 1 Цель работы.
- 2 Поперечное сечение кабелей, которые подвергались разборке.
- 3 Пояснение о влагозащитных оболочках, пояснение о экране и о защитных покровах кабелей.
- 4 Указание о мерах применения кабелей с различными видами брони.
- 5 Таблица произведённых обмеров.
- 6 Сведения о кабельных материалах, применяемых при монтаже изученных образцов кабелей.

Контрольные вопросы.

- 1 Дайте определение кабеля связи.
- 2 Какие кабели называются высокочастотными?
- 3 Какие диаметры медных жил применяются в междугородных и городских телефонных кабелей?
- 4 Назовите основные требования, предъявляемые к материалу изоляции кабельных жил.
- 5 С какой целью в кабелях связи производят скручивание изолированных жил в группы?
- 6 Определите число групп в четвёртом повиве, если центральный повив, состоит из пяти пар. Какую ёмкость имеют междугородные кабели типа МКС?
- 7 Перечислите положительные свойства алюминиевой и полиэтиленовой влагозащитной оболочки.
- 8 Какова конструкция брони кабелей прокладываемых через водные преграды и в каналах телефонной канализации?

- 9 Каким припоем производится запайка свинцовых муфт?
- 10 Что обозначают буквы "С" и "Б" в маркировке кабеля?
- 11 Поясните, почему в конструкции кабелей со стальной оболочкой имеется экран, а с алюминиевой отсутствует?
- 12 Какие кабели применяют в качестве вставок в воздушные линии связи?
- 13 Какие кабели применяют для организации зоной связи?
- 14 Какую изоляцию имеют токопроводящие жилы в кабелях типа Т, ТП, МК, ТЗП, ТС, МКС?
- 15 Каков материал оболочки кабелей типа Т, ТП, ТС, МКС?
- 16 Какие кабели используются на магистральной и распределительной сети абонентских линий ГТС? Какие кабели применяются для оборудования абонентских пунктов?
- 17 Посредством, каких проводов производится кроссировка пар магистральных и распределительных кабелей в шкафах?
- 18 Какие кабели используются для организации межстанционных соединительных линий на СТС?

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 2

«Конструкции и маркировки магистральных и зонавых электрических кабелей связи»

Цель: Изучение конструкций и маркировок магистральных и зонавых электрических кабелей связи.

Время выполнения: 2 часа.

Ход работы:

Теоретические сведения:

Для построения компьютерных сетей применяются линии связи, использующие различную физическую среду. В качестве физической среды в коммуникациях используются металлы (в основном медь), сверхпрозрачное стекло (кварц) или пластик и эфир. Физическая среда передачи данных может представлять собой кабель "витая пара", коаксиальные кабель, волоконно-оптический кабель и окружающее пространство.

Линии связи, или линии передачи, данных - это промежуточная аппаратура и физическая среда, по которой передаются информационные сигналы (данные).

В одной линии связи можно образовать несколько каналов связи (виртуальных или логических каналов), например путем частотного или временного разделения каналов. Канал связи - это средство односторонней передачи данных. Если линия связи монопольно используется каналом связи, то в этом случае линию связи называют каналом связи.

Канал передачи данных - это средства двухстороннего обмена данными, которые включают в себя линии связи и аппаратуру передачи (приема) данных. Каналы передачи данных связывают между собой источники информации и приемники информации.

В качестве линий связи могут быть применены коаксиальный кабель или кабель "витая пара".

Витая пара (англ. twisted pair) — вид кабеля связи, представляет собой одну или несколько пар изолированных проводников, скрученных между собой (с небольшим числом витков на единицу длины), покрытых пластиковой оболочкой. Свивание проводников производится с целью повышения связи проводников одной пары (электромагнитная помеха одинаково влияет на оба провода пары) и последующего уменьшения электромагнитных помех от внешних источников, а также взаимных наводок при передаче дифференциальных сигналов. Для снижения связи отдельных пар кабеля (периодического сближения проводников различных пар) в кабелях UTP категории 5 и выше провода пары свиваются с различным шагом. Витая пара - один из компонентов современных структурированных кабельных систем. Используется в телекоммуникациях и компьютерных сетях в качестве сетевого носителя во многих технологиях, таких как Ethernet, ARCNet и Token ring. В настоящее время благодаря своей дешевизне и лёгкости в установке является самым распространённым решением для построения локальных сетей.

Кабель подключается к сетевым устройствам при помощи соединителя 8P8C (RJ45 или RJ-45), немного большего, чем телефонный соединитель RJ11.

В зависимости от наличия защиты — электрически заземлённой медной оплетки или алюминиевой фольги вокруг скрученных пар - определяют разновидности данной технологии.

Незащищенная витая пара

Неэкранированная витая пара (UTP — Unscreened twisted pair) — экранирование полностью отсутствует;

Фольгированная витая пара (FTP — Foiled twisted pair) — также известна как S/UTP [1] присутствует один общий внешний экран;

Фольгированная экранированная витая пара (SFTP — Shielded Foiled twisted pair) — отличается от FTP наличием дополнительного внешнего экрана из медной оплетки;

Виды защищенной витой пары:

Стандартная (STP — Shielded twisted pair) присутствует экран для каждой пары;

Экранированная витая пара (S/STP — Screened shielded twisted pair) отличается от STP наличием дополнительного общего внешнего экрана.

Экранирование обеспечивает лучшую защиту от электромагнитных наводок как внешних, так и внутренних, и т. д. Экран по всей длине соединен с неизолированным дренажным проводом, который объединяет экран в случае разделения на секции при излишнем изгибе или растяжении кабеля. В зависимости от структуры проводников кабель применяется одно- и многожильный. В первом случае каждый провод состоит из одной медной жилы, а во втором — из нескольких.

Одножильный кабель не предполагает прямых контактов с подключаемой периферией. То есть, как правило, его применяют для прокладки в коробах, стенах и так далее с последующим оконечиванием розетками. Связано это с тем, что медные жилы довольно толстые и при частых изгибах быстро ломаются. Однако для «врезания» в разъемы панелей розеток такие жилы подходят как нельзя лучше.

В свою очередь, многожильный кабель плохо переносит «врезание» в разъемы панелей розеток (тонкие жилы разрезаются), но замечательно ведет себя при изгибах и скручиваниях. Кроме того, многожильный провод обладает большим затуханием сигнала. Поэтому многожильный кабель используют в основном для изготовления патчкордов (PatchCord), соединяющих периферию с розетками.

Конструкция кабеля

Кабель обычно состоит из четырёх пар. Проводники в парах изготовлены из монолитной медной проволоки толщиной 0,5 - 0,65 мм. Кроме метрической, применяется система AWG, в которой эти величины составляют 24 или 22 соответственно. Толщина изоляции около

0,2 мм, материал обычно поливинилхлорид (английское сокращение PVC), для более качественных образцов 5-й категории – полипропилен (PP), полиэтилен (PE). Особенно высококачественные кабели имеют изоляцию из вспененного (ячеистого) полиэтилена, который обеспечивает низкие диэлектрические потери, или тефлона, обеспечивающего уникальный рабочий диапазон температур.

Также внутри кабеля встречается так называемая «разрывная нить» (обычно капрон), которая используется для облегчения разделки внешней оболочки: при вытягивании она делает на оболочке продольный разрез, который открывает доступ к кабельному сердечнику, гарантированно не повреждая изоляцию проводников.

Внешняя оболочка имеет толщину 0,5 - 0,6 мм и обычно изготавливается из привычного поливинилхлорида с добавлением мела, который повышает хрупкость. Это необходимо для точного облома по месту надреза лезвием отрезного инструмента. Кроме этого начинают применяться так называемые «молодые полимеры», которые не поддерживают горения и не выделяют при нагреве галогенов (такие кабели маркируются как LSZH - Low Smoke Zero Halogen и обычно имеют яркую окраску внешней оболочки).

Самый распространенный цвет оболочки - серый. Оранжевая окраска, как правило, указывает на негорючий материал оболочки, который позволяет прокладывать линии в закрытых областях. В общем случае цвета не обозначают особых свойств, но их применение позволяет легко отличать коммуникации с разным функциональным назначением как при монтаже, так и обслуживании.

Отдельно нужно отметить маркировку. Кроме данных о производителе и типе кабеля она обязательно включает в себя метровые или футовые метки.

Форма внешней оболочки также может быть различна. Чаще других применяется самая простая - круглая. Только для прокладки под половым покрытием по очевидной причине используется плоский кабель.

Кабели для наружной прокладки обязательно имеют влагостойкую оболочку из полиэтилена, которая наносится (как правило) вторым слоем поверх обычной, поливинилхлоридной. Кроме этого возможны заполнение пустот в кабеле водоотталкивающим гелем и бронирование с помощью гофрированной ленты или стальной проволоки.

Категории кабеля

Существует несколько категорий кабеля „витая пара”, которые нумеруются от CAT1 до CAT7 и определяют эффективный пропускаемый частотный диапазон. Кабель более высокой категории обычно содержит больше пар проводов и каждая пара имеет больше витков на единицу длины. Категории неэкранированной витой пары описываются в стандарте EIA/TIA 568 (Американский стандарт проводки в коммерческих зданиях).

CAT1 (полоса частот 0.1 МГц) - телефонный кабель, всего одна пара (в России применялся кабель без скруток — «лапша», у него характеристики не хуже, но больше влияние помех). В США использовался ранее только в «скрученном» виде. Применяется только для передачи голоса или данных при помощи модема.

CAT2 (полоса частот 1 МГц) - старый тип кабеля, 2 пары проводников, поддерживал передачу данных на скоростях до 4 Мбит/с, использовался в сетях token ring и ARCNet. Сейчас иногда встречается в телефонных сетях.

CAT3 (полоса частот 16 МГц) - 4-парный кабель, использовался при построении локальных сетей 10BASE-T и token ring, поддерживает скорость передачи данных до 10 или 100 Мбит/с по технологии 100BASE-T4. В отличие от предыдущих двух отвечает требованиям стандарта IEEE 802.3. Также до сих пор встречается в телефонных сетях.

CAT4 (полоса частот 20 МГц). Кабель состоит из 4 скрученных пар, использовался в сетях token ring, 10BASE-T, 100BASE-T4, скорость передачи данных не превышает 16 Мбит/с по одной паре, сейчас не используется.

CAT5 (полоса частот 100 МГц) - 4- парный кабель, это и есть то, что обычно называют кабель «витая пара» (рис. 8.19). Благодаря высокой скорости передачи до 100 Мбит/с при использовании 2 пар и до 1000 Мбит/с при использовании 4 пар, является самым распространённым сетевым носителем, используемым в компьютерных сетях до сих пор. При прокладке новых сетей пользуются несколько усовершенствованным кабелем CAT5e (полоса частот 125 МГц), который лучше пропускает высокочастотные сигналы. Ограничение на длину кабеля между устройствами (компьютер-свитч, свитч-компьютер, свитч-свитч) 100 м. Ограничение хаб-хаб 5 м.

CAT6 (полоса частот 250 МГц) применяется в сетях Fast Ethernet и Gigabit Ethernet, состоит из 4 пар проводников и способен передавать данные на скорости до 1000 Мбит/с. Добавлен в стандарт в июне 2002 года. Существует категория CAT6a, в которой увеличена частота пропускаемого сигнала до 500 МГц. По данным IEEE, в 70 % установленных сетей в 2004 году применялся кабель категории CAT6.

CAT7. Спецификация на данный тип кабеля пока не утверждена, скорость передачи данных до 100 Гбит/с, частота пропускаемого сигнала до 600-700 МГц. Кабель этой категории экранирован. Седьмая категория витой пары не UTP, а S/FTP (Screened Fully shielded Twisted Pair). Благодаря двойному экрану длина кабеля может превышать 100 м.

Схемы обжима витой пары

Для обжима витой пары UTP используются разъемы стандарта RJ-45 (рис. 1), которые в зависимости от вида кабеля «витой пары» бывают:

- экранированными или неэкранированными;
- конструктивно выполненными со вставками или без вставок.

Вставки выполняют роль направляющих для проводников «витой пары», упрощающих заправку проводников в корпус разъема;

- для одножильных или многожильных «витых пар».

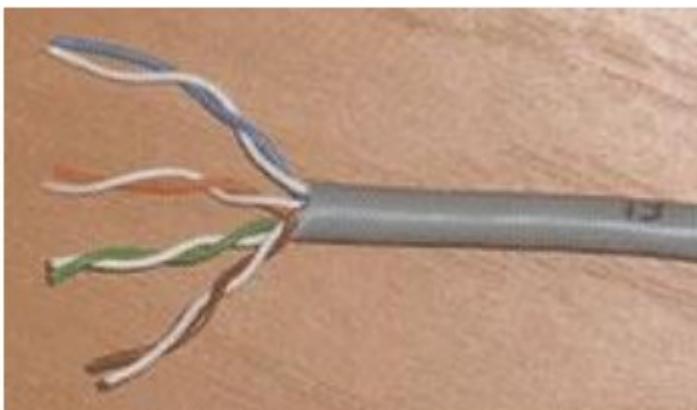


Рис. 1. Кабель из 4 неэкранированных витых пар

Для обжимки «витых пар» используют специальный инструмент, который имеет три рабочие области и соответственно выполняет три функции:

1. Ближе всего к рукояткам устройства располагается область, в которой установлен нож для обрезания проводников «витой пары». Также в этой области есть специальная выемка для снятия внешней изоляции с круглого кабеля (рис. 1).



Рис. 8.20. Разъем RJ-45 для «витой пары»
+ вставка



Рис. 2. Устройство для зачистки и обжима сетевого кабеля

2. В центре находится гнездо для обжима разъема RJ-45.

3. В верхней части устройства, область для зачистки наружной изоляции витой пары UTP (внутренняя изоляция проводников не зачищается, а прорезается контактами разъема).

Существует две схемы обжимки кабеля: прямой кабель и перекрестный (Crossover) кабель (рис. 2).

а)



Рис. 3. Схемы обжимки кабеля: а - прямой кабель



Рис. 4. Схемы обжимки кабеля: б - перекрестный (кросс-овер) кабель

Первая схема используется для соединения компьютера со свитчем/хабом, вторая для соединения двух компьютеров напрямую.

Кабельный тестер (Lan Tester)

Проверить качество выполненных соединений можно с помощью кабель тестера. В работе используется устройство LT200 представляющее собой простой кабельный тестер (Lan Tester) для экранированных (STP/FTP) и неэкранированных (UTP) кабелей витая пара. Тестер LT200 состоит из двух модулей - приемника и передатчика



Рис. 5

Приемник имеет один экранированный порт RJ-45 и один блок из 9 светодиодных индикаторов. Модуль приемника используется совместно с передатчиком при тестировании линии на удаленном конце. С помощью модуля приемника можно тестировать кабельные сегменты длиной до 305 метров. Светодиоды блока индикаторов приемника (9 шт.) имеют цифры от 1 до 8 обозначающие номер проводника, и символ G (Ground) - обозначающий экран кабеля. Приемник не имеет батареи, так как получает питание из линии от передатчика.

В отличии от приемника, модуль передатчика имеет уже два экранированных порта RJ-45 и два блока по 10 светодиодных индикаторов.

Модуль передатчика используется совместно с приемником при тестировании линии, а также без приемника при тестировании патч-кордов. При тестировании патч-кордов, обе вилки патч-корда подключаются к соответствующим портам RJ-45 модуля передатчика. Светодиоды блока индикаторов передатчика (10 шт.) имеют цифры от 1 до 8 обозначающие номер проводника, символ G (Ground) - обозначающий экран кабеля и символ P (Power) - питание. Питание передатчика осуществляется от 9В батареи типа "Крона".

Также передатчик имеет: батарейный отсек для установки 9В батарейки типа "Крона", кнопку ON/OFF, колесико-регулятор скорости тестирования.

С помощью кабельного тестера LT200 можно выявить следующие ошибки, возникающие при монтаже:

- закороченные пары проводов (Shorted);
- открытые пары проводов (Open);
- перекрестные пары проводов (Crossed);
- реверсивные пары проводов (Reversed);
- перемещенные пары проводов (перестановленные-Transposed);
- расщепленные пары проводов (Split)

splitted pair - расщепленная пара. Наиболее трудно обнаруживаемая ошибка при монтаже витой пары, у которой один провод смонтирован правильно, а второй подключен к контакту другой пары);

- Non-Pair (не пара) Wiring.

Визуальный контроль в процессе тестирования может проводиться на любом из 2-х модулей. Также прибор позволяет проверить целостность экрана кабеля.

Если кабель не подключен, мигает только один ряд светодиодов. А когда кабель вставлен в оба модуля, светодиоды под номерами с 1 до 8 поочередно загораются и на приемнике, и на передатчике – по крайней мере, если жилы кабеля целы, а концы обжаты правильно. Светодиод же, обозначенный буквой G, будет светиться только при наличии заземления.

Если один из светодиодов не загорается, значит, сигнал не проходит по жиле с этим номером. Допустим, если не горит светодиод 2 на передатчике, сигнал обрывается на втором слева проводнике в коннекторе, вставленном в передатчик. При замыкании жил на передатчике светодиоды загораются, как положено, а на приемнике не горят два (три, четыре) светодиода либо при загорании одного индикатора на передатчике на приемнике вспыхивают два. Эти проблемы чаще всего решаются переобжатием концов витой пары. Если оно не помогает, возможно, поврежден сам провод – в таком случае его придется заменить, так как данный тестер примитивен и не может указать, насколько далеко от конца кабеля разрыв (а бывают девайсы, которые могут и это, – они дороже и сложнее в обращении).

В современных сетях чаще всего используется схема обжатия без перекрещивания – порядок жил витой пары на концах кабеля совпадает. Если светодиоды на передатчике загораются строго по очереди, а на приемнике – в неправильном порядке, значит, проводники перепутаны местами. Например, если после шестого загорается сначала восьмой, а потом седьмой светодиод, значит, жилы 7 и 8 заняли места друг друга. Необходимо отрезать штепсель и обжать конец кабеля, внимательно проследив за корректным порядком жил – для этого на них сделана разноцветная изоляция (бело-оранжевая, оранжевая, бело-зеленая, синяя, бело-синяя, зеленая, бело-коричневая, коричневая). При проверке телефонных кабелей тестер используется точно так же, как с витой парой, только в таком проводе шесть жил, и гореть будут первые шесть светодиодов.

Тестер LT200 нельзя подключать в активную цепь, т.е. на концах тестируемой линии не должно быть работающего активного оборудования, в противном случае тестер выйдет из строя.

Задание:

1. Изучить теоретический материал, записав основные моменты лабораторной работы.
2. Обжать кабель «витая пара» по схеме кроссовер.
3. Вначале проводят зачистку наружной изоляции кабеля. При зачистке плоского кабеля его упирают в специальный выступ на устройстве, расположенный в области зачистки, чтобы получить глубину зачистки под стандартный разъем, зажимают кабель и

рывком производят зачистку. Немного более сложным выглядит процесс зачистки круглых кабелей витых пар. Наружную изоляцию круглого кабеля лучше только слегка надрезать, осторожно поворачивая его в области зачистки, а затем снять кусочек изоляции по кольцевому надрезу вручную. На многих обжимных устройствах есть специальная область для снятия внешней изоляции с круглого кабеля.

4. После зачистки разводят провода сетевого кабеля в одной плоскости в необходимом порядке, выравнивают длину всех проводов и еще раз ровно подрезают (рис. 6).

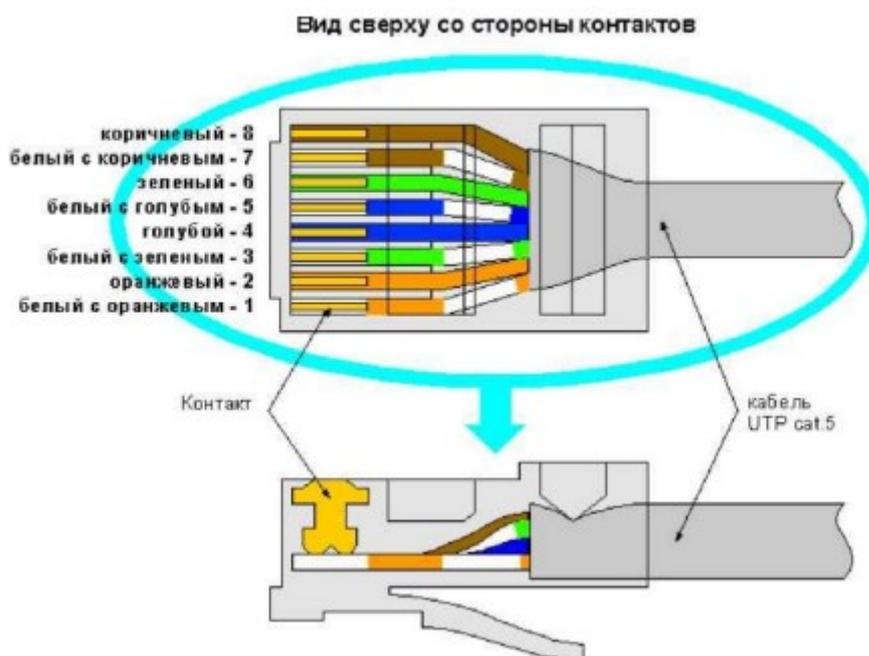


Рис. 6. Схема разводки кабеля

Затем производят заправку проводников в разъем и опрессовку. Рекомендуется по возможности, использовать разъемы без вставки, так как процесс заправки проводников в корпус такого разъема выполняется проще:

а) Если конструктивно разъем выполнен без вставки, то проводники аккуратно заправляются в его корпус до упора в торец разъема. Затем вставляют разъем в гнездо обжимного устройства и надавливают до тех пор пока устройство полностью не закроется.

б) Если в конструкцию разъема входит вставка, то сначала на проводники «витой пары» надевается вставка. Вставка имеет форму крышки спичечного коробка, на одной из поверхностей которого имеются прорезы по количеству проводников в витой паре. Вставку надевают на проводники таким образом, чтобы прорезы были обращены к корпусу разъема. После насаживания вставки проводники витой пары еще раз подрезают и выравнивают срез с краем вставки. Для закрепления вставки в этом положении полезно у ее противоположного конца обжать витую пару пальцами, чтобы вставка не смещалась. Затем вставку с проводниками вставляют в корпус разъема до тех пор, пока она не упрется в торец разъема, и обжимают разъем также, как в случае разъема без вставки.

5. Проверить качество выполненных соединений с помощью кабель тестера.

Контрольные вопросы:

- 1.Строение кабеля «витая пара».
- 2.Чем отличаются кабели «витая пара» различных категорий?
- 3.Каковы ограничения на применение «витой пары»?
4. Чем различаются схемы соединения „прямой кабель” и „перекрёстный кабель”?

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 3

«Расчет элементов конструкций симметричных кабелей»

Цель: Научиться рассчитывать элементы конструкций симметричных кабелей.

Время выполнения: 4 часа.

Ход работы:

Теоретические сведения:

Умение производить расчеты элементов конструкций симметричных кабелей может оказаться особенно необходимым специалистам в области городских кабельных сетей. Это обусловлено тем, что существует большое разнообразие типов городских низкочастотных симметричных кабелей, использующих различные методы скрутки проводников. От того, какой вид скрутки был использован, зависит степень широкополосности кабеля и чувствительность к взаимным влияниям. При выборе групп симметричных пар, подверженных наименьшим влияниям, следует не только вспомнить методы образования повивов кабеля, но и рассчитать диаметр искомого повива или других элементов конструкции кабеля.

В симметричных кабелях применяется несколько способов скрутки изолированных проводников в группы:

- *парная скрутка (П)* – два изолированных проводника скручиваются в пару с шагом скрутки не более 300 мм;

- *скрутка звездой (З)* – четыре изолированных проводника, расположенные по углам квадрата, скручиваются с шагом скрутки 150-300 мм;

- *скрутка двойная пара (ДП)* – две предварительно свитые пары скручиваются между собой в четверку с шагом 150-300 мм;

- *скрутка двойной звездой (ДЗ)* – четыре предварительно свитые пары скручиваются вместе по способу звезды с шагом 200-400 мм, образуя восьмерку;

- *восьмерочная скрутка (В)* – восемь жил группы располагаются концентрически вокруг сердечника из изолированного материала.

Геометрические размеры кабеля зависят от диаметра группы, образующей основополагающую единицу конструкции. В случае парной скрутки толщина, прибавляемая каждым повивом к диаметру кабеля, будет равна средней ширине пространства, занимаемого парой (рис.1). При этом, как видно из рисунка, эта толщина не будет равна двойному диаметру изолированной жилы – $2d_1$.



Рис.1. Ширина пространства повива

На практике при скрутке проводников с воздушно-бумажной изоляцией происходит их деформация, в результате чего размеры скрученных групп становятся меньше, чем расчетные. Для таких конструкций кабелей вводится понятие эффективного диаметра группы – $d_э$, который определяется произведением диаметра группы на коэффициент, зависящий от типа скрутки.

Таблица 1

Скрутка	Коэффициент	Эффективный диаметр
Парная $d_п$	0,965	0,965 $d_п$
Звездная $d_з$	0,909	0,909 $d_з$
Двойная парная $d_{дп}$	0,956	0,956 $d_{дп}$
Двойная звездная $d_{дз}$	0,980	0,980 $d_{дз}$
Восьмеречная $d_в$	0,983	0,983 $d_в$

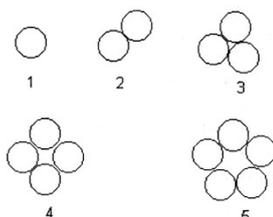
Повивная скрутка является основным методом общей скрутки сердечника кабеля. Группы располагают последовательными концентрическими слоями (повивами) вокруг центрального повива, состоящего из одной – пяти групп (рис.2). При этом диаметр центрального повива определяется из формулы

$$D = d \left[1 + \frac{1}{\sin(180/n)} \right], \text{ мм} \quad (1)$$

где

d – диаметр группы, мм;

n – число групп в центральном повиве (формула справедлива для числа групп от двух до пяти).



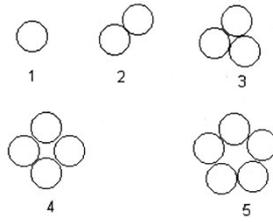


Рис.2. Пять различных форм скрутки с 1, 2, 3, 4, и 5 группами в центральном повиве

Зная число групп в центральном (первом) слое кабеля, можно определить число групп второго и последующих слоев.

Ввиду того, что группы каждого последующего слоя накладываются на предыдущий по винтовой линии, длина жил увеличивается по сравнению с длиной кабеля. Эта величина удлинения характеризуется коэффициентом укрутки, который показывает, во сколько раз группа длиннее оси кабеля.

Коэффициент укрутки проводов кабеля:

$$\chi = \left[1 + \pi^2 \left(\frac{D}{h} \right)^2 \right]^{1n}, \quad (2)$$

где

D – средний диаметр кабельной скрутки, мм;

h – шаг скрутки, мм.

В зависимости от типа кабеля и его размеров коэффициент укрутки принимается $\chi=1,01-1,07$. Вследствие расположения группы проводников вокруг сердечника по винтовой линии в повиве они занимают пространство несколько большее, чем в случае параллельного расположения к оси кабеля. Число групп во втором слое определяется из выражения:

$$n_{II} = \frac{\pi(D_I + d)}{\chi d}, \quad (3)$$

где

D_I – диаметр первого (центрального) повива;

d – диаметр группы проводников;

χ – коэффициент укрутки.

Число групп в третьем слое определяется из выражения:

$$n_{III} = \frac{\pi(D_{II} + d)}{\chi d} = n_{II} + 6, \quad (4)$$

где

D_{II} – диаметр первого (центрального) повива;

n_{II} – число групп во втором повиве.

Для упрощенных расчетов можно считать, что число групп в каждом последующем слое увеличивается на шесть по сравнению с предыдущим. Исключением из этого правила является только второй слой в том случае, когда в первом (центральном) содержится одна группа. При таком построении сердечника кабеля во втором слое увеличение будет не на 6, а на 5 групп.

Пример расчета элементов конструкций симметричных кабелей.

Задача. Во сколько раз отличается толщина повивов, состоящих из двух разных типов групп проводников. Если в первом случае использована парная скрутка, а во втором – звездная скрутка? На сколько изменится это соотношение в случае дополнительного обжима бумажной изоляции?

Решение.

При решении этой задачи необходимо учесть, что под толщиной повива из проводников с парной скруткой следует понимать среднюю ширину пространства, занимаемого парой в повиве (рис.1).

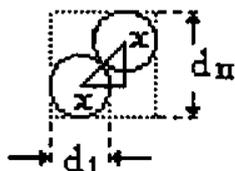


Рис.3. Средняя ширина пространства, занимаемая парой

Как видно из рис. 3, толщину повива, состоящего из проводников парной скрутки – d_n , можно легко найти, определив стороны прямоугольного треугольника, гипотенузой которого является расстояние, равное диаметру изолированного проводника – d_1 .

На основании рис.3. можно записать:

$$d_1^2 = 2 x^2,$$

откуда

$$x = \frac{d_I}{\sqrt{2}}.$$

Тогда диаметр парной скрутки равен:

$$d_n = d_I + \frac{d_I}{\sqrt{2}},$$

или

$$d_n = 1,71 \cdot d_I \quad (5)$$

При звездной скрутке диаметр группы определяется на основании расчета элементов четырехугольника, сторонами которого являются радиусы изолированных проводников (рис.4):

$$d_3 = d_I + x,$$

где x – определяется из выражения:

$$x^2 = 2 d_I^2.$$

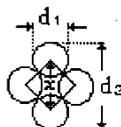


Рис. 4. Построение звездной группы

Тогда диаметр звездной скрутки:

$$d_3 = d_1 + d_1 \sqrt{2},$$

или

$$d_3 = 2,41 \cdot d_1. \quad (6)$$

Исходя из (1.29) и (1.30), находим соотношение:

$$\frac{d_n}{d_3} = \frac{1,71 \cdot d_1}{2,41 \cdot d_1} = 0,71. \quad (7)$$

Таким образом толщина повива, состоящего из проводников с парной скруткой, будет в 0,71 раза меньше толщины повива из проводников со звездной скруткой.

После дополнительного обжима бумажной изоляции соотношение (5), исходя из табл. 1, примет вид:

$$\frac{d_n}{d_3} = 0,71 \frac{0,965 \cdot d_1}{0,909 \cdot d_1} = 0,75$$

Ответ: Толщина повива, состоящего из проводников с парной скруткой, будет в 0,71 раза меньше толщины повива из проводников со звездной скруткой. После дополнительного обжима толщина повива, состоящего из проводников с парной скруткой, будет в 0,75 раза меньше толщины повива из проводников со звездной скруткой.

Задание: рассчитать элементы конструкций симметричных кабелей.

Задача 1. На сколько процентов отличается длина проводников, используемых во втором и в четвертом повиве в кабеле ТГ100-2 с диаметром токопроводящих жил 0,5 мм, покрытых стандартной лентой телефонной бумаги, шаг скрутки жил – 100 мм.

Задача 2. Найти расстояние между центрами пары проводников, находящихся внутри четверки в кабеле МКС-7-4-1,2, и определить диаметр звездной группы.

Задача 3. Определить сколько кг меди и свинца находится в строительной длине кабеля ТГ 10-2-0,5.

Задача 4. Найти расстояние между центрами пары проводников, находящихся внутри четверки в кабеле с кордельно-бумажной изоляцией МКГ-4-4-1,2 и определить диаметр звездной группы.

Задача 5. Найти расстояние между центрами пары проводников, находящихся внутри четверки в кабеле с балонно-полиэтиленовой изоляцией МКПГ-4-4-1,2 и определить диаметр звездной группы.

Задача 6. Найти расстояние между центрами пары проводников, находящихся внутри четверки в кабеле со сплошной полиэтиленовой изоляцией МКПВ-1-4-1,2 и определить диаметр звездной группы.

Задача 7. Найти расстояние между центрами пары проводников, находящихся внутри четверки в кабеле с пористо-полиэтиленовой изоляцией МКПП-1-4-1,2 и определить диаметр звездной группы.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 4

«Расчет первичных параметров симметричного кабеля»

Цель: изучить методы расчета первичных параметров симметричного кабеля и научиться проводить вычисления основных характеристик, включая активное сопротивление, индуктивность, емкость и проводимость.

Время выполнения: 4 часа.

Материалы:

- Материал проводников: медь ($\rho = 1,72 \times 10^{-8}$ Ом·м)
- Диаметр проводников: $d = 1$ мм
- Расстояние между осями проводников: $D = 5$ мм
- Диэлектрическая проницаемость изоляции: $\epsilon = 2,3$
- Магнитная проницаемость вакуума: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м
- Рабочая частота: $f = 1$ МГц
- Тангенс угла диэлектрических потерь: $\operatorname{tg}\delta = 0,02$

Ход работы:

Теоретические сведения:

Симметричный кабель состоит из двух одинаковых проводников, окруженных диэлектриком. Основные первичные параметры такого кабеля:

Активное сопротивление (R) — определяется сопротивлением проводников постоянному или переменному току. Оно зависит от материала проводника, частоты сигнала и эффекта поверхностного слоя.

Индуктивность (L) — характеризует способность кабеля накапливать магнитное поле при протекании тока. Зависит от геометрии проводников и магнитной проницаемости среды.

Емкость (C) — определяет способность кабеля накапливать электрический заряд между проводниками. Зависит от геометрии кабеля и диэлектрической проницаемости изоляции.

Проводимость (G) — характеризует потери энергии в диэлектрике, возникающие из-за его неполной изоляции.

Формулы для расчета:

$R = \rho / S$, где ρ — удельное сопротивление материала (Ом·м), S — площадь поперечного сечения проводника (м^2).

$L = (\mu / \pi) * \ln(D/d)$, где μ — магнитная проницаемость среды, D — расстояние между осями проводников, d — диаметр проводников.

$C = (\pi\epsilon) / \ln(D/d)$, где ϵ — диэлектрическая проницаемость изоляции.

$G = \omega C \operatorname{tg}\delta$, где ω — угловая частота сигнала, $\operatorname{tg}\delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь.

Задание:

1. Рассчитать активное сопротивление R проводников.
2. Вычислить индуктивность L кабеля.
3. Найти емкость C кабеля.
4. Определить проводимость G изоляции.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 5

«Расчет вторичных параметров симметричного кабеля»

Цель: изучить методы расчета вторичных параметров симметричного кабеля, понять, как на основе первичных параметров (активное сопротивление, индуктивность, емкость, проводимость) определяются такие важные характеристики, как характеристический импеданс, коэффициент затухания, фазовая постоянная и скорость распространения сигнала. Эти параметры имеют большое значение при проектировании линий передачи и систем связи.

Время выполнения: 4 часа.

Ход работы:

Теоретические сведения:

Вторичные параметры линии передачи (кабеля) определяются через её первичные параметры, заданные на единицу длины:

Активное сопротивление (R , Ом/м)

Индуктивность (L , Гн/м)

Емкость (C , Ф/м)

Проводимость (G , См/м)

При анализе распространения электромагнитной волны по кабелю часто вводят два основных вторичных параметра:

Характеристический импеданс (Z_0):

Полное выражение для характеристики линии имеет вид:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

где:

- j – мнимая единица,
- $\omega = 2\pi f$ – угловая частота,
- f – рабочая частота.

Для линий с низкими потерями (при условии $R \ll \omega L$ и $G \ll \omega C$) справедливо приближение:

$$Z_0 \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Это приближение удобно использовать для предварительной оценки, однако при точном расчете необходимо учитывать комплексный вид числителя и знаменателя.

Пропагационный коэффициент (γ):

Он определяется формулой:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

где:

- α – коэффициент затухания (Нр/м),
- β – фазовая постоянная (рад/м).

В случае линий с низкими потерями часто используют приближенные выражения:

$$\alpha \approx \frac{1}{2} \left(\frac{R}{Z_0} + GZ_0 \right)$$
$$\beta \approx \omega \sqrt{LC}$$

Скорость распространения волны (v):

Приблизно определяется как:

$$v \approx \frac{\omega}{\beta} \quad \text{или} \quad v \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

где коэффициент замедления $\tau = \sqrt{LC}$ показывает, во сколько раз скорость сигнала меньше скорости света в вакууме.

Задание:

Исходные данные

Предположим, что для симметричного кабеля заданы следующие первичные параметры (на единицу длины):

- **Активное сопротивление:**

$$R = 0.1 \, \Omega/\text{м}$$

- **Индуктивность:**

$$L = 1.0 \times 10^{-6} \, \text{Гн}/\text{м}$$

- **Емкость:**

$$C = 100 \times 10^{-12} \, \text{Ф}/\text{м} \text{ (то есть } 100 \text{ пФ}/\text{м)}$$

- **Проводимость:**

$$G = 1.0 \times 10^{-3} \, \text{См}/\text{м}$$

- **Рабочая частота:**

$$f = 1 \, \text{МГц}$$

Отсюда угловая частота:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 10^6 \approx 6.2832 \times 10^6 \, \text{рад}/\text{с}$$

Задание 1. Расчет характеристического импеданса Z_0

Полная формула:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

Подставим числовые значения:

- Числитель:

$$R + j\omega L = 0.1 + j(6.2832 \times 10^6 \times 1.0 \times 10^{-6}) = 0.1 + j6.2832$$

- Знаменатель:

$$G + j\omega C = 1.0 \times 10^{-3} + j(6.2832 \times 10^6 \times 100 \times 10^{-12})$$

Заметим, что $100 \times 10^{-12} = 1.0 \times 10^{-10}$, поэтому:

$$G + j\omega C = 0.001 + j0.62832$$

Таким образом, выражение для Z_0 принимает вид:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{0.1 + j6.2832}{0.001 + j0.62832}}$$

Для ручного анализа можно вычислить модуль и фазу числителя и знаменателя. Часто для быстрого приближения используют формулу для линий с низкими потерями:

$$Z_0 \approx \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-6}}{100 \times 10^{-12}}} = \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-6}}{1.0 \times 10^{-10}}} = \sqrt{10^4} = 100 \Omega$$

При этом точный расчет по первоначальной формуле с комплексными величинами даст несколько иное значение, отражающее влияние потерь (R и G). Для более точного вычисления рекомендуется использовать вычислительные средства (например, MATLAB или Python).

Задание 2. Расчет пропагационного коэффициента γ

Полная формула:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

Подставляем найденные значения:

$$(R + j\omega L) = 0.1 + j6.2832, \quad (G + j\omega C) = 0.001 + j0.62832$$

Выполним перемножение:

Действительная часть:

$$0.1 \times 0.001 - 6.2832 \times 0.62832 \approx 0.0001 - 3.9478 \approx -3.9477$$

Мнимая часть:

$$0.1 \times 0.62832 + 6.2832 \times 0.001 \approx 0.062832 + 0.0062832 \approx 0.0691152$$

Таким образом:

$$(R + j\omega L)(G + j\omega C) \approx -3.9477 + j0.0691$$

Найдем квадратный корень из этого комплексного числа:

$$\gamma = \sqrt{-3.9477 + j0.0691} = \alpha + j\beta$$

Точное аналитическое выделение α (коэффициента затухания) и β (фазовой постоянной) требует преобразования в полярную форму и извлечения корня. В качестве приближения для линий с низкими потерями можно использовать:

$$\beta \approx \omega \sqrt{LC} \quad \text{и} \quad \alpha \approx \frac{1}{2} \left(\frac{R}{Z_0} + GZ_0 \right)$$

Вычисление β :

$$\beta \approx \omega \sqrt{LC} = 6.2832 \times 10^6 \times \sqrt{1.0 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^{-12}}$$

Упростим:

$$\sqrt{1.0 \times 10^{-6} \times 1.0 \times 10^{-10}} = \sqrt{1.0 \times 10^{-16}} = 1.0 \times 10^{-8}$$

Таким образом:

$$\beta \approx 6.2832 \times 10^6 \times 1.0 \times 10^{-8} = 0.062832 \text{ рад/м}$$

Вычисление α :

Если воспользоваться приближенной формулой и принять $Z_0 \approx 100 \Omega$ (по приближению для низких потерь), то:

$$\alpha \approx \frac{1}{2} \left(\frac{R}{Z_0} + GZ_0 \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{0.1}{100} + 1.0 \times 10^{-3} \times 100 \right)$$
$$\alpha \approx \frac{1}{2} (0.001 + 0.1) = 0.0505 \text{ Нр/м}$$

Задание 3. Определение скорости распространения волны v
Скорость распространения определяется приближенно как:

$$v \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Подставим числовые значения:

$$v \approx \frac{1}{\sqrt{1.0 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^{-12}}} = \frac{1}{\sqrt{1.0 \times 10^{-16}}} = 10^8 \text{ м/с}$$

Это значение указывает на скорость распространения, которая, естественно, меньше скорости света в вакууме (примерно $3 \times 10^8 \text{ м/с}$) из-за влияния диэлектрической проницаемости материала изоляции.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 6

«Расчет первичных и вторичных параметров коаксиального кабеля»

Цель: изучить методы расчёта первичных параметров (активное сопротивление, индуктивность, ёмкость, проводимость) и на их основе определить вторичные параметры (характеристический импеданс, коэффициент затухания, фазовая постоянная, скорость распространения волны) коаксиального кабеля. Полученные знания позволяют оценить влияние геометрии кабеля и физических свойств материалов на его эксплуатационные характеристики в системах передачи сигналов.

Ход работы:

Теоретические сведения:

Конструкция коаксиального кабеля

Коаксиальный кабель состоит из следующих основных элементов:

Центральный проводник – внутренний металлический стержень, по которому передается сигнал.

Диэлектрик – изоляционный материал, окружающий внутренний проводник.

Экранированный внешний проводник – металлическая оплетка или оболочка, выполняющая одновременно функции заземления и экранирования.

Внешняя оболочка – дополнительная защита от механических повреждений и внешних электромагнитных помех.

Первичные параметры кабеля

Первичные параметры определяются на единицу длины кабеля и характеризуют его внутренние электрические свойства:

Активное сопротивление (R , Ом/м):

Зависит от проводимости материала, скин-эффекта при переменном токе и геометрии проводников. Для высокочастотных сигналов важно учитывать увеличение сопротивления из-за неравномерного распределения тока по сечению проводника.

Индуктивность (L , Гн/м):

Для коаксиального кабеля при однородном магнитном материале (обычно используется воздух или диэлектрик с $\mu \approx \mu_0$) индуктивность определяется по формуле:

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{b}{a}$$

где:

- μ – абсолютная магнитная проницаемость (при отсутствии магнитных материалов, $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м),
- a – радиус внутреннего проводника (м),
- b – внутренний радиус внешнего проводника (м).

Ёмкость (C , Ф/м):

Ёмкость между внутренним и внешним проводниками определяется выражением:

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(b/a)}$$

где:

- ϵ – абсолютная диэлектрическая проницаемость изоляционного материала ($\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$, где $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ Ф/м и ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость).

Проводимость (G, См/м):

Характеризует утечки через диэлектрик и зависит от его качественных характеристик. Обычно G имеет очень малые значения и часто может быть пренебрежимо малым при анализе высокочастотных процессов.

Вторичные параметры кабеля

На основе первичных параметров рассчитываются следующие важные характеристики:

1. Характеристический импеданс (Z_0):

Определяется как

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

или, в полном виде с учётом потерь,

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

где $\omega = 2\pi f$ - угловая частота сигнала. Для линий с незначительными потерями используется приближение $Z_0 \approx \sqrt{L/C}$.

Пропагационный коэффициент (γ):

Задаётся выражением:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

где:

- α – коэффициент затухания (Np/м),
- β – фазовая постоянная (рад/м).

В линиях с малыми потерями часто используют приближённое выражение:

$$\beta \approx \omega\sqrt{LC}, \quad \alpha \approx \frac{1}{2} \left(\frac{R}{Z_0} + GZ_0 \right)$$

Скорость распространения волны (v):

При отсутствии потерь определяется как:

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

где c – скорость света в вакууме ($\approx 3 \times 10^8$ м/с).

Задание:

Исходные данные

Предположим, что для рассматриваемого коаксиального кабеля заданы следующие параметры:

- **Геометрия кабеля:**
 - Радиус внутреннего проводника:
 $a = 1 \text{ мм} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ м}$
 - Внутренний радиус внешнего проводника:
 $b = 4 \text{ мм} = 4.0 \times 10^{-3} \text{ м}$
- **Физические константы:**
 - Магнитная проницаемость:
 $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$
 - Диэлектрическая проницаемость:
 $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$
где $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$ и пусть
 $\epsilon_r = 2.3$.
Таким образом,
 $\epsilon = 8.854 \times 10^{-12} \times 2.3 \approx 2.036 \times 10^{-11} \text{ Ф/м}$.
- **Частота сигнала:**
 - $f = 100 \text{ МГц}$
Тогда угловая частота:
 $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 10^8 \approx 6.2832 \times 10^8 \text{ рад/с}$.

Оценка потерь:

Для упрощённого расчёта будем считать, что потери (R и G) невелики. При необходимости их можно уточнить, учитывая эффект скин-слоя для R и параметры утечек для G .

Расчёт первичных параметров

Индуктивность L

По формуле:

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{b}{a}$$

Вычислим логарифмический член:

$$\ln \frac{b}{a} = \ln \frac{4.0 \times 10^{-3}}{1.0 \times 10^{-3}} = \ln 4 \approx 1.3863$$

Подставляем

$$L = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi} \times 1.3863 = \left(\frac{4\pi}{2\pi} \times 10^{-7} \right) \times 1.3863 = (2 \times 10^{-7}) \times 1.3863 \approx 2.7726$$

Ёмкость C

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(b/a)}$$

Подставляем значения:

$$C = \frac{2\pi \times 2.036 \times 10^{-11}}{1.3863} \approx \frac{1.280 \times 10^{-10}}{1.3863} \approx 9.238 \times 10^{-11} \text{ Ф/м}$$

Активное сопротивление R и проводимость G

Для простоты в данном примере можно принять, что потери в кабеле невелики. При детальном анализе R рассчитывается с учётом скин-эффекта, а G – по характеристикам диэлектрика. В рамках работы можно взять оценочные значения или рассмотреть их влияние при сравнении приближённого расчёта вторичных параметров.

Расчёт вторичных параметров

Характеристический импеданс Z₀

При отсутствии значительных потерь используется соотношение:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Подставляем найденные значения:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{2.7726 \times 10^{-7}}{9.238 \times 10^{-11}}} = \sqrt{3000} \approx 54.77 \Omega$$

Это значение близко к типичным значениям импеданса коаксиальных кабелей (например, 50 Ω или 75 Ω) и зависит от выбранных геометрических параметров.

Скорость распространения волны

Так как произведение $L \times C = \mu\epsilon$ (что легко показать, подставив выражения для L и C), скорость распространения определяется как:

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

При $c \approx 3 \times 10^8$ м/с и $\epsilon_r = 2.3$:

$$v \approx \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{2.3}} \approx \frac{3 \times 10^8}{1.516} \approx 1.98 \times 10^8 \text{ м/с}$$

Пропагационный коэффициент γ

Полное выражение имеет вид:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

При малых потерях (т.е. если $R \ll \omega L$ и $G \ll \omega C$) можно считать, что основное влияние оказывает мнимая часть, и фазовая постоянная:

$$\beta \approx \omega\sqrt{LC} = \omega\sqrt{\mu\epsilon} = \frac{\omega}{v}$$

При выбранной частоте:

$$\beta \approx \frac{6.2832 \times 10^8}{1.98 \times 10^8} \approx 3.17 \text{ рад/м}$$

Затухание α можно оценить по приближенному соотношению:

$$\alpha \approx \frac{1}{2} \left(\frac{R}{Z_0} + G Z_0 \right)$$

При условии, что R и G малы, α будет иметь небольшое значение (в единицах Непера на метр).

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 7

«Исследование экранирования электромагнитного поля»

Цель: изучить принципы экранирования электромагнитного поля, определить эффективность различных экранирующих материалов и конструкций, а также оценить степень снижения интенсивности электромагнитного излучения при использовании экранов. В рамках работы планируется экспериментально измерить параметры поля с применением экранов из различных материалов и сравнить результаты с теоретическими оценками.

Время выполнения: 2 часа.

Оборудование:

- Источник электромагнитного излучения: Генератор сигналов или радиоизлучатель с возможностью задания определённых частот.
- Измерительный прибор: Спектроанализатор, прибор для измерения напряжённости электромагнитного поля или специализированный измеритель (например, прибор типа «EMF Meter»).
- Экраны из различных материалов:
- Алюминиевый лист (толщиной, например, 1–2 мм),
- Стальная сетка или лист,
- Комбинированные экраны (слоистые конструкции с проводящим и поглощающим слоями).
- Методические приспособления: Держатели, экранированная камера, измерительные метки для размещения источника, экрана и приемника.

Ход работы:

Теоретические сведения:

2.1. Основы электромагнитного поля и экранирования

Электромагнитное поле характеризуется электрической и магнитной составляющими, которые распространяются в пространстве и могут оказывать влияние на электронику, системы связи и даже здоровье человека. Для защиты от нежелательного воздействия электромагнитных волн применяют экранирование – процесс уменьшения интенсивности поля в определённой области за счёт отражения, поглощения или рассеяния излучения.

2.2. Принципы работы экрана

Основные механизмы экранирования включают:

- **Отражение:** Экранирующий материал с высокой электропроводностью отражает большую часть падающих волн.
- **Поглощение:** Толстый или многослойный экран, обладающий значительными диэлектрическими или магнитными потерями, поглощает энергию падающих волн.
- **Рассеяние:** Неровности поверхности или пористая структура экрана могут приводить к диффузному рассеянию падающего излучения.

2.3. Характеристика эффективности экранирования

Эффективность экранирования обычно выражают в децибелах (дБ) через коэффициент экранирования (Shielding Effectiveness, SE):

$$SE = 20 \log_{10} \left(\frac{E_{\text{без экрана}}}{E_{\text{с экраном}}} \right)$$

где:

- $E_{\text{без экрана}}$ – амплитуда (или интенсивность) электромагнитного поля в отсутствие экрана,
- $E_{\text{с экраном}}$ – амплитуда поля после установки экрана.

Чем выше значение SE , тем эффективнее экран подавляет электромагнитное излучение.

Зависимость экранирования от параметров

На эффективность экранирования влияют следующие параметры:

- **Материал:** Проводящие материалы (например, алюминий, медь, сталь) обладают высоким коэффициентом отражения, а магнитные материалы (например, ферриты) – способны поглощать магнитную компоненту поля.
- **Толщина экрана:** Увеличение толщины часто приводит к большему поглощению излучения.
- **Частота излучения:** Экранирующая способность материалов может меняться в зависимости от частоты; как правило, при высоких частотах эффективность экранирования возрастает за счёт уменьшения глубины проникновения волны (skin effect).

Задание:

1. Подготовка установки:

- Разместите источник электромагнитного излучения и измерительный прибор на фиксированном расстоянии (например, 1–2 метра) в свободном пространстве.
- Проведите калибровку измерительного прибора.

2. Измерение без экрана:

- Измерьте амплитуду электромагнитного поля $E_{\text{без экрана}}$ на заданном расстоянии от источника при выбранной частоте (например, 100 МГц).
- Зафиксируйте результаты измерений.

3. Измерение с экранами:

- Установите первый экран (например, алюминиевый лист) между источником и измерительным прибором.
- Повторите измерение амплитуды поля $E_{\text{с экраном}}$.
- Запишите данные и рассчитайте коэффициент экранирования SE по формуле:

$$SE = 20 \log_{10} \left(\frac{E_{\text{без экрана}}}{E_{\text{с экраном}}} \right)$$

- Повторите эксперимент для других типов экранов (например, стальная сетка, комбинированный экран) и при различных углах установки экрана, если это предусмотрено методикой.

4. Изучение зависимости от частоты:

- При наличии возможности измените частоту излучения (например, от 50 МГц до 500 МГц) и повторите измерения для каждого случая.
- Зафиксируйте, как изменяется SE в зависимости от частоты.

3.3. Пример расчёта

Предположим, что при измерении без экрана получена амплитуда поля $E_{\text{без экрана}} = 100 \text{ мВ/м}$. При установке алюминиевого листа значение уменьшилось до $E_{\text{с экраном}} = 10 \text{ мВ/м}$. Тогда:

$$SE = 20 \log_{10} \left(\frac{100}{10} \right) = 20 \log_{10}(10) = 20 \times 1 = 20 \text{ дБ}$$

Таким образом, алюминиевый лист обеспечивает экранирование с эффективностью 20 дБ.

3.4. Анализ результатов

- **Сравнение материалов:** Сравните полученные значения SE для различных материалов. Оцените, какой экран обеспечивает наибольшее снижение интенсивности поля.
- **Зависимость от частоты:** Проанализируйте, как меняется эффективность экранирования при изменении частоты сигнала. Обратите внимание на тенденции, связанные с уменьшением глубины проникновения волны.
- **Ошибки и погрешности:** Обсудите возможные источники ошибок (неоднородность поля, отражения от окружающих поверхностей, точность измерительных приборов) и пути их минимизации.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 8

«Изучение конструкций оптических кабелей связи и оптических волокон»

Цель: Изучение элементов конструкций оптических кабелей и их назначение.

Время выполнения: 2 часа.

Ход работы:

Теоретические сведения:

Маркировка японских кабелей

Оптические кабели фирмой “ **FUJIKURA** ”(изготавливаются согласно техническим требованиям, задаваемыми телекоммуникационными сетями, на которых они эксплуатируются).

В свою очередь телекоммуникационные сети Японии подразделяются на государственные (междугородные и городские) и ведомственные (локальные вычислительные сети, кабельное телевидение, аэрофлот, морфлот, энергетические и оборонные предприятия, полиция и т.д.) [1,2].

В соответствии с этим по назначению и условиям применения оптические кабели классифицируются на четыре основные группы:

1. Междугородные.
2. Городские (абонентские).
3. Станционные кабели.

Кабели специального назначения.

По условиям прокладки кабели первой группы могут быть подземными, подвесными и подводными. Городские кабели, как правило, прокладываются в телефонной канализации, однако на некоторых участках (линии межстанционной связи) применяется подвеска кабелей на опорах.

Станционные кабели прокладываются в помещениях телефонных станций.

Кабели специального назначения прокладываются в зонах действия сильных электромагнитных полей, повышенной пожарной опасности, для локальных вычислительных сетей и т.д.

Конструктивно кабели подразделяются по следующим характеристикам:

1. Типу оптических волокон и их количеству.
2. Конструкции сердечника кабеля.
3. Типу влагозащитной оболочки.

Конструкции брони.

Маркировка японских оптических кабелей осуществляется буквенными обозначениями, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Букв а цифр а	Английское написание	Русское написание
OG	Optical general	Оптический, широкого потребления
FR	Flame retardant type	Пожаробезопасного типа
NM	Non-metallic type	Неметаллический силовой элемент
T	tape	Волокна ленточного типа
S	Slotted	Профилированный сердечник
L	Loose tube	Сердечник повивной скрутки
U	Unit	Многоволоконный модуль
JF	Jelly Fillet type	Кабель, герметизированный заполнителем
LAP	Laminated Aluminium polyethylene	Ламинированная алюмополиэтиленовая оболочка
E	Ethylene	Полиэтилен
V	Vinylchloride	Поливинилхлорид
CMZ	Corrugated metal armored	Гофрированная стальная оболочка
Z	Zinc	Цинк
SS	Self supporting	Трос для подвески
W	Wale	Полоса

W	Wire	Круглые стальные проволоки
Cu	Copper	Медная оболочка
MM	Multi mode	Многомодовое волокно
SM	Single mode	Одномодовое волокно
D	Shifted dispersion	Волокно со смещенной дисперсией
P	Pair	Пара
Q	Quad	Четвёрка

Городские кабели

Городские кабели подразделяются на межстанционные и абонентские. Для организации межстанционной связи между АТС используется кабель марки **OGLJFLAP SM 10/125 05 x 48C** (рис. 1).

Кабель имеет центральный силовой элемент 1 из скрученных стальных проволок. Вокруг центрального силового элемента скручено 8 модулей из термопластика 2. В каждом модуле расположено по шесть волокон 3. Сердечник кабеля находится в гидрофобном наполнителе 4. Поясная изоляция 5 выполнена из пластиковой ленты. Кабель имеет комбинированную оболочку из алюминия 6 и полиэтилена 7.

Диаметр кабеля 14 мм. Вес кабеля 190 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 2700 Н (270 кгс). Допустимый радиус изгиба 140 мм. Допустимое раздавливающее усилие 1000 Н / 50 мм.

На абонентской сети используются многоволоконные кабели, например, марки **OGTSLAP SM 10/125 05 x 1000C** (рис. 2). Силовой элемент из скрученных проволок 1. Пять профилированных элементов 2 имеют пазы, в которых размещаются ленточные волокна 3. Профилированный элемент обмотан пластиковой лентой 4. Сердечник кабеля находится в гидрофобном наполнителе 5. Кабель имеет одну четверку и пару из медных жил 6. Водонепроницаемые ленты 7. Обмотка из пряжи 8. Комбинированная алюмополиэтиленовая оболочка 9.

Количество волокон в ленте - восемь. Размер ленты 2,1 мм x 0,4 мм. Диаметр профилированного элемента 12 мм. Диаметр кабеля 40 мм. Вес кабеля 800 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 8000 Н (800 кг). Допустимый радиус изгиба 350 мм. Допустимая раздавливающая нагрузка 1500 Н / 50 мм.

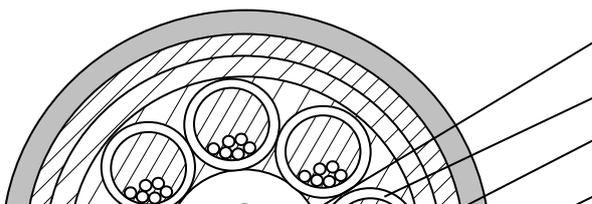


Рис. 1. Кабель марки OGLJFLAPSMx10/125X0,5x48C

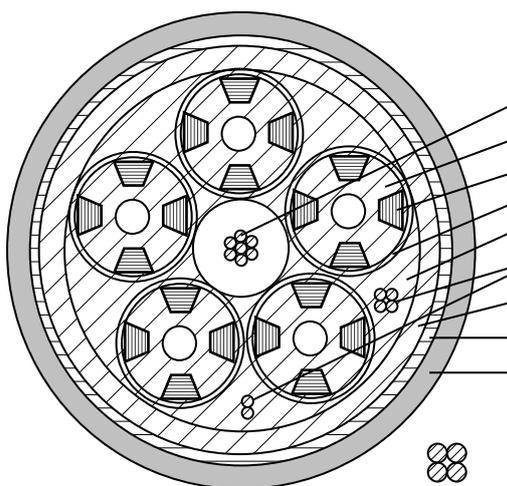


Рис. 2. Кабель марки OGTSLAP-SMx10/125x0,5x1000C

Задание:

1. Изучить конструкцию оптического кабеля фирмы “ **FUJIKURA** ”.

Начиная с наружных покровов, студенты должны последовательно выделить конструктивные элементы кабеля, измерить их размер и дать им характеристику.

По результатам измерения размеров элементов и изучения конструкции кабеля заполнить табл. 2

2. В табл. 3 занести технические характеристики кабеля, область применения и организуемое количество каналов.

3. Выполнить чертеж поперечного сечения кабеля в масштабе 5:1.

Таблица 2

Порядок разборки	Элементы конструкции кабеля	Характеристики элементов и их размеры
1	2	3
1	Диаметр кабеля, мм	

2	Влагозащитная оболочка: конструкция, материал, толщина, мм	
3	Бронепокровы: конструкция, материал,толщина, мм	
4	Подушка: конструкция,материал	
5	Внутренняя оболочка: конструкция, материал,толщина, мм	
6	Силовые элементы: конструкция, материал	
7	Поясная изоляция: конструкция, материал	
8	Построение сердечника	
9	Оптический модуль: количество, конструкция,материал,диаметр, мм	
10	Количество оптических волокон в модуле, в кабеле	
11	Кордели заполнения: количество,конструкция, материал,диаметр, мм	
12	Центральный силовой элемент: конструкция, материал,диаметр, мм	
13	Марка кабеля	

Таблица 3

	Технические характеристики	Параметры
1	Рабочая длина волны, мкм	
2	Организуемое число каналов по двум волокнам. Применяемая ЦСП SDH. Скорость передачи информации.	

3	Общее число каналов, организуемое по данному кабелю	
4	Сеть связи, на которой используется данный кабель	

Контрольные вопросы

1. Классификация оптических кабелей.
2. Маркировка оптических кабелей.
3. Рабочие длины волн оптических кабелей.
4. Определение числа каналов и цифровых трактов в оптических кабелях для различных уровней ЦСП SDH.
5. Основные конструктивные элементы оптических кабелей.
6. Конструкция волоконных световодов.
7. Классификация оптических волокон.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 9

«Измерение основных характеристик ОК»

Цель: Научиться определять по заданной маркировке характеристики оптического волокна.

Время выполнения: 4 часа.

Оборудование: образцы оптических волокон, кабелей разных типов, таблицы маркировки оптических волокон разных стандартов, таблицы параметров оптических волокон разных стандартов, характеристики оптического волокна, технические характеристики оптических кабелей используемых для прокладки в разных условиях.

Ход работы:

Теоретические сведения:

Основной элемент оптического кабеля связи ОКС — оптическое волокно (ОВ), изготовленное из высококачественного кварцевого стекла, обеспечивающие распространение вдоль него световых сигналов. Различают одномодовые и многомодовые градиентные ОВ.

Многомодовое волокно — волокно с большим диаметром сердцевины по которой проходит свет. Такое название объясняется спецификой прохождения электромагнитной волны по сердечнику волокна. В стандартном многомодовом волокне со ступенчатым профилем преломления, лучи света распространяются по сердцевине волокна благодаря эффекту полного внутреннего отражения.

Одномодовое волокно — основной диаметр сердцевины которого, приблизительно в десять раз меньше длины волны, проходящего по нему света.

Для них широко используются кварцевые стекла. Кроме того, многомодовые ступенчатые ОВ могут иметь кварцевую середину и полимерную оболочку или полностью изготавливаются из полимерных материалов или многокомпонентных стекол.

Геометрические размеры, параметры передачи и характеристики ОВ, применяемых в магистральных, зонавых и городских ОК, должны соответствовать одной из следующих Рекомендаций Международного союза по электросвязи (МСЭ-Т):

- G.651. Характеристики многомодового градиентного оптического волокна и кабеля 50/125 мкм;
- G.652. Характеристики одномодового оптического волокна;
- G.653. Характеристики одномодового оптического волокна со сдвигом дисперсии;
- G.654. Характеристики одномодового оптического волокна с затуханием, минимизированным на волне 1,55 мкм;
- G.655. Характеристики одномодового оптического волокна с нулевой дисперсией;
- G.656. С более жесткими требованиями по коэффициенту затухания.

Геометрические размеры и параметры передачи многомодовых ступенчатых ОВ, изготовленных с применением полимерных материалов или многокомпонентных стекол, не нормируются, а в каталогах фирм производителей приводят рекомендации по их выбору.

Оптическое волокно характеризуется тремя основными параметрами передачи: затуханием, дисперсией и шириной полосы пропускания. Эти параметры определяют возможности практического использования оптического кабеля и прежде всего максимальное расстояние, на которое можно передавать сигналы без промежуточных регенераторов или усилителей.

На практике стремятся к тому, чтобы максимальная кратковременная деформация ОВ не превышала 1%, а длительная деформация составляла небольшую долю от максимальной деформации. Чувствительны ОВ и к таким воздействующим факторам, как изгибы, перепады температур и влияние водорода, выделяемого элементами, входящими в конструкцию кабеля. Эти

свойства ОВ и определяют конструкции ОКС при использовании в различных средах.

Для обеспечения стабильной работы ОВ и уменьшения опасности их разрыва под воздействием продольных и поперечных сил волокна защищают первичным и вторичным покрытиями. Первичное покрытие накладывается сплошным слоем непосредственно на оболочку ОВ после его вытяжки, предохраняет его поверхность от повреждения и придает ему дополнительную механическую прочность.

Каждый класс (тип) оптических волокон может иметь различные подклассы (категории), в которых волокна могут отличаться по некоторым характеристикам.

Цветовой счёт в оптоволоконных кабелях.

Цвет окраски оптических шнуров (патчкордов) и пигтейлов:

Цвет окраски оптических шнуров (патчкордов), а так же пигтейлов зависит от типа оптоволокна находящегося в нём. Наиболее распространены жёлтый (одномодовое волокно) и оранжевый (многомодовое оптоволокно) цвет оболочки. Тем не менее и ранее, и в настоящее время использовалась и другая расцветка. Например, многомодовый шнур мог быть окрашен в чёрный цвет.

В настоящее время так же может быть использованы цвета: синий и чёрный - шнур с многомодовым оптоволокном, с сердцевиной диаметром 62,5 мкм (американо-японский стандарт) голубой - многомодовый OPTI-CORE™ 10GIG™ 50/125 мкм OM3, в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3 — Маркировка цветовым кодом в зависимости от класса оптического волокна

Тип и класс волокна	Диаметр волокна, мкм	Цвет оболочки
Многомодовое, класс Ia	50/125	Оранжевый
	62,5/125	Серый
	85/125	Голубой
	100/140	Зеленый

Одномодовое, класс IVa	Все указанные диаметры	Желтый
Одномодовое, класс IVb		Красный

Цветовая идентификация ОВ:

Последовательностей цветовой идентификации раскраски оптических волокон много, к тому же с увеличением количества производителей оптоволоконных кабелей их число увеличивается.

При монтаже оптоволоконного кабеля, насколько это возможно стараются сваривать волокна «цвет в цвет» и, конечно же, выбранная последовательность счёта должна документироваться.

Впрочем есть и официальные рекомендации по этому вопросу в ГОСТ Р 53246-2008.

В соответствии с рисунком 8, значок “М” обозначает наличие меток, обычно наносящихся на второй дюжине волокон модуля. Метки наносятся на волокно с интервалом от 25 до 60 мм.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
красный	желтый	зелёный	синий	коричневый	чёрный	оранж.	фиолет.	белый	серый	бирюзовый	розовый
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
красный + М	желтый + М	зелёный + М	синий + М	коричневый + М	чёрный + М	оранж. + М	фиолет. + М	белый + М	серый + М	бирюзовый + М	розовый + М

Рисунок 8 — Цветовое кодирование в оптоволоконных кабелях «Старлинк» и «Инкаб», «Интегра-Кабель»

Цветовая идентификация оптических волокон и модулей в кабелях «Оптен». В этой фирме отошли от простого счёта идентификации и набор цветов в их кабелях меняется в зависимости от количества оптических волокон, в соответствии с рисунком 9.

Число волокон в модуле							
2	4	6	8	10	12	14	16
красный							
			оранжевый				
жёлтый							
		зелёный					
		синий					
		фиолетовый					
		коричневый					
		чёрный					
				белый			
				серый			
				бирюзовый			
				розовый			
				салатовый			
				оливковый			
				бежевый			
				натуральный			

Рисунок 9 — Цветовая идентификация оптических волокон и модулей в кабелях "Оптен"

Порядок цветов ОВ в оптоволоконном модуле ЗАО "ОКС 01". При этом при той же маркировке кабеля порядок цветов ОВ в модуле ЗАО "ОКС 01" (маркировка ДПС, ТОС, ДПЛ) другой, и то же зависит от числа волокон, в соответствии с рисунком 10.

	16 волокон	12 волокон	10 волокон	8 волокон	6 волокон	4 волокна
1.	натуральный	натуральный	натуральный	зеленый	бирюзовый	зеленый
2.	зеленый	зеленый	зеленый	красный	желтый	красный
3.	красный	красный	красный	синий	оранжевый	синий
4.	синий	синий	синий	желтый	розовый	желтый
5.	бирюзовый	бирюзовый	бирюзовый	коричневый	серый	
6.	желтый	желтый	желтый	оранжевый	натуральный	
7.	розовый	коричневый	оранжевый	серый		
8.	коричневый	оранжевый	розовый	фиолетовый		
9.	оранжевый	розовый	серый			
10.	серый	серый	фиолетовый			
11.	фиолетовый	фиолетовый				
12.	черный	лимонный				
13.	оливковый					
14.	лимонный					
15.	бежевый					
16.	белый					

Рисунок 10 — Порядок цветов ОВ в оптоволоконном модуле ЗАО «ОКС

Цветовая кодировка оптических волокон в оптоволоконных кабелях Самарской Оптической Кабельной Компании.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
белый	оранжевый	коричневый	зеленый	красный	синий	желтый	серый	черный	фиолетовый	розовый	бирюзовый	лимонный	бежевый	оливковый	вишневый

Рисунок 11 — Цветовое кодирование в оптоволоконных кабелях Самарской Оптической Кабельной Компании

По требованию заказчика цветовая кодировка может быть изменена.

Цветовая кодировка различных фирм производителей ОК:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
натуральный	красный	синий	зеленый	желтый	фиолетовый	оранжевый	коричневый	бирюзовый	розовый	серый	черный

Рисунок 12 — Цветовая кодировка оптических волокон ЗАО «ЗаводЮжкабель».

По требованию заказчика сочетание цветов может быть изменено.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Натуральный	зелёный	красный	синий	бирюзовый	желтый	коричневый	оранжевый	розовый	фиолетовый	серый	черный

Рисунок 13 — Расцветка оптических волокон в оптических кабелях ОАО «Электрокабель» Кольчугинский завод

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
белый	красный	чёрный	жёлтый	синий	зелёный	оранж.	серый	коричн.	бирюз.	фиолет.	розовый
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
белый + М	красный + М	чёрный + М	жёлтый + М	синий + М	зелёный + М	оранж. + М	серый + М	коричн. + М	бирюз. + М	фиолет. + М	розовый + М

Рисунок 14 — Цветовое кодирование по IEC 60304

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
синий	оранж.	зелёный	коричн.	серый	белый	красный	чёрный	жёлтый	фиолет.	розовый	бирюз.
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
синий + М	оранж. + М	зелёный + М	коричн. + М	серый + М	белый + М	красный + М	чёрный + М	жёлтый + М	фиолет. + М	розовый + М	бирюз. + М

Рисунок 15 — Цветовое кодирование по Belden (США). Использовано в кабеле FinMark

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
красный	зелёный	жёлтый	синий	нейтр.	серый	коричн.	фиолет.	бирюз.	белый	розовый	оранж.
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
красный + М	зелёный + М	жёлтый + М	синий + М	нейтр. + М	серый + М	коричн. + М	фиолет. + М	бирюз. + М	белый + М	розовый + М	оранж. + М

Рисунок 16 — Цветовое кодирование по nkt (ФРГ)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
красный	зелёный	жёлтый	синий	белый	серый	коричный	фиолет	бирюзовый	чёрный	розовый	оранж.
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
красный + М	зелёный + М	жёлтый + М	синий + М	белый + М	серый + М	коричный + М	фиолет + М	бирюзовый + М	чёрный + М	розовый + М	оранж. + М

Рисунок 17 — Цветовое кодирование по R&M (Швейцария)

В кабелях типа Loose Tube, где может быть несколько оптических модулей вводится цветовой ключ. Это пара оптических модулей (или технологических заполняющих модулей без волокон) зеленого и красного цвета от которых можно производить отсчет остальных неокрашенных модулей.

Задание:

В соответствии с полученными образцами оптических волокон, кабелей разных типов, используя таблицы маркировки оптических волокон разных стандартов, характеристики оптического волокна, технические характеристикам оптических кабелей используемых для прокладки в разных условиях, дать описание в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4 — Стандарт оптического волокна

Стандарт оптического волокна	Назначение и область использования данного волокна	Диаметр сердцевины d_1	Диаметр оболочки d_2	Частота электромагнитной волны света, f (Гц)	Длина волны, α (мкм)	Тип защитного покрытия	Коэффициент затухания
1	2	3	4	5	6	7	8

Содержание отчета:

1. Тема
 2. Цель работы
 3. Результаты проделанной работы
- Вывод

Контрольные вопросы:

1. Что называется оптическим волокном?
2. Какие стандарты ОВ вы знаете?
3. В чем различия, одномодового оптического волокна от многомодового, в стандарте ISO/IEC?

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 10

«Измерение потерь на стыках и разъёмных соединениях ОВ и ОК»

Цель: Изучить калькулятор бюджета оптических потерь на стыках и разъёмных соединениях ОВ и ОК.

Время выполнения: 4 часа.

Ход работы:

Задание: Изучить калькулятор бюджета оптических потерь

Перейти <https://www.extron.ru/product/fibercalculator.aspx>

The screenshot shows the Extron website's fiber calculator interface. The page is titled "Определение затухания в оптическом волокне" (Determination of attenuation in optical fiber). It is divided into three main sections:

- Section 1: Определение затухания в оптическом волокне** (Determination of attenuation in optical fiber). It includes fields for:
 - * Какова длина пути волокна? (What is the fiber path length?): 9 kilometers.
 - * Какое устройство Extron оптоволоконной линейки используется? (Which Extron optical fiber line device is used?): Singlemode – FOX3 Series.
 - * Какой тип волокна используется? (Which type of fiber is used?): Existing Fiber – ISO OS1.The calculated attenuation is 3 dB/km @ 850 nm.
- Section 2: Определение потерь в разъёме** (Determination of losses in the connector). It includes fields for:
 - * Сколько пар разъёмов используется на участке? (How many pairs of connectors are used on the section?): 3 pairs.
 - * Каковы оптические потери в каждой паре разъёмов? (What are the optical losses in each pair of connectors?): 0.75 dB (default 0.75 dB).The total connector loss is 2.25 dB.
- Section 3: Определение потерь на стыках** (Determination of losses at splices). It includes fields for:
 - Сколько механических стыков используется на участке? (How many mechanical splices are used on the section?): 0.
 - Сколько стыков, выполненных методом сплавления, используется на участке? (How many splices made by fusion are used on the section?): 0.The total splice loss is 0 dB.

The final results are shown on the right side of the page:

- ОБЩИЙ РАСЧЕТНЫЙ ДОПУСК ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ (Overall calculated optical loss budget): 7 dB.
- РАСПОЛАГАЕМЫЙ БЮДЖЕТ ПОТЕРЬ (Available loss budget): 7 dB.
- ОБЩИЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОТЕРИ (Overall calculated losses): 2.25 dB.
- КАКОВ ЗАПАС НАДЕЖНОСТИ? (What is the safety margin?): 3 dB (default 3 dB).
- РАСЧЕТНЫЙ РЕЗЕРВ ДОПУСКА ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ (Calculated optical loss budget reserve): 4 dB.

A red arrow points to the "ПЕЧАТЬ" (Print) button. At the bottom right, there is a note: "Активация 1 Чтобы активир..." (Activation 1 To activate...).

* Требуемое для заполнения поле – Обратите внимание

В данные поля ввести произвольное значение, из всплывающего списка выбрать любой

Пример: **1 Определение**

Какова длина пути волокна?

9 километры

Какое устройство Extron оптоволоконной линейки используется?

Singlemode – FOX3

Series (в отдельном файле word дать описание данному устройству)

Какой тип волокна используется?

Existing Fiber – ISO OS1 (в отдельном файле word дать

описание данному типу волокна)

На 2 и 3 Определениях так же заполнить произвольные значения

После заполнения всех полей нажать на кнопку печать, выбрать «Сохранить как PDF»

Контрольные вопросы

1. Каковы основные типы потерь в ОВ?
2. Как измерить потери соединения двух оптических волокон?
3. Расшифруйте dB.

Ответы записать в файл word.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 11

«Исследование эффективности ввода оптического излучения в ОВ»

Цель: Изучение устройства ввода излучения в оптическое волокно.

Время выполнения: 2 часа.

Ход работы:

Задание:

Изучение темы «Устройства ввода излучения в оптическое волокно и вывода из него», источник: <https://siblec.ru/telekommunikatsii/opticheskie-linii-svyazi-i-passivnye-komponenty-vosp/9-ustrojstva-vvoda-izlucheniya-v-opticheskoe-voлокно-i-vyvoda-iz-nego>

Контрольные вопросы:

1. Поясните принципы ввода и вывода оптического излучения в ОВ.
2. Как оценивается эффективность соединения источника излучения с оптическим волокном?
3. Поясните различие ввода излучения в многомодовые и одномодовые ОВ.
4. Поясните принципы построения устройства ввода и вывода оптического сигнала.
5. От чего зависит эффективность ввода излучения в оптическое волокно?

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 12

«Исследование дисперсионных характеристик ОВ»

Цель: Изучение дисперсионных характеристик ОВ.

Время выполнения: 4 часа.

Ход работы:

Задание: Изучить теоретический материал. Ответить письменно в тетради на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каковы причины возникновения модовой и хроматической дисперсии?
2. Что такое «длина установившейся связи между модами» и какова ее связь с дисперсией?
3. Чем обусловлено уширение импульсных сигналов: а) в многомодовых ВС; б) в градиентных ВС; в) в одномодовых ВС?
4. Дайте определение полосы пропускания и коэффициента широкополосности ВС.
5. Сравните ширину полосы пропускания ВС различных типов.
6. Какое влияние на передачу световых сигналов оказывают значения параметров профиля оптического волокна?
7. Какие способы измерения дисперсии наиболее удобны для строительных длин ОВ?
8. Назовите виды дисперсии.
9. Какие виды дисперсии не существуют в одномодовом волокне?
10. Какие причины уширения оптических импульсов в ОВ?
11. Расчет уширения импульсов с точки зрения геометрической оптики.
12. Какие причины ограничения ширины полосы пропускания оптического волокна?

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 13

«Расчет оптических параметров и параметров передачи оптического волокна»

Цель: Научиться рассчитывать параметры передачи оптического волокна.

Время выполнения: 4 часа.

Ход работы:

Теоретические сведения:

Задачей данной работы является исследование бюджета мощности волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП), работающей по одномодовому ступенчатому оптическому волокну (ОВ) на одной оптической несущей, без чирпа, на регенерационном участке (РУ) без линейных оптических усилителей (ОУ) и компенсаторов дисперсии. В процессе выполнения задания необходимо определить длину регенерационного участка (РУ) для заданных параметров волоконно-оптической системы передачи (ВОСП), рассчитать зависимость бюджета мощности от скорости передачи информации в линии и определить максимально допустимую скорость передачи для данного РУ.

Исходными данными для решения поставленной задачи являются тип ОВ и параметры волоконно-оптической системы передачи (ВОСП), к которым относятся скорость передачи линейной кодовой последовательности, уровень мощности оптического излучения лазера, центральная длина волны и ширина линии излучения лазера, уровень чувствительности приемника, полоса пропускания приемника.

Исходные данные к индивидуальному заданию определяются следующим образом.

Скорость передачи в оптической линии на первом этапе принимается равной $B = 155$ Мбит/с, что соответствует STM-1 оптической системы передачи синхронной цифровой иерархии (SDH).

Уровень мощности оптического излучения лазера определяется как

$$P_0 = \frac{6 \cdot m}{10} - 1, \text{ дБм} \quad (1)$$

Уровень чувствительности приемника определяется как

$$P_R = -34 + \frac{22 \cdot n}{10}, \text{ дБм} \quad (2)$$

Для определения центральной длины волны следует воспользоваться следующей формулой:

$$\lambda_C = 1260 + \frac{415 \cdot mn}{100}, \text{ нм} \quad (3)$$

При этом ширина линии излучения лазера определяется следующим образом:

$$\Delta\lambda = \begin{cases} 2 + s & , (P_0 - P_R) < 20 \\ 0,1 \cdot (2 + s) & , (P_0 - P_R) \geq 20 \end{cases} \quad (4)$$
$$s = \begin{cases} 1 & , Sum - \text{четное число} \\ -1 & , Sum - \text{нечетное число} \end{cases}$$

Здесь *Sum* – сумма всех цифр номера зачетной книжки.

Тип одномодового ступенчатого оптического волокна следует выбирать самостоятельно из волокон, данные которых представлены в Приложении 1 к настоящим методическим указаниям.

Задание:

Результаты выбора исходных данных занесите в таблицу 1.

Таблица 1

Номер зачетной книжки		
Последняя цифра номера зачетной книжки	n	
Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	m	
Число, составленное из двух последних цифр номера зачетной книжки	mn	
Сумма всех цифр номера зачетной книжки	Sum	
Наименование параметра		
Условное обозначение		
Значение		
Скорость передачи в линии	B , Мбит/с	155
Уровень мощности оптического излучения лазера	p_0 , дБм	
Уровень чувствительности приемника	p_R , дБм	
Центральная длина волны	λ_C , нм	
Ширина линии излучения лазера	$\Delta\lambda$, нм	
Марка ОВ		

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 14

«Монтаж пассивного оборудования ВОЛС (распределительные коробки, абонентские розетки, соединители)»

Цель: Изучение назначения и способов монтажа пассивного оборудования ВОЛС.

Время выполнения: 6 часов.

Ход работы:

Задание. Составить техническое задание на монтаж волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) из серверной комнаты №1 в серверную комнату №3, установка пассивного оборудования.

В техническом задании описать этапы прокладки кабеля.

Перечислить используемые материалы и оборудование.

Зарисовать схему расположения оборудования и проводок (в любой графической программе, офисном приложении, или в тетради).

В схеме необходимо обозначить 2 коммутационных шкафа, кабель оптический.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 15

«Подключение пассивного оборудования ВОЛС (аттенюаторы, оптические шнуры, маркировка при подключении)»

Цель: Ознакомиться с пассивными компонентами и установленными на них стандартными терминами и определениями, рекомендуемыми для применения во всех видах документации и литературы, входящих в сферу работ по стандартизации в области волоконно-оптических систем передачи.

Время выполнения: 4 часа.

Ход работы:

Теоретические сведения:

Компонент волоконно-оптической системы передачи; компонент ВОСП: Изделие оптики, оптоэлектроники или оптико-механическое изделие, являющееся частью волоконно-оптической системы передачи, которое может быть выделено как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации, и предназначенное для выполнения одной или нескольких функций по передаче, распределению, ответвлению, объединению, коммутации, задержке, преобразованию, формированию, усилению, модуляции оптического сигнала.

Активный компонент ВОСП: Компонент волоконно-оптической системы передачи, воздействующий на оптическое излучение при выполнении определенных функций.

Пассивный компонент ВОСП: Компонент волоконно-оптической системы передачи, не воздействующий на оптическое излучение при выполнении определенных функций. К пассивным компонентам ВОСП относятся:

1. Оптические адаптеры предназначены для соединения оптических волокон, оконцованных коннекторами различных типов. Оптические адаптеры позволяют с высокой точностью соединять и центрировать относительно друг друга коннекторы SC, LC, FC, ST, а так же различные их сочетания.

Для обеспечения точности соединения в оптических адаптерах используются специальные втулки — центраторы, которые, в большинстве случаев, изготавливаются из диоксида циркония. Для соединения коннекторов с различающимися диаметрами феррул (SC-LC, LC-FC) используются два центратора и корпус с точной геометрией.

Оптические адаптеры имеют металлический или пластиковый корпус.

Для надежного закрепления коннекторов используют штыревые фиксаторы, а пазы под "ключ" предохраняют соединяемые в адаптерах коннекторы от осевого сдвига.

Оптические адаптеры могут применяться как для соединения двух коннекторов, так и для подключения коннектора к розетке отличающегося типа.



FC/FC, female-female



LC /LC, female-female



SC/SC, female-female
SC/SC, female-female



SC/LS, female-female



2. Оптический аттенюатор предназначен для внесения в волоконно-оптическую линию затухания заданной величины. Намеренное внесение затухания в линию используется в случаях, когда требуется снизить мощность сигнала перед оптическим приемником.

Использование аттенюаторов позволяет применять приемо-передающее оборудование с одинаковыми характеристиками на волоконно-оптических линиях с различным затуханием. Широкое применение получили два вида аттенюаторов — фиксированные и переменные.

Фиксированные аттенюаторы имеют установленное изготовителем значение затухания, величина которого может составлять 0, 5, 10, 15 или 20 (дБ). Затухание может вноситься посредством воздушного зазора фиксированной величины, или посредством специального поглощающего фильтра, встроенного в аттенюатор.

Такие аттенюаторы позволяют соединить два оптических патч-корда (тип "мама"- "мама") или патчкорд и оптическую розетку (тип "мама"- "папа").

Переменные аттенюаторы допускают регулировку величины затухания в пределах от 0 до 25 (дБ) для многомодовых и одномодовых волокон с точностью

установки величины затухания 0,5 дБ. Регулировка достигается путем изменения величины воздушного зазора между торцами феррул соединяемых коннекторов.

Оптические аттенюаторы поставляются в индивидуальной упаковке и сопровождаются кратким отчетом о тестировании. Для оптических аттенюаторов с фиксированным значением вносимого затухания указывается результат тестирования на двух длинах волн — 1310 нм и 1550 нм.

Оптические аттенюаторы используются в различных сферах: телекоммуникации, кабельное телевидение, системы телеметрии и пр.



SC, female-female



LC, male-female



FC, female-female



FC, male-female
SC, female-male



LC, female-female



3. Патч-корды — это оптические шнуры, оконцованные коннекторами ST, FC, SC, LC с различными типами полировки. Устройства предназначены для коммутации активного или пассивного телекоммуникационного оборудования.

Одномодовые и многомодовые оптические шнуры изготавливаются из:

- оптических волокон с буферным покрытием диаметром 0,9 мм
- одноволоконного кабеля толщиной 2 мм или 3 мм
- двухволоконных кабелей 2 x 4 (мм) и 3 x 6 (мм)

При изготовлении патч-кордов соблюдаются международные нормы и стандарты качества (IEC и TELCORDIA). К наиболее важным характеристикам патч-кордов относятся прямые и обратные потери, максимальный радиус кривизны, смещение вершины феррулы, положение торца волокна в ферруле, устойчивость к механическим воздействиям.

Современные оптические шнуры допускают изгиб с радиусом, равным 40 радиусам изгибаемого оптического волокна. В проектах FTTH используются патч-корды с повышенной гибкостью и прочностью.



Патч-корд с коннекторами LC/FC



Патч-корд с коннекторами SC/SC



Патч-корд с коннекторами LC/LC

4. Пигтейл или монтажный оптический шнур — это кусок волоконно-оптического кабеля, оконцованный с одной стороны. Пигтейлы используются для быстрой оконцовки волоконно-оптического кабеля при монтаже сетей связи путем присоединения пигтейла к кабелю с помощью сварки или механических соединителей.

По сути, пигтейл — это патч-корд без второго коннектора, поэтому к пигтейлам предъявляются требования, сходные с требованиями к патч-кордам. К важным характеристикам пигтейлов относятся прямые и обратные потери, положение волокна в ферруле коннектора, механическая прочность.

Пигтейлы используются при монтаже пассивных распределительных устройств, таких как оптические кроссы.



Пигтейл или монтажный оптический шнур

5. Термоусадочные трубки или комплект для защиты сварных соединений (КДЗС) служит для защиты от повреждений точек сварки оптических волокон.

Термоусадочная трубка КДЗС состоит из внешней термоусаживаемой трубки, внутренней трубки из клея-расплава и металлического стержня. Металлический стержень помещается во внешнюю трубку и служит для предотвращения изгибов и сохранения формы трубки в целом.

При нагреве КДЗС до температуры 110-120°C, внутренняя трубка полностью расплавляется, а внешняя равномерно сжимается. Таким образом обеспечивается надежная защита сварного соединения.

В телекоммуникациях и сетях CATV используются трубки КДЗС размеров 40 мм или 60 мм. Для размещения нескольких сварных соединений, защищенных КДЗС, используются сплайс-кассеты со специальными посадочными местами под КДЗС.



6. Оптические коннекторы применяются при оконцовке оптических шнуров различных типов, а также выводов оптических устройств, таких как циркуляторы, сплиттеры, мультиплексоры и другие. В телекоммуникациях и сетях кабельного телевидения наибольшее распространение получили коннекторы типов LC, SC, FC, ST.

Оптический коннектор состоит из корпуса, внутри которого расположен керамический наконечник (феррула) с прецизионным продольным концентрическим каналом. В коннекторах типов SC, FC и ST используются феррулы с внешним диаметром 2,5 мм.

В коннекторах типа LC — 1,25 мм. Феррулы коннекторов изготавливаются из диоксида циркония и обладают повышенной стойкостью к истиранию и царапинам. Для обеспечения наиболее плотного соединения коннекторов и снижения затухания и обратного отражения в точке их соединения, торец феррулы полируется.

Наиболее распространенные типы полировки — UPC (Ultra Physically Contact) и APC (Angled Physically Contact).

При полировке UPC плоскость торца феррулы перпендикулярна оптическому волноводу волокна.

При полировке APC плоскость торца феррулы наклонена под углом 8°.

В телекоммуникациях стандартно используются оптические коннекторы с полировкой UPC, обозначаемые синим цветом, реже APC, обозначаемые зеленым цветом.



Оптический коннектор FC/UPC



Оптический коннектор SC/APC



Оптический коннектор SC/UPC



Оптический коннектор LC/UPC

7. Оптические сплиттеры/разветвители являются пассивными компонентами оптических сетей связи и предназначены для деления мощности оптического сигнала на части в заданных пропорциях. В общем виде сплиттер можно представить как узел с определенным количеством входных и выходных оптических каналов, между которыми и происходит деление мощности.

Наиболее широкое применение сплиттеры нашли в сетях операторов кабельного телевидения и в современных пассивных оптических сетях (PON). Существенное отличие в использовании делителей в сетях кабельного телевидения и в сетях PON заключается в том, что в сетях КТВ сигнал передается в одном направлении, а в сетях PON требуется дуплексная передача сигналов. Это отличие предъявляет более жесткие требования к качеству оптических компонентов.

Оптические планарные сплиттеры (разветвители) PLC (Planar Lightwave Circuit) предназначены для объединения и разделения мощности оптических сигналов равномерно между всеми выходами

Устройства полностью пассивны. Отсутствие потребности в электропитании позволили сплиттерам получить широкое распространение в сетях, построенных на основе технологии PON и FTTH.

PLC торговой марки UpNet выпускаются в конфигурациях 1xM (M = 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 32, 64) и 2xN (N = 2, 4, 8, 16, 32, 64).

Оптические сплиттеры PLC отличаются высокой стабильностью характеристик в диапазоне длин волн от 1260 до 1650 нм.

Оптические планарные сплиттеры PLC созданы на основе планарных волноводов.

Технология производства достаточно проста и имеет несколько основных этапов. Первый из них заключается в нанесении на подложку отражающего слоя-оболочки. На данный слой наносится материал волновода, на котором в последствии формируется маска для травления. Результатом процесса травления является система волноводов, являющаяся, по сути, оптическим делителем. Система планарных волноводов покрывается вторым отражающим слоем-оболочкой. Необходимое количество разветвлений PLC достигается сочетанием делителей 1x2. Полученный кристалл соединяется с оптическими волокнами и фиксируется в корпусе.

Особенности

- Низкое значение допустимой неравномерности деления оптической мощности между выходными портами
- Возможность интегрирования в оптические модули и муфты
- Установка в различные типы корпусов, в т.ч. в стоечный 19" 1U/2U
- Низкие потери уровня сигнала



Сварной сплиттер 3x1

Оптические сварные сплиттеры предназначены для деления мощности оптических сигналов на части в заданных пропорциях.

Устройства могут быть двух видов: торцевые и биконические. В биконических излучение передается через боковую поверхность. В торцевых излучение передается через торцы соединенных волноводов. Наибольшее распространение на рынке получили биконические разветвители, в которых оптические волноводы совмещаются так, чтобы необходимая доля оптического сигнала передавалась через боковые поверхности.

Особенностью оптических сплиттеров сварного типа является возможность неравномерного деления оптического сигнала. Например, возможно производство сплиттеров 1x3 с отношением деления уровня оптической мощности 20%/30%/50%. Эта особенность используется в сетях кабельного телевидения и системах PON, где разные ответвления сети имеют различный оптический бюджет линии.

Сплиттеры сварного типа не позволяют передавать сигналы с широким спектром длин волн.

Сварные сплиттеры делятся на однооконные, двухоконные и трехоконные. В зависимости от "оконности" делители могут с минимальными потерями пропускать сигналы на длинах волн, которые используются в сетях PON: 1310, 1490, 1550 нм.

Особенности

- Возможность деления уровня оптической мощности в любом соотношении (с шагом 1%)
- Высокая точность деления сигнала
- Установка в различные типы корпусов, в т.ч. в стоечный 19" 1U
- Низкие потери уровня сигнала



Планарный сплиттер 1x16

8. Оптические кроссы или оптические распределительные устройства (Optical Distribution Frame) используются для распределения волоконо-оптических кабелей, подведенных на узел связи, обеспечивая удобство подключения активного и пассивного телекоммуникационного оборудования. Для упорядочивания и ровной укладки оптических волокон внутри кросса используются сплайс-кассеты. Оптические адаптеры монтируются либо на сменных планках емкостью 4/8 портов каждая, либо непосредственно на лицевую панель кросса.

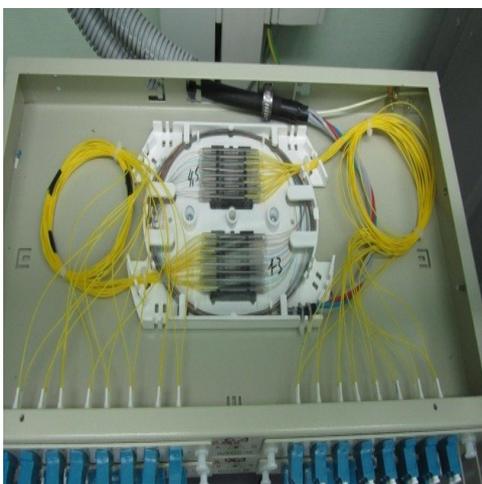
Настенный кросс представляет из себя металлический короб, в котором размещаются элементы крепления и распределения оптических кабелей и волокон. Для защиты точек распределения оптических волокон вне узлов связи используются антивандальные оптические кроссы настенного типа, которые имеют более прочную конструкцию и оснащены замком.



Кроссы стоечного типа 19" (Optical Distribution Frame, ODF, оптическое распределительное устройство) используются для распределения волоконо-оптического кабеля, подведенного к телекоммуникационной стойке для обеспечения удобного подключения активного телекоммуникационного оборудования и пассивных систем.

Типичный кросс представляет собой металлический ящик типоразмера 19" для крепления в стандартной стойке, сзади в него вводится оконечиваемый кабель, спереди расположены планки с портами.

Кроссы стоечного типа используются, как правило, при распределении кабелей с большим числом волокон и применяются на узлах связи



Сваренный кросс на 64 порта типа LC, 2-юнитовый

9. **Оптические циркуляторы** — это 3-портовое устройство с изолированными однонаправленными портами, которое разделяет встречные световые потоки за счет эффекта поляризации и распределяет их по соответствующим портам.

Циркуляторы используются для организации дуплексного канала связи по одному волокну независимо от источника излучения. Наиболее часто циркуляторы применяются при уплотнении каналов в сетях 10 Gigabit Ethernet. Устройства передают сигнал с порта 1 на порт 2 и с порта 2 на порт 3.



Оптический циркулятор



10 . При необходимости быстро соединить оптические волокна на любом оптическом кабеле (воздушной подвески, проложенном в открытом грунте, либо проложенном в канализации) используют соединители Fibrlok II. Они идеально подходят для проведения ремонтных работ и в некоторых случаях при строительстве новых линий.

Универсальные соединители Fibrlok II 2529 предназначены для работы как с одномодовыми, так и многомодовыми оптическими волокнами со стандартными диаметрами светотражающей оболочки и защитного покрытия. Для монтажа соединителей используются наборы инструментов 2559 , 2559-С .

Сборка соединителя с подготовленными волокнами и его закрытие осуществляются с использованием специального приспособления Fibrlok 2501.

После того, как в соединитель вставлены подготовленные волокна, его крышка защелкивается инструментом для монтажа Fibrlok 2501. Для сращивания волокон в соединителях Fibrlok II достаточно одного движения крышки, что приводит к сжатию лепестков центрирующего элемента, точно и надежно фиксируя волокна.



Задание:

1. Ознакомиться с общими понятиями компонентов ВОСП
2. Ознакомиться с назначением пассивных компонентов ВОСП

Контрольные вопросы:

1. Перечислить пассивные оптические компоненты необходимые для организации простейшего линейного тракта.
2. Сравнительная характеристика разъемных и не разъемных соединителей.
3. Область применения переменного аттенюатора.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 16

«Расчет опасного магнитного влияния»

Цель: изучить методы расчета магнитного поля, создаваемого источниками переменного тока, оценить уровень опасного магнитного воздействия на человека и определить зоны, в которых значение магнитной индукции превышает установленные нормативные пределы. Практическая часть работы включает вычисление магнитного поля вблизи источника, сравнение полученных значений с допустимыми нормами и анализ факторов, влияющих на уровень магнитного воздействия.

Время выполнения: 2 часа.

Оборудование:

- Источник электромагнитного излучения: Генератор сигналов или радиоизлучатель с возможностью задания определённых частот.
- Измерительный прибор: Спектроанализатор, прибор для измерения напряжённости электромагнитного поля или специализированный измеритель (например, прибор типа «EMF Meter»).
- Экраны из различных материалов:
- Алюминиевый лист (толщиной, например, 1–2 мм),
- Стальная сетка или лист,
- Комбинированные экраны (слоистые конструкции с проводящим и поглощающим слоями).
- Методические приспособления: Держатели, экранированная камера, измерительные метки для размещения источника, экрана и приемника.

Ход работы:

Теоретические сведения:

2.1. Основные понятия

Магнитное поле характеризуется векторной величиной – магнитной индукцией B , измеряемой в теслах (Т) или в более мелких единицах (мТ, μT). Источниками магнитного поля в электросетях являются проводники, по которым протекает переменный ток, электродвигатели, трансформаторы и другое электротехническое оборудование.

Опасное магнитное влияние возникает, когда уровень магнитной индукции в рабочей зоне превышает установленные нормативные значения, что может негативно сказываться на здоровье человека (например, при длительном воздействии низкочастотных магнитных полей).

2.2. Нормативные пределы

Согласно рекомендациям международных организаций (например, ICNIRP) и действующим стандартам в отдельных странах, для низкочастотных (50–60 Гц) магнитных полей предельно допустимый уровень для рабочих мест обычно составляет порядка 1 мТ (для кратковременного воздействия – значения могут быть несколько выше, а для постоянного воздействия – ниже). При превышении этих норм необходимо применять меры по снижению магнитного воздействия (экранирование, изменение конфигурации оборудования, увеличение расстояния от источника и т.д.).

2.3. Расчет магнитного поля

Для оценки магнитного поля от источника переменного тока часто используют формулу, выведенную из закона Био–Савара и закона Ампера для длинного прямолинейного проводника:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

где:

- B – магнитная индукция в точке на расстоянии r от проводника (в теслах, Т),
- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость вакуума,
- I – величина тока в проводнике (в амперах, А),
- r – расстояние от проводника до точки измерения (в метрах, м).

При расчете опасного магнитного влияния также важно учитывать распределение поля, его неоднородность и влияние окружающих конструкций.

Задание:

3.1. Исходные данные

В качестве примера рассмотрим силовой кабель, по которому протекает переменный ток. Допустим, имеем следующие исходные данные:

- Сила тока в кабеле: $I = 500 \text{ А}$
- Частота переменного тока: $f = 50 \text{ Гц}$ (типичная для электросетей)
- Расстояние от кабеля до рабочего места: два варианта:
 - Вариант 1: $r_1 = 1.0 \text{ м}$
 - Вариант 2: $r_2 = 0.1 \text{ м}$

Нормативное значение магнитной индукции для рабочих мест принято считать $B_{\text{норм}} = 1 \text{ мТ}$ (0.001 Т) для низкочастотных полей (в зависимости от нормативной документации).

3.2. Расчет магнитной индукции

Вариант 1. Расчет для расстояния $r_1 = 1.0 \text{ м}$:

Подставляем данные в формулу:

$$B_1 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \text{ Гн/м} \times 500 \text{ А}}{2\pi \times 1.0 \text{ м}}$$

Упростим выражение:

$$B_1 = \frac{4\pi \times 500 \times 10^{-7}}{2\pi} = \frac{2000\pi \times 10^{-7}}{2\pi} = \frac{2000 \times 10^{-7}}{2} = 1000 \times 10^{-7} \text{ Т} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ Т}$$

То есть:

$$B_1 = 0.1 \text{ мТ}$$

Это значение значительно ниже нормативного предела 1 мТ.

Вариант 2. Расчет для расстояния $r_2 = 0.1$ м:

$$B_2 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \text{ Гн/м} \times 500 \text{ А}}{2\pi \times 0.1 \text{ м}}$$

Упростим:

$$B_2 = \frac{2000\pi \times 10^{-7}}{0.2\pi} = \frac{2000 \times 10^{-7}}{0.2} = 10000 \times 10^{-7} \text{ Т} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ Т}$$

То есть:

$$B_2 = 1.0 \text{ мТ}$$

В этом случае магнитная индукция достигает нормативного предела.

3.3. Анализ результатов и оценка опасности

1. Вариант 1 (расстояние 1 м):

При расстоянии 1 метр магнитное поле составляет 0.1 мТ, что значительно ниже критического уровня в 1 мТ. Таким образом, в данной зоне влияние магнитного поля считается безопасным для кратковременного и даже длительного пребывания человека.

2. Вариант 2 (расстояние 0.1 м):

При расстоянии 10 см от кабеля магнитное поле достигает 1.0 мТ, что равняется пределу допустимого воздействия для рабочих мест. В таких условиях необходимо принимать меры по снижению воздействия, например, ограничить время пребывания вблизи источника, обеспечить экранирование или увеличить расстояние от проводника.

3.4. Рекомендации по снижению опасного магнитного влияния

- **Увеличение расстояния:** Согласно закону, магнитное поле обратно пропорционально расстоянию, поэтому увеличение дистанции от источника существенно снижает уровень воздействия.
- **Экранирование:** Применение экранирующих конструкций (например, металлических экранов) может помочь уменьшить значение магнитной индукции в рабочей зоне.
- **Организационные меры:** Ограничение времени нахождения персонала в зоне повышенного магнитного воздействия, использование защитных экранов и выполнение работ в условиях, где уровень поля ниже нормативных значений.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 17

«Расчет взаимного влияния в симметричных цепях воздушных и кабельных линий связи»

Цель: изучить принципы взаимного влияния (взаимной индуктивности и взаимной емкости) в симметричных цепях линий связи, как воздушных, так и кабельных. Задачи работы:

- Рассчитать основные параметры взаимного воздействия в параллельно расположенных линиях передачи.
- Сравнить величины взаимного влияния (взаимная индуктивность и взаимная емкость) для воздушных и кабельных линий.
- Оценить, каким образом взаимное влияние может оказывать негативное воздействие (например, вызывать кросс-talk) и предложить рекомендации по его минимизации.

Время выполнения: 2 часа.

Оборудование:

Ход работы:

Теоретические сведения:

2.1. Основные понятия

При передаче сигналов в линиях связи рядом располагающиеся цепи могут оказывать влияние друг на друга. Это взаимное влияние проявляется через два ключевых параметра:

- **Взаимная индуктивность (M):** отражает степень магнитной связи между линиями, возникающей из-за общих магнитных потоков. Она влияет на передачу высокочастотных помех и может приводить к возникновению нежелательных наводок.
- **Взаимная емкость (C_m):** описывает влияние электрического поля, создаваемого одним проводником, на соседние цепи. Взаимная емкость важна для определения кросс-talk и искажений сигналов.

Для симметричных (балансированных) цепей, где линии имеют идентичные параметры, часто используют следующие соотношения:

1. Взаимная индуктивность:

При приближенном расчёте можно выразить через коэффициент сцепления k :

$$M = k L,$$

где L — собственная индуктивность одной линии, а k (от 0 до 1) характеризует степень магнитного сцепления между линиями.

2. Коэффициент взаимного влияния:

Его можно определить как отношение взаимной индуктивности к собственной:

$$k = \frac{M}{L}.$$

Для симметричных цепей данный коэффициент одинаков для обеих линий.

3. Взаимная емкость:

Определяется с учетом геометрии расположения проводников и диэлектрических свойств среды между ними. В простых случаях она может быть получена по специальным эмпирическим формулам, зависящим от расстояния между проводниками, их размеров и типа изоляции.

2.2. Отличия воздушных и кабельных линий

- **Воздушные линии связи:**

В таких линиях проводники, как правило, расположены на опорах и имеют значительные межпроводниковые расстояния. Это приводит к более низкой взаимной емкости и, как правило, меньшему коэффициенту сцепления k . Однако воздушная среда способствует меньшим потерям на диэлектрическую составляющую, и характеристики зависят в первую очередь от геометрии проводников и расстояния между ними.

- **Кабельные линии связи:**

Здесь проводники размещаются внутри общей оболочки с диэлектрическим материалом между ними. Это позволяет добиться более компактной конструкции, однако расстояние между проводниками существенно меньше, что приводит к более высокой взаимной емкости и большему коэффициенту взаимного влияния.

Взаимное влияние в обоих случаях приводит к эффекту кросс-talk, ухудшая качество передаваемого сигнала, поэтому при проектировании линий связи важно учитывать и минимизировать его.

Задание:

3.1. Исходные данные

Предположим, что для двух параллельно проложенных линий связи заданы следующие параметры:

Для воздушной линии:

- Собственная индуктивность линии:

$$L_{\text{возд}} = 1.0 \times 10^{-6} \text{ Гн/м}$$

- Коэффициент сцепления (определяемый геометрией проводов и расстоянием между ними):

$$k_{\text{возд}} = 0.3$$

Для кабельной линии:

- Собственная индуктивность линии:

$$L_{\text{каб}} = 0.8 \times 10^{-6} \text{ Гн/м}$$

- Коэффициент сцепления:

$$k_{\text{каб}} = 0.5$$

(учитывая более компактное расположение проводников внутри кабеля)

Для взаимной емкости примем ориентировочные значения (определённые экспериментально или по справочным данным):

- Воздушная линия:
 $C_{m, \text{возд}} = 20 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$
- Кабельная линия:
 $C_{m, \text{каб}} = 50 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$

3.2. Расчёт взаимных параметров

3.2.1. Взаимная индуктивность

Для воздушной линии:

$$M_{\text{возд}} = k_{\text{возд}} \cdot L_{\text{возд}} = 0.3 \times 1.0 \times 10^{-6} \text{ Гн/м} = 3.0 \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

Для кабельной линии:

$$M_{\text{каб}} = k_{\text{каб}} \cdot L_{\text{каб}} = 0.5 \times 0.8 \times 10^{-6} \text{ Гн/м} = 4.0 \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

3.2.2. Коэффициент взаимного влияния

Воздушная линия:

$$k_{\text{возд}} = \frac{M_{\text{возд}}}{L_{\text{возд}}} = \frac{3.0 \times 10^{-7}}{1.0 \times 10^{-6}} = 0.3$$

Кабельная линия:

$$k_{\text{каб}} = \frac{M_{\text{каб}}}{L_{\text{каб}}} = \frac{4.0 \times 10^{-7}}{0.8 \times 10^{-6}} = 0.5$$

3.2.3. Взаимная емкость

В качестве примера ориентировочно приняты следующие значения:

- Воздушная линия: $C_{m, \text{возд}} = 20 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$
- Кабельная линия: $C_{m, \text{каб}} = 50 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$

3.3. Анализ влияния взаимного воздействия

На основании проведенных расчётов можно сделать следующие наблюдения:

1. Воздушные линии:

- Собственная индуктивность составляет $1.0 \times 10^{-6} \text{ Гн/м}$, взаимная индуктивность — $3.0 \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$ (коэффициент $k = 0.3$).
- Взаимная емкость относительно низкая (20 пФ/м), что говорит о сравнительно слабом электрическом сцеплении между линиями.
- Итоговое взаимное влияние в воздушных линиях, как правило, менее выражено, что благоприятно сказывается на уровне кросс-talk.

2. Кабельные линии:

- Собственная индуктивность ниже ($0.8 \times 10^{-6} \text{ Гн/м}$), однако коэффициент сцепления выше ($k = 0.5$), что приводит к взаимной индуктивности $4.0 \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$.
- Взаимная емкость значительно выше (50 пФ/м), что усиливает электрическое взаимодействие между проводниками.
- В результате кабельные линии обладают более выраженным взаимным влиянием, что может способствовать усилению кросс-talk и требовать дополнительных мер по экранированию или оптимизации конструкции.

3. Практические рекомендации:

- Для снижения негативного воздействия взаимного влияния в кабельных линиях можно использовать экранирование, увеличить расстояние между параллельными цепями или применять специальные схемы компенсации.
- В воздушных линиях оптимизация расположения проводников и соблюдение достаточного межпроводникового расстояния помогут минимизировать взаимное воздействие.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 18

«Расчет влияния в коаксиальных кабелях связи»

Цель: Научиться рассчитывать влияние в коаксиальных кабелях связи.

Время выполнения: 2 часа.

Ход работы:

Теоретические сведения:

1. Основные группы кабелей

На сегодняшний день подавляющая часть компьютерных сетей использует для соединения провода или кабели. Они выступают в качестве среды передачи сигналов между компьютерами.

В большинстве сетей применяются только три основные группы кабелей:

- коаксиальный кабель (coaxial cable);
- витая пара (twisted pair);
- неэкранированная (unshielded);
- экранированная (shielded);
- оптоволоконный кабель (fiber optic).

2. Коаксиальный кабель

Коаксиальный кабель самый распространенный тип кабеля. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, он относительно недорогой, легкий, гибкий и удобный в применении. Во-вторых, широкая популярность коаксиального кабеля привела к тому, что он стал безопасным и простым в установке.

Коаксиальный кабель состоит из медной жилы (core), изоляции, ее окружающей, экрана в виде металлической оплетки и внешней оболочки (рис. 1). Если кабель, кроме металлической оплетки, имеет и слой фольги, он называется кабелем с двойной экранизацией. При наличии сильных помех можно воспользоваться кабелем с учетверенной экранизацией. Он состоит из двойного слоя фольги и двойного слоя металлической оплетки.

Некоторые типы кабелей покрывает металлическая сетка — экран (shield). Он защищает передаваемые по кабелю данные, поглощая внешние электромагнитные сигналы, называемые помехами или шумом. Таким образом, экран не позволяет помехам исказить данные.

Электрические сигналы передаются по жиле. Жила – это один провод (сплошная) или пучок проводов. Сплошная жила изготавливается, как правило, из меди.

Жила окружена изоляционным слоем, который отделяет ее от металлической оплетки. Оплетка играет роль заземления и защищает жилу от электрических шумов (noise) и перекрестных помех (crosstalk). Перекрестные помехи – это электрические наводки, вызванные сигналами в соседних проводах.

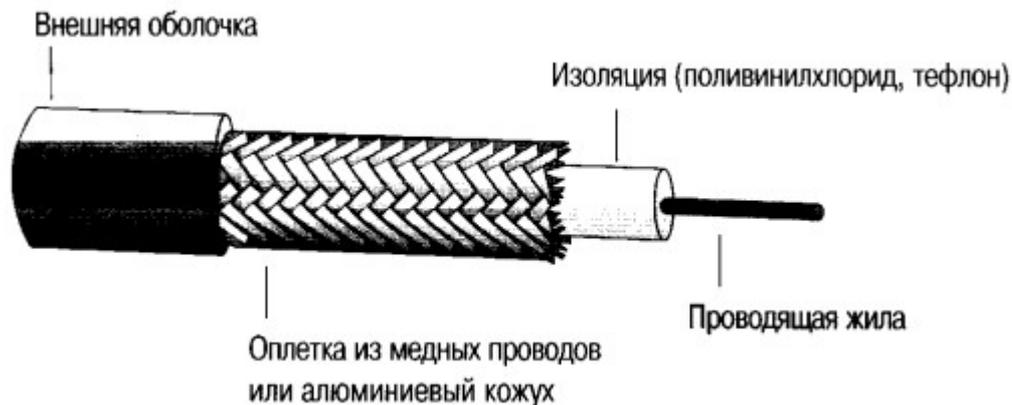


Рис. 1. Структура коаксиального кабеля

Проводящая жила и металлическая оплетка не должны соприкасаться, иначе произойдет короткое замыкание, помехи проникнут в жилу, и данные разрушатся. Снаружи кабель покрыт непроводящим слоем — из резины, тефлона или пластика. Коаксиальный кабель более помехоустойчив, затухание сигнала в нем меньше, чем в витой паре. Затухание (attenuation) — это уменьшение величины сигнала при его перемещении по кабелю (рис. 2).

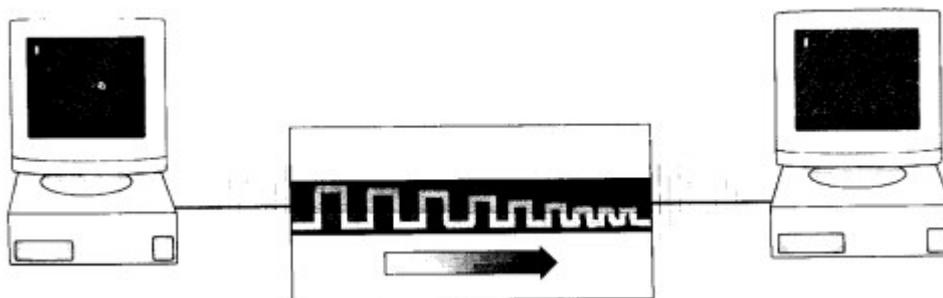


Рис. 2. Затухание сигнала приводит к ухудшению его качества

Плетеная защитная оболочка поглощает внешние электромагнитные сигналы, не позволяя им влиять на передаваемые по жиле данные, поэтому коаксиальный кабель можно использовать при передаче на большие расстояния.

Следует использовать коаксиальный кабель, если требуется:

среда для передачи речи, видео и двоичных данных;

передавать данные на большие расстояния (по сравнению с менее дорогими кабелями)

технология предлагающая достаточный уровень защиты данных.

Существует два типа коаксиальных кабелей:

- тонкий коаксиальный кабель;
- толстый коаксиальный кабель.

Выбор того или иного типа кабеля зависит от потребностей конкретной сети.

2.1. Тонкий коаксиальный кабель

Тонкий коаксиальный кабель – гибкий кабель диаметром около 0,5 см (около 0,25 дюймов). Он прост в применении, подключается непосредственно к платам сетевого адаптера компьютеров (рис. 3).

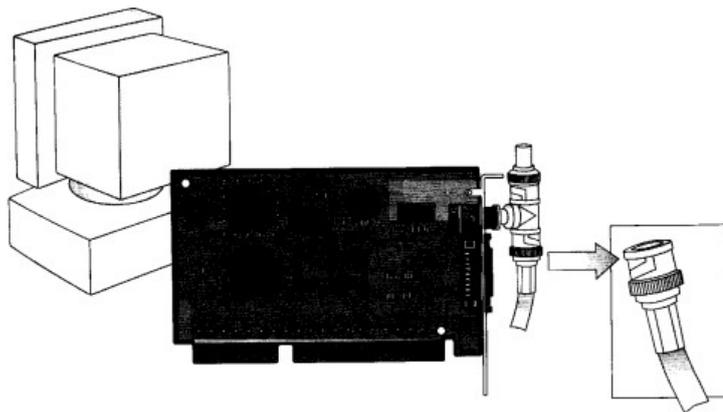


Рис. 3. Подключение тонкого коаксиального кабеля к компьютеру

Тонкий (thin) коаксиальный кабель способен передавать сигнал на расстояние до 185 м (около 607 футов) без его заметного искажения, вызванного затуханием.

Производители оборудования выработали специальную маркировку для различных типов кабелей (табл. 1). Тонкий коаксиальный кабель относится к группе, которая называется семейством RG-58, его волновое сопротивление (impedance) равно 50 Ом. Основная отличительная особенность этого семейства – медная жила. Она может быть сплошной или состоять из нескольких переплетенных проводов (рис. 4).

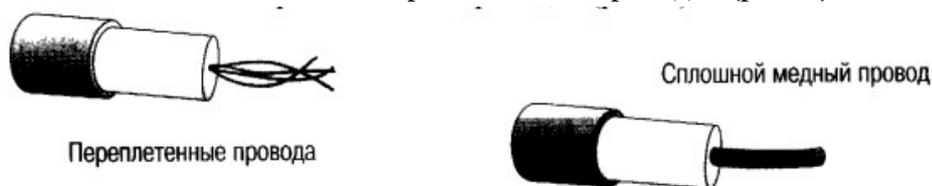


Рис. 4. Жила – переплетенные провода или сплошной медный провод

2.2. Толстый коаксиальный кабель

Толстый (thick) коаксиальный кабель – относительно жесткий кабель с диаметром около 1 см (около 0,5 дюймов). Иногда его называют «стандартный Ethernet», поскольку он был первым типом кабеля, применяемым в Ethernet сетевой архитектуре. Медная жила этого кабеля толще, чем у тонкого коаксиального кабеля (рис. 5).

Таблица 1.

Типы кабелей	
Кабель	Описание
RG-58/U	Сплошная медная жила
RG-58 A/U	Переплетенные провода
RG-58 C/U	Военный стандарт для RG-58 A/U
RG-59	Используется для широкополосной передачи (например, в кабельном телевидении)
RG-6	Имеет больший диаметр по сравнению с RG-59, предназначен для более высоких частот, но может применяться и для широкополосной передачи

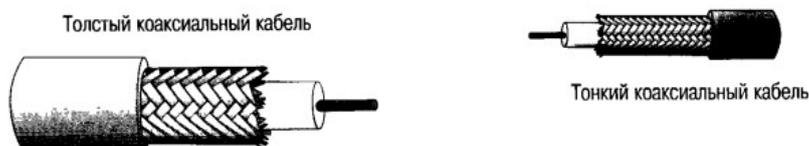


Рис. 5. Жила толстого коаксиального кабеля больше в сечении, чем тонкого

Чем толще жила у кабеля, тем большее расстояние способен преодолеть сигнал. Следовательно, толстый коаксиальный кабель передает сигналы дальше, чем тонкий, - до 500 м (около 1 640 футов). Поэтому толстый коаксиальный кабель иногда используют в качестве основного кабеля [магистрала (backbone)], который соединяет несколько небольших сетей, построенных на тонком коаксиальном кабеле.

Для подключения к толстому коаксиальному кабелю применяют специальное устройство – трансивер (transceiver) (рис. 6).

Трансивер снабжен специальным коннектором, который назван весьма впечатляюще — «зуб вампира» (vampire tap) или «пронзающий ответвитель» (piercing tap). Этот «зуб» проникает через изоляционный слой и вступает в непосредственный физический контакт с проводящей жилой. Чтобы подключить трансивер к сетевому адаптеру, надо кабель трансивера подключить к коннектору AUI-порта сетевой платы. Этот коннектор известен также как DIX-коннектор (Digital Intel Xerox®), в соответствии с названиями фирм-разработчиков, или коннектор DB-15.

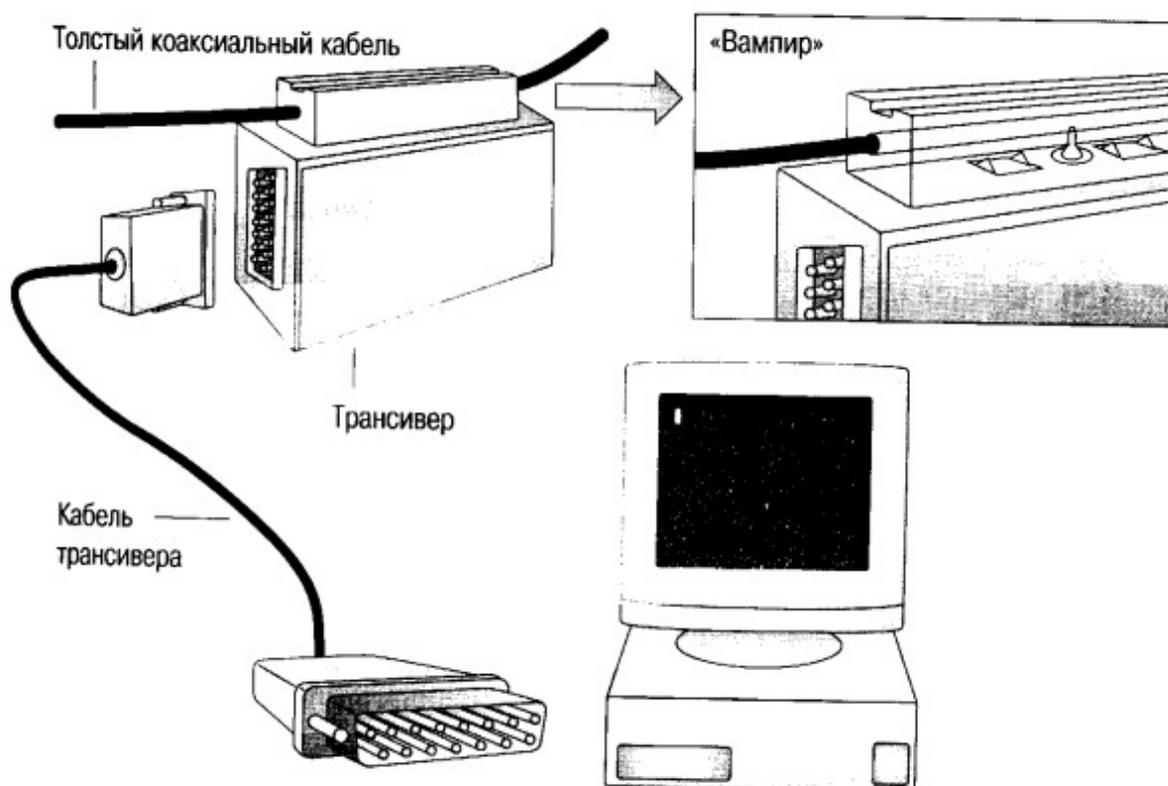


Рис. 6. Подключение трансивера к толстому коаксиальному кабелю

2.3. Сравнение двух типов коаксиальных кабелей

Как правило, чем толще кабель, тем сложнее с ним работать. Тонкий коаксиальный кабель гибок, прост в установке и относительно недорог. Толстый кабель трудно гнуть, и, следовательно, его сложнее устанавливать. Это очень существенный недостаток, особенно если необходимо проложить кабель по трубам или желобам. Толстый коаксиальный кабель дороже тонкого, но при этом он передает сигналы на большие расстояния.

2.4. Оборудование для подключения коаксиального кабеля

Для подключения тонкого коаксиального кабеля к компьютерам используются так называемые BNC-коннекторы (British Naval Connector, BNC). В семействе BNC несколько основных компонентов:

BNC-коннектор. BNC-коннектор либо припаивается, либо обжимается на конце кабеля.

BNC T-коннектор. T-коннектор соединяет сетевой кабель с сетевой платой компьютера.

BNC баррел-коннектор. Баррел-коннектор применяется для сращивания двух отрезков тонкого коаксиального кабеля.

BNC-терминатор. В сети с топологией «шина» для поглощения «свободных» сигналов терминаторы устанавливаются на каждом конце кабеля. Иначе сеть не будет работать.

2. 5. Классы коаксиальных кабелей и требования пожарной безопасности

Выбор того или иного класса коаксиальных кабелей зависит от того, где этот кабель будет прокладываться. Существует два класса коаксиальных кабелей:

- поливинилхлоридные;
- пленумные - для прокладки в области пленума (рис. 7).

Поливинилхлорид (PVC) – это пластик, который применяется в качестве изолятора или внешней оболочки у большинства коаксиальных кабелей. Кабель PVC достаточно гибок, его можно прокладывать на открытых участках помещений. Однако при горении он выделяет ядовитые газы.

Пленум (plenum) – это небольшое пространство между фальшьпотолком и перекрытием, обычно его используют для вентиляции. Требования пожарной безопасности строго ограничивают типы кабелей, которые могут быть здесь проложены, поскольку в случае пожара выделяемые ими дым или газы распространятся по всему зданию.

Слой изоляции и внешняя оболочка пленумного кабеля выполнены из специальных огнеупорных материалов, которые при горении выделяют минимальное количество дыма. Это уменьшает риск химического отравления. Кроме того, эти кабели можно прокладывать открыто, не заключая в трубу. Однако они дороже и жестче, чем поливинилхлоридные.

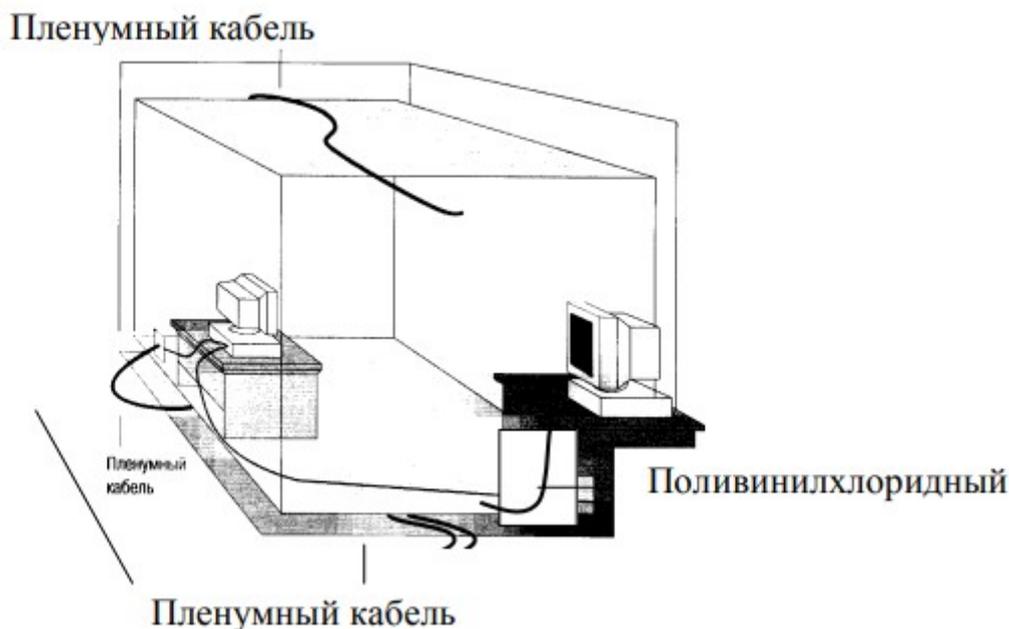


Рис 7. Требованиями пожарной безопасности предусмотрен специальный тип кабелей для прокладки в области пленума

Задание:

1. Внимательно прочитайте теоретический материал изложенный в данной лабораторной работе.

2. Составить сравнительную характеристику выше описанных типов кабелей.

3. Сделайте вывод: какой кабель лучше, какой хуже, почему.

4. Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Основные группы применяемых кабелей. Их основные характеристики.

2. Структура коаксиального кабеля. Перекрестные помехи. Затухание. Типы коаксиального кабеля.

3. Характеристика тонкого коаксиального кабеля.

4. Характеристика толстого коаксиального кабеля (отличие от тонкого коаксиального кабеля). Трансивер.

5. Оборудование для подключения коаксиального кабеля.

6. Требования пожарной безопасности при использовании коаксиального кабеля.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 19

«Расчет опасного и мешающего влияний высоковольтных линий передачи на цепи связи»

Цель: изучить методы расчёта электромагнитных полей, создаваемых высоковольтными линиями передачи, оценить их опасное воздействие на человека и мешающее (интерференционное) влияние на цепи связи. В рамках работы необходимо:

- Рассчитать магнитное и электрическое поля, создаваемые высоковольтной линией передачи, в различных зонах.
- Определить величину индуктивных наводок в контурных цепях связи, расположенных вблизи линии.
- Сравнить полученные результаты с нормативными значениями безопасного воздействия и уровнем чувствительности цепей связи.
- Разработать рекомендации по снижению негативного влияния высоковольтных линий на системы связи.

Время выполнения: 2 часа.

Ход работы:

Теоретические сведения:

2.1. Особенности высоковольтных линий передачи

Высоковольтные линии передачи являются мощными источниками переменных электрических и магнитных полей. Основными характеристиками, определяющими создаваемое поле, являются:

- **Сила тока (I):** Большие токи (сотни и тысячи ампер) в линиях передачи создают заметное магнитное поле.
- **Напряжение (U):** Высокое напряжение линии приводит к возникновению значительных электрических полей в окружающем пространстве.
- **Геометрия и расстояния:** Расстояние от линии до объектов (например, цепей связи или рабочих мест) и пространственное расположение проводников существенно влияют на распределение поля.

2.2. Механизмы опасного и мешающего влияния

Опасное влияние высоковольтных линий связано с воздействием сильных электромагнитных полей на организм человека (например, при длительном воздействии магнитных полей низкой частоты) и возможными нарушениями в работе электрооборудования.

Мешающее влияние (интерференция) проявляется в виде индукционных наводок в цепях связи, которые могут вызывать искажения сигналов, ошибки передачи данных и ухудшение качества связи. Основные механизмы воздействия:

- **Радиационное (электромагнитное) сцепление:** Поле, создаваемое высоковольтной линией, может индуцировать напряжения в близлежащих контурах.
- **Индуктивное сцепление:** Магнитное поле линии передаётся через взаимную индуктивность в петлях проводников цепи связи.
- **Ёмкостное сцепление:** Электрическое поле линии может создавать паразитные ёмкостные связи между элементами цепи.

2.3. Основные формулы расчёта

1. Магнитное поле от длинного прямолинейного проводника:

При приближённом расчёте магнитной индукции B в точке, расположенной на расстоянии r от длинного проводника, применяется формула:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

где:

- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная проницаемость вакуума,
- I – сила тока в проводнике (А),
- r – расстояние от проводника до точки измерения (м).

2. Индукция напряжения в контуре (наводка):

Если контур связи имеет площадь A и находится в переменном магнитном поле, индуцированное напряжение определяется по закону Фарадея:

$$V_{\text{ин}} = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = 2\pi f B A$$

где:

- f – частота переменного тока (Гц),
- B – амплитуда магнитной индукции (Т),
- A – площадь контура (м²).

3. Электрическое поле высоковольтной линии:

Приблизённую оценку напряжённости электрического поля E можно проводить, используя геометрические соотношения между потенциалом линии и расстоянием до земли, однако точное распределение зависит от конструкции линии, высоты установки и экранирования проводов.

2.4. Нормативные значения

Для безопасного воздействия на человека и корректной работы систем связи существуют установленные нормативы:

- **Магнитное поле:** Например, для рабочих мест часто рекомендуется не превышать значения порядка 100–200 μT для низкочастотного поля (50 Гц).
- **Электрическое поле:** Ограничения могут варьироваться (например, до нескольких кВ/м), в зависимости от условий эксплуатации и зоны воздействия.
- **Индукцированное напряжение:** Чувствительность цепей связи к наводкам может быть ниже милливольтов, поэтому даже незначительные индуцированные напряжения могут вызывать проблемы.

Задание:

3.1. Исходные данные

Для расчетов примем следующие данные:

- **Высоковольтная линия:**
 - Сила тока в линии: $I = 1000 \text{ А}$
 - Частота переменного тока: $f = 50 \text{ Гц}$
- **Положение объектов:**
 - Расстояние от линии до рабочей зоны (или цепи связи): два варианта:
 - Вариант 1: $r_1 = 10 \text{ м}$
 - Вариант 2: $r_2 = 5 \text{ м}$
- **Контур цепи связи:**
 - Площадь петли (например, участка кабеля, образующего замкнутый контур): $A = 0.5 \text{ м}^2$
- **Нормативные значения:**
 - Предельно допустимая магнитная индукция для безопасного воздействия (на рабочих местах): $B_{\text{норм}} \approx 100 \text{ мкТ}$ (значение может варьироваться в зависимости от нормативов)
 - Допустимый уровень индуцированного напряжения в цепях связи: порядка нескольких милливольт (в чувствительных системах даже 1–3 мВ могут быть критичными).

3.2. Расчёт магнитного поля

Вариант 1. Расстояние $r_1 = 10$ м

Используем формулу для магнитного поля:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1000}{2\pi \times 10}$$

Упростим:

$$B_1 = \frac{4 \times 10^{-7} \times 1000}{2 \times 10} = \frac{4 \times 10^{-4}}{20} = 2.0 \times 10^{-5} \text{ Т} = 20 \mu\text{Т}$$

Вариант 2. Расстояние $r_2 = 5$ м

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1000}{2\pi \times 5} = \frac{4 \times 10^{-4}}{10} = 4.0 \times 10^{-5} \text{ Т} = 40 \mu\text{Т}$$

3.3. Расчёт индуцированного напряжения в контуре цепи связи

По закону Фарадея для синусоидального поля:

$$V_{\text{ин}} = 2\pi f B A$$

Вариант 1. При $B_1 = 20 \mu\text{Т}$

$$V_{\text{ин},1} = 2\pi \times 50 \times 20 \times 10^{-6} \times 0.5$$

Вычислим:

$$V_{\text{ин},1} = 2\pi \times 50 \times 0.5 \times 20 \times 10^{-6} = (2\pi \times 25) \times 20 \times 10^{-6}$$

$$2\pi \times 25 \approx 157 \text{ (примерно)}, \quad \Rightarrow V_{\text{ин},1} \approx 157 \times 20 \times 10^{-6} = 3140 \times 10^{-6} \text{ В} \approx 3.14 \text{ мВ}$$

Вариант 2. При $B_2 = 40 \mu\text{T}$

$$V_{\text{ин},2} = 2\pi \times 50 \times 40 \times 10^{-6} \times 0.5$$

$$V_{\text{ин},2} = (2\pi \times 25) \times 40 \times 10^{-6} \approx 157 \times 40 \times 10^{-6} = 6280 \times 10^{-6} \text{ В} \approx 6.28 \text{ мВ}$$

3.4. Оценка результатов

1. Опасное влияние на человека:

- При расстоянии 10 м магнитная индукция $20 \mu\text{T}$ существенно ниже нормативного предела (например, $100\text{--}200 \mu\text{T}$). Таким образом, с точки зрения воздействия на человека, зона расположения цепи связи на расстоянии 10 м от линии выглядит безопасной.
- При уменьшении расстояния до 5 м магнитное поле возрастает до $40 \mu\text{T}$, что всё ещё находится в пределах допустимых норм для кратковременного пребывания, однако при длительном воздействии или в случае наличия дополнительных источников поля необходимо учитывать суммарное воздействие.

2. Мешающее влияние на цепи связи:

- Индуцированное напряжение в контуре цепи связи составляет порядка 3–6 мВ. В высокочувствительных системах связи даже такие напряжения могут привести к искажениям сигнала, появлению шумов или срабатыванию защитных схем.
- Для уменьшения мешающего влияния рекомендуется применять меры экранирования, использовать кабели с витой парой или оптоволоконные линии связи, а также минимизировать площадь замкнутых контуров в проектировании систем.

3.5. Рекомендации по снижению негативного влияния

- **Увеличение расстояния:** Повышение расстояния между высоковольтной линией и объектами, использующими цепи связи, снижает как магнитное, так и электрическое воздействие.
- **Экранирование:** Применение металлических экранов, экранированных кабелей или конструктивных решений, препятствующих наводке, позволяет снизить индуцированные напряжения.
- **Организационные меры:** Размещение чувствительных элементов системы связи в зонах с минимальным воздействием высоковольтных полей, а также применение фильтров и компенсирующих схем в электронике.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 20

«Расчет опасного и мешающего влияний ЭЖД на цепи связи»

Цель: Научиться рассчитывать опасное и мешающее влияние ЭЖД на цепи связи.

Время выполнения: 2 часа.

Ход работы:

Теоретические сведения:

На работу кабельных линий связи могут оказывать неблагоприятные воздействия целый ряд посторонних источников: линии электропередачи (ЛЭП), контактные сети электрифицированных железных дорог (КСЭЖД), атмосферное электричество (удары молнии), передающие электростанции. Указанные внешние источники могут создавать в цепях кабельных линий связи опасные и мешающие влияния.

Опасными влияниями называют такие влияния, при которых напряжения и токи, возникающие в цепях связи, могут создать опасность для здоровья и жизни абонентов и работников эксплуатации, а также вызвать повреждение аппаратуры, приборов, кабеля связи.

Мешающие влияния проявляются в телефонных цепях и каналах связи в виде шумов, тресков, нарушения или ухудшения качества связи.

Обычно при оценке влияния ЛЭП и КСЭЖД, которые вместе принято называть высоковольтными линиями (ВЛ), на линии связи рассматриваются отдельно воздействие электрического и магнитного влияний. Кабели не подвержены электрическому влиянию, так как силовые линии электрического поля экранируются поверхностью земли и металлической оболочкой кабеля.

Одним из основных факторов, определяющих степень влияния ВЛ на линию связи, является характер сближения. Под сближением понимается взаимное расположение линии связи и ВЛ, при котором в линии связи могут возникать опасные и мешающие напряжения и токи. Сближение может быть параллельным, косым и сложным (рис. 4). Участок сближения считается параллельным, если кратчайшее расстояние между линиями (ширина сближения) а изменяется по длине сближения не более чем на 10 % от среднего значения. Если это условие не выполняется, то участок сближения называется косым. При расчете косое сближение заменяется ступенчатым параллельным.

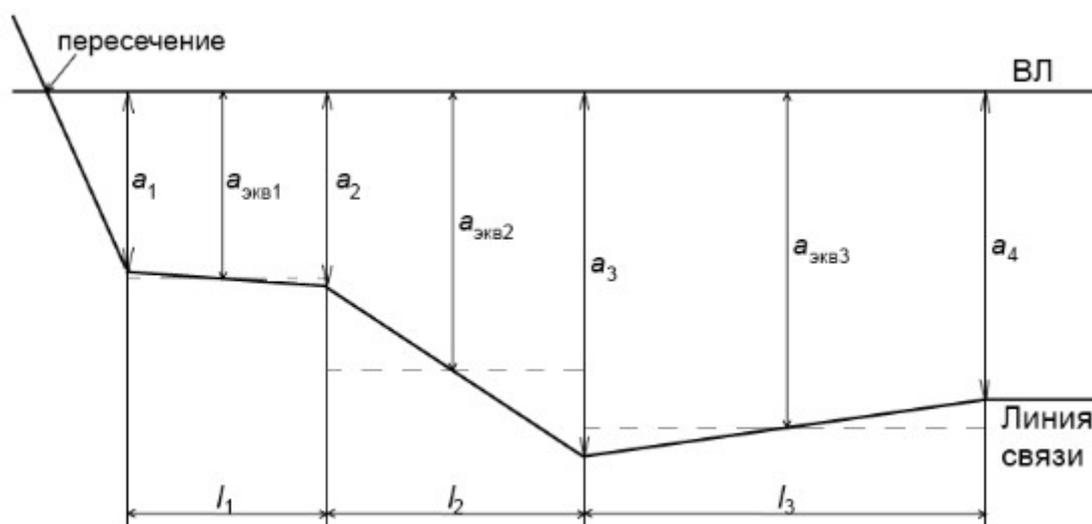


Рисунок 17 - Схема сближения линии связи с ВЛ

В этом разделе требуется оценить опасное влияние, которое создает ВЛ в проектируемой кабельной линии. Опасное магнитное влияние может возникнуть при обрыве и заземлении фазового провода ЛЭП или контактного провода КСЭЖД. Большая величина тока короткого замыкания создает интенсивное магнитное поле. В результате в жилах кабеля индуцируется ЭДС, которая может превышать допустимые значения. Эта ЭДС называется продольной, так как индуцированное электрическое поле направлено вдоль провода связи

Продольная ЭДС – это разность потенциалов между началом и концом провода связи на длине гальванически неразделенного участка. Гальванически неразделенным участком считается участок линии связи, не содержащий усилителей, трансформаторов, фильтров. На кабельных магистралях за длину гальванически неразделенного участка принимается длина усилительного (регенерационного) участка

Абсолютное значение продольной ЭДС, наведенной в проводе связи от магнитного влияния ВЛ, на сложном участке сближения (см. рис. 4) рассчитывается на частоте 50 Гц по формуле

$$E = \omega I_1 \sum_{i=1}^n m_{12i} l_i S_i, \text{ В,}$$

где n – число участков сближения;

I_1 – влияющий ток, А;

m_{12i} – коэффициент взаимной индукции между однопроводными цепями ВЛ и линии связи на i -м участке сближения, Гн/км;

l_i – длина i -го участка сближения, км; S_i – результирующий коэффициент экранирования между ВЛ и линией связи на i -м участке сближения.

Коэффициент взаимной индукции точно определить теоретически достаточно сложно, так как он зависит от проводимости земли на участке сближения, а проводимость земли из-за неоднородности структуры строения меняется в широких пределах. На практике коэффициент взаимной индукции в зависимости от ширины сближения и проводимости земли определяется по номограммам. Коэффициент взаимной индукции (Гн/км) можно определить и по приближенной формуле, которая справедлива в диапазоне тональных частот:

$$m_{12i} = \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{a_{\text{экви}}^2 \sigma f} \right| \cdot 10^{-4}, \text{ Гн/км,}$$

где $a_{\text{экви}}$ – эквивалентная ширина i -го участка сближения, м;

f – частота влияющего тока, Гц;

σ_3 – проводимость земли, См/м.

Эквивалентная ширина косоугольного участка сближения определяется соотношением

$$a_{\text{экви}} = \sqrt{a_i a_{i+1}}, \text{ м.}$$

Исходные данные:

Влияющий фактор - КСЭЖД1;

$$a_1 = 65\text{м};$$

$$a_2 = 70\text{м};$$

$$a_3 = 130\text{м};$$

$$a_4 = 110\text{м};$$

$$l_1 = 0,7\text{км};$$

$$l_2 = 0,9\text{км};$$

$$l_3 = 1,4\text{км};$$

$$I_1 = 2,6\text{кА};$$

Экранирующий трос - медный;

$$S = 60\text{мм}^2;$$

Тип грунта - чернозем $\Rightarrow \sigma_3 = 0,02 \text{ См/м}$.

Определим коэффициенты взаимной индукции:

$$m_{121} = \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{a_{\text{экв1}}^2 \sigma_3 f} \right| \cdot 10^{-4} = \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{65 \cdot 70 \cdot 0,02 \cdot 50} \right| \cdot 10^{-4},$$

$$m_{121} = 4,889 \cdot 10^4 \text{н/км},$$

$$m_{122} = \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{a_{\text{экв2}}^2 \sigma_3 f} \right| \cdot 10^{-4} = \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{70 \cdot 130 \cdot 0,02 \cdot 50} \right| \cdot 10^{-4},$$

$$m_{122} = 4,204 \cdot 10^4 \text{н/км},$$

$$m_{123} = \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{a_{\text{экв3}}^2 \sigma_3 f} \right| \cdot 10^{-4} = \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{130 \cdot 110 \cdot 0,02 \cdot 50} \right| \cdot 10^{-4},$$

$$m_{123} = 3,76 \cdot 10^4 \text{н/км}.$$

Абсолютное значение продольной ЭДС определим по формуле:

$$E = \omega I_{\text{тр}} S_{\text{р}} (m_{121} l_1 + m_{122} l_2 + m_{123} l_3),$$

где $S_{\text{тр}}$ - коэффициент защитного действия заземленных тросов, подвешенных на опорах ЛЭП, $S_{\text{тр}} = 0,60$;

$S_{\text{р}}$ - коэффициент защитного действия рельсов железнодорожных путей, проложенных рядом с кабелем связи, $S_{\text{р}} = 0,55$.

$$E = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2600 \cdot 0,6 \cdot 0,55 (4,889 \cdot 0,7 + 4,204 \cdot 0,9 + 3,76 \cdot 1,4) \cdot 10^{-4},$$

$$E = 376,12447 \text{ В.}$$

Рассчитав величину суммарной продольной ЭДС на участке сближения длиной l , определяют продольную ЭДС на 1 км кабеля

$$E_{\text{км}} = E/l, \text{ В/км,}$$

$$E_{\text{км}} = \frac{376,12447}{0,7 + 0,9 + 1,4},$$

$$E_{\text{км}} = 112 \text{ В/км.}$$

Необходимость определения $E_{\text{км}}$ вызвана тем, что величина КЗД защитных металлических покровов кабелей связи $S_{\text{об}}$, содержащих материалы из стали, зависит от величины $E_{\text{км}}$. На рис. 5 показаны типичные кривые зависимости идеальных КЗД металлических покровов от величины, индуцируемой в них продольной ЭДС $E_{\text{км}}$.

Под идеальным КЗД понимают коэффициент, которым обладают идеально заземленные (с нулевым сопротивлением) защитные покровы. Кривая 1 относится к металлическим покровам, состоящим только из немагнитных материалов (медь, свинец, алюминий), кривая 2 относится к покровам, содержащим стальные материалы, например, бронеленты. Анализ кривой 2 показывает, что величина идеального КЗД ($S_{\text{об}}$) имеет сложный характер изменения, который объясняется зависимостью магнитной проницаемости стали μ от величины протекающего в броне тока (напряженность магнитного поля). Магнитная проницаемость с увеличением протекающего в оболочке тока сначала увеличивается, а затем после наступления насыщения стали начинает уменьшаться. Изменение μ вызывает изменение внутренней индуктивности брони, а, следовательно, и полного сопротивления металлических покровов кабеля, от которого в свою очередь зависит величина $S_{\text{об}}$.

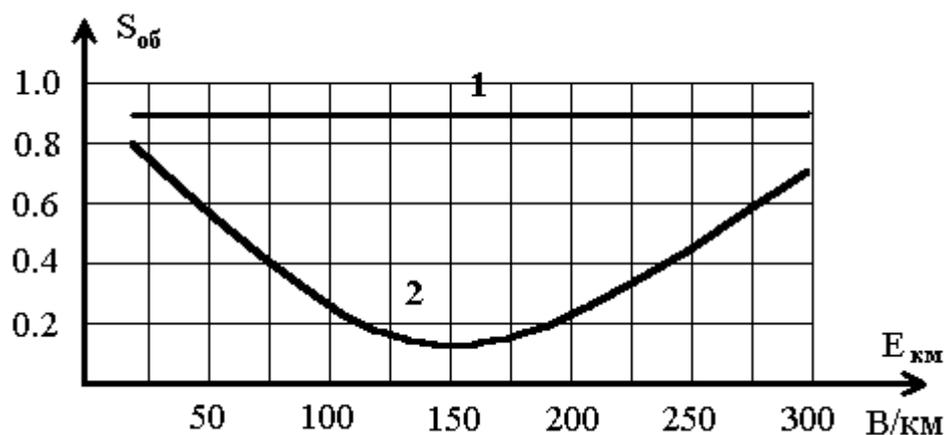


Рисунок 18 - Изменение идеального КЗД: 1 – металлические покровы из немагнитных материалов; 2 – металлические покровы,

содержащие стальные ленты

Из рис. 5 видно, что при весьма больших значениях $E_{км}$ величина $S_{об}$ покровов, содержащих магнитные материалы, приближается к величине $S_{об}$ покровов с немагнитными материалами. Поэтому при величине $E_{км}$, в 2-3 раза превышающей 300 В/км, следует принимать значение $S_{об}$ этих покровов такие же, как и для немагнитных покровов.

Исходя из результатов расчета $E_{км}$ величина идеального коэффициента защитного действия металлических покровов $S_{об}$ будет равна 0,44 (для кабеля марки КМБ-4).

Определив величину $S_{об}$, окончательно рассчитываем величину продольной ЭДС на участке сближения

$$E_{прод} = ES_{об} \cdot B,$$

$$E_{прод} = 376,12447 \cdot 0,44,$$

$$E_{прод} = 165,49В.$$

Полученную величину $E_{прод}$ сравниваем с величиной допустимого опасного напряжения:

$$U_{дп} = 850В,$$

$$U_{исп} = 3,7кВ.$$

Таблица 8 – Сравнение продольной ЭДС с допустимым значением

Схема дистанционного питания	Допустимые ЭДС при влиянии КСЭЖД, В
Без ДП	
«провод-земля» постоянным током	
«провод-земля» переменным током	

Как видно из таблицы, рассчитанное значение продольной ЭДС не превышает ее допустимых значений.

Задание:

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 21

«Влияние грозовых разрядов на линии связи»

Цель: изучить механизмы воздействия грозовых разрядов на линии связи, оценить уровни импульсных перенапряжений и наводок, возникающих в результате удара молнии, а также определить меры защиты линий связи от грозовых разрядов. Для достижения поставленной цели необходимо:

- Проанализировать теоретические основы влияния грозовых разрядов на линии связи (как прямое попадание, так и индуктивное и емкостное сцепление).
- Рассчитать примерное значение индуцированного перенапряжения в линии связи при заданных параметрах грозового разряда.
- Определить возможные пути минимизации негативного воздействия (использование защитных устройств, экранирования, правильного заземления и др.).

Время выполнения: 2 часа.

Ход работы:

Теоретические сведения:

2.1. Грозовые разряды и их характеристика

Гроза представляет собой явление, сопровождающееся возникновением молний – мощных импульсных разрядов, в ходе которых в короткий промежуток времени происходит протекание очень высоких токов (порядка нескольких десятков килокулонов). Характерными параметрами грозового разряда являются:

- **Максимальный ток разряда (I_{\max})** – может достигать десятков килоАмпер.
- **Время нарастания импульса (t_{rise})** – часто порядка 1–2 мкс, что приводит к очень быстрому изменению тока ($\frac{dI}{dt}$).
- **Форма тока** – обычно описывается двойной экспоненциальной функцией:

$$I(t) = I_0 (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$

где параметры α и β определяют скорость нарастания и затухания импульса.

2.2. Механизмы влияния грозовых разрядов на линии связи

Воздействие молнии на линии связи может происходить как непосредственно, при прямом попадании разряда в элементы линии, так и опосредованно – через электромагнитное излучение, возникающее вблизи удара. Основные механизмы воздействия:

- **Импульсное перенапряжение:**

Быстрое изменение тока в разряде создает высокие значения $\frac{dI}{dt}$, что при наличии индуктивных характеристик линии приводит к появлению импульсных перенапряжений по закону индукции:

$$V_{ин} = L \cdot \frac{dI}{dt},$$

где L – суммарная индуктивность линии (или участка линии).

- **Электромагнитное излучение и индуктивное сцепление:**

Гроза генерирует мощное электромагнитное поле, которое может индуцировать напряжения в соседних проводниках даже при отсутствии прямого контакта. Такой эффект особенно заметен в системах с протяженными линиями, где возникает эффект «наводки» (cross-talk).

- **Емкостное сцепление:**

При наличии близко расположенных элементов линии возможна передача энергии через паразитные емкости, что также способствует возникновению импульсных перенапряжений.

2.3. Защитные меры

Для защиты линий связи от негативного воздействия грозовых разрядов используются:

- Разрядники (сюрдж-защитники), способные ограничивать уровень перенапряжения.
- Экранирование и витая пара для уменьшения индуктивного и емкостного сцепления.
- Правильное заземление конструкций, что снижает риск накопления опасных потенциалов.

Задание:

3.1. Исходные данные

Предположим, что:

- **Параметры грозового разряда:**
 - Максимальный ток разряда:
 $I_{\max} = 30 \text{ kA} = 30\,000 \text{ A}$
 - Время нарастания импульса:
 $t_{\text{rise}} = 1 \mu\text{s} = 1 \times 10^{-6} \text{ s}$
- **Линия связи:**
 - Протяженность участка линии, подвергающегося воздействию:
 $l = 500 \text{ м}$
 - Средняя индуктивность линии (типичное значение для воздушных или кабельных линий):
 $L_{\text{line}} = 1 \mu\text{Гн/м} = 1 \times 10^{-6} \text{ Гн/м}$

Таким образом, суммарная индуктивность рассматриваемого участка:

$$L_{\text{total}} = L_{\text{line}} \times l = 1 \times 10^{-6} \text{ Гн/м} \times 500 \text{ м} = 5 \times 10^{-4} \text{ Гн}$$

3.2. Расчёт импульсного перенапряжения

При резком изменении тока в линии вследствие грозового разряда, индуцированное напряжение определяется приближенно по закону индукции:

$$V_{\text{ин}} = L_{\text{total}} \cdot \frac{dI}{dt}.$$

Оценим скорость изменения тока:

$$\frac{dI}{dt} \approx \frac{I_{\max}}{t_{\text{rise}}} = \frac{30\,000 \text{ A}}{1 \times 10^{-6} \text{ s}} = 3 \times 10^{10} \frac{\text{A}}{\text{s}}.$$

Подставляя в формулу для перенапряжения:

$$V_{\text{ин}} = 5 \times 10^{-4} \text{ Гн} \times 3 \times 10^{10} \frac{\text{A}}{\text{s}} = 1.5 \times 10^7 \text{ В} = 15 \text{ МВ}.$$

Это теоретически полученное значение показывает, что в случае прямого воздействия грозового разряда без учета распределенных параметров линии и защитных мер, импульсное перенапряжение может достигать очень высоких величин (порядка десятков мегавольт).

3.3. Обсуждение практических аспектов

1. Распределённый характер линии:

В реальных системах линии связи обладают распределёнными параметрами (индуктивностью, ёмкостью и сопротивлением), что приводит к затуханию и частичному распределению импульсного перенапряжения по длине линии. Таким образом, на отдельных участках перенапряжение может быть ниже расчетного значения, однако его пик всё равно остаётся опасно высоким.

2. Защитные устройства:

Применение разрядников, оптоволоконных систем связи и других методов защиты позволяет снизить уровень импульсного перенапряжения до безопасных значений, предотвращая повреждение оборудования и обеспечивая надежную передачу сигналов.

3. Практическое измерение:

Для контроля влияния грозовых разрядов на линии связи используют специальные измерительные установки, позволяющие регистрировать импульсные перенапряжения и проводить анализ эффективности защитных мер.

3.4. Рекомендации по защите линий связи

- **Установка разрядников (сюрдж-аррестеров):** Они позволяют ограничить перенапряжение, возникающее в линии, до допустимого уровня.
- **Экранирование и витая пара:** Применение таких методов снижает влияние индуктивного и емкостного сцепления с грозовым полем.
- **Качественное заземление:** Правильное заземление всех элементов системы существенно снижает риск накопления опасных потенциалов и обеспечивает рассеивание энергии грозового разряда.
- **Использование оптоволоконных линий связи:** Оптоволоконные системы не проводят электрический ток и не подвержены воздействию перенапряжений, что делает их предпочтительными в грозовых зонах.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 22

«Определение ожидаемого числа повреждений ОК ударами молнии»

Цель: разработать методику оценки риска повреждения объекта (ОК) связи (или другого критически важного объекта) в результате ударов молнии, а именно:

- Изучить основные параметры грозовой активности и характеристики удара молнии;
- Определить понятие «эффективной площади» ОК, которая характеризует вероятность перехвата разряда;
- Разработать формулу для расчёта ожидаемого числа ударов молнии, приводящих к повреждениям, с использованием статистических данных (например, плотности молний в данном регионе) и параметров объекта;
- Провести расчет на конкретном примере и оценить вероятность повреждения ОК за заданный период эксплуатации.

Время выполнения: 2 часа.

Ход работы:

Теоретические сведения:

2.1. Характеристика грозовой активности и удара молнии

При грозе в атмосфере происходят молниевые разряды, отличающиеся следующими параметрами:

- **Максимальный ток разряда, I_{\max}** (обычно несколько десятков кил ампер, в редких случаях – и более);
- **Время нарастания импульса, t_{rise}** (обычно порядка 1–2 мкс), что приводит к очень быстрому изменению тока $\frac{dI}{dt}$;
- **Статистическая плотность молний, F** (количество разрядов на единицу площади в год, измеряется в ударах/(км²·год)). Значения F зависят от климатических условий и могут варьироваться от нескольких до десятков разрядов на км²·год в грозовых регионах.

2.2. Риск повреждения объекта ударами молнии

Повреждения ОК (объекта связи, линии связи, сооружения и т.д.) при ударах молнии зависят от двух основных факторов:

1. Вероятность попадания разряда в область объекта.

Для оценки этого параметра вводят понятие **эффективной площади** A_{eff} объекта, которая определяется с учётом его геометрии, высоты и наличия защитных устройств (например, молниеприёмников). При использовании методов «катящейся сферы» (rolling sphere method) вычисляют «перехватывающую площадь», от которой объект может быть «защищён» или, наоборот, подвергнуться удару.

2. Вероятность возникновения повреждений при попадании удара.

Даже при попадании молнии не всегда происходит повреждение – современные системы защиты, заземление, разрядники и другие меры снижают риск. Поэтому вводят параметр P_{damage} – вероятность того, что удар молнии приведёт к повреждению объекта.

2.3. Методика расчёта ожидаемого числа повреждений

Предположим, что число удачных попаданий молний по объекту подчиняется статистике пуассоновского процесса. Тогда среднее (ожидаемое) число разрядов, попадающих в эффективную площадь объекта за год, можно оценить по формуле:

$$\lambda = F \cdot A_{\text{eff}},$$

где:

- F – плотность молний (ударов/(км²·год));
- A_{eff} – эффективная площадь объекта (в км²).

Если при каждом ударе вероятность повреждения равна P_{damage} , то ожидаемое число повреждений за год:

$$N_{\text{damage}} = \lambda \cdot P_{\text{damage}} = F \cdot A_{\text{eff}} \cdot P_{\text{damage}}.$$

При условии, что разряды являются независимыми событиями, можно оценивать риск повреждения за любой промежуток времени (например, за 10 или 50 лет).

Также вероятность того, что за год не произойдёт ни одного повреждения, согласно распределению Пуассона, равна:

$$P(0) = e^{-N_{\text{damage}}},$$

а вероятность $P(n)$ возникновения ровно n повреждений определяется формулой:

$$P(n) = \frac{N_{\text{damage}}^n}{n!} e^{-N_{\text{damage}}}.$$

Задание:

3.1. Исходные данные

Для расчёта примем следующие условные параметры (типичные для грозовых регионов):

- Плотность молний: $F = 12$ ударов/(км²·год).
- Эффективная площадь объекта (ОК):
Допустим, ОК – это коммуникационный объект (например, высокотелевизионная антенна или база связи) с эффективной площадью $A_{\text{eff}} = 10\,000$ м².
Переведём площадь в км²:

$$10\,000 \text{ м}^2 = 10\,000 / 1\,000\,000 = 0.01 \text{ км}^2.$$

- Вероятность повреждения при ударе: $P_{\text{damage}} = 0.3$ (то есть 30 % ударов приводят к повреждениям, если нет специальных мер защиты).

3.2. Расчёт ожидаемого числа повреждений за год

1. Определим среднее число попаданий молний в объект за год:

$$\lambda = F \cdot A_{\text{eff}} = 12 \text{ уд/км}^2 \cdot \text{год} \times 0.01 \text{ км}^2 = 0.12 \text{ ударов/год.}$$

2. Определим ожидаемое число повреждений:

$$N_{\text{damage}} = \lambda \cdot P_{\text{damage}} = 0.12 \times 0.3 = 0.036 \text{ повреждений/год.}$$

То есть, в среднем, вероятность повреждения объекта ударами молнии составляет 0.036 повреждений в год, что означает одно повреждение приблизительно на 28 лет ($1/0.036 \approx 28$).

3.3. Оценка риска на длительный срок

Для оценки риска за период, например, 50 лет, можно рассчитать ожидаемое число повреждений:

$$N_{\text{damage}, 50} = 0.036 \text{ повреждений/год} \times 50 \text{ лет} = 1.8 \text{ повреждения.}$$

Это означает, что за 50 лет в среднем можно ожидать около 2 повреждений объекта, вызванных ударами молнии.

Также можно рассчитать вероятность того, что за 50 лет не произойдёт ни одного повреждения:

$$P(0) = e^{-1.8} \approx 0.165,$$

то есть около 16,5 % шансов, что за 50 лет повреждений не будет.

3.4. Анализ и практические рекомендации

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- При заданных параметрах риск повреждения объекта ударами молнии достаточно низкий в годовом выражении, однако за длительный срок (например, 50 лет) накопительный риск становится значимым.
- Для снижения риска повреждений рекомендуется:
 - Применение молниеотводов и разрядников, что снижает P_{damage} ;
 - Улучшение заземления и экранирование объекта;
 - Оптимизация конструкции для уменьшения эффективной площади, восприимчивой к ударам молнии.

Такие меры позволяют не только снизить вероятность повреждения, но и уменьшить величину индуцированных перенапряжений в цепях связи, что является важным аспектом обеспечения надежности объекта.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 23

«Монтаж оптических кабелей связи»

Цель: Освоение навыков монтажа оптического волокна (ОВ) с использованием автоматического сварочного аппарата.

Время выполнения: 8 часов.

Оборудование: специализированный набор инструментов FIS F10053; автоматический сварочный аппарат FiberFox Mini-4S;

Ход работы:

Теоретические сведения:

Одной из важнейших операций при монтаже волоконно-оптической линии связи (ВОЛС), определяющих параметры и качество ВОЛС, является операция сращивания волокон оптических кабелей. В настоящее время для сращивания ОВ используется два способа соединения: разъемные и неразъемные. Неразъемные соединения ОВ осуществляются методом сварки и с помощью механических соединителей.

Соединение ОВ с помощью сварки – наиболее распространенный метод, применяемый на ВОЛС.

Аппараты для сварки оптических волокон – это высокотехнологичные устройства, задача которых заключается в автоматизации комплекса работ — от совмещения торцов волокна до защиты соединения.

Современный аппарат для сварки оптических волокон позволяет сращивать волокна всех основных типов:

- одномодовые (G.652, G.657);
- многомодовые (G.651);
- со смещенной областью дисперсии (G.653);
- со смещенной ненулевой дисперсией (G.655).

Современные сварочные аппараты оснащены цветным дисплеем, который позволяет визуально контролировать все этапы сварки оптических волокон. Благодаря встроенным в аппарат видеокерам оператор может наблюдать за процессом с помощью цветного экрана и полностью контролировать процессы юстировки, стыковки и сварки оптических волокон. Применение в сварочных аппаратах видеосистемы позволяет перед началом сварки визуально контролировать результат центрирования, тип сердцевин, качество торцов и микрзагрязнения свариваемых оптических волокон, а по окончании сварки оценить качество свариваемых соединений. Кроме того, ряд сварочных аппаратов представляет в цифровом виде значение угла скола и сдвиге осей оболочек (сердцевин) волокон до и после сварки, а также расчетное значение потерь в месте сварки. Устройство имеет понятное и удобное меню. Такие аппараты для сварки оптоволокон содержат программы управления сварочным процессом как для основных типов выпускаемых ОВ, так и для оптических волокон специальных типов, а также предусматривают возможность установить дополнительно собственную индивидуальную программу сварки оптоволокон.

В автоматических сварочных аппаратах выравнивание волокон может выполняться по оболочке с их центрированием в V-образном пазу, а также по сердцевине: по профилю преломления волокна (Profile Alignment System, PAS) или максимизацией передаваемого через выравниваемые волокна сигнала (Local Injection and Detection, LID). Данная классификация представлена на рисунке 1.

Юстировка по оболочке ОВ является пассивным видом, осуществляемым с помощью V-образных направляющих, которые фиксируют концы сращиваемых ОВ. Данный вид юстировки используется преимущественно для сварки оптоволокон на городских и локальных сетях, где высоких требований к вносимым сварным соединением потерям не предъявляется.

Система LID. Принцип работы: оптический сигнал вводится через оболочку (за счет изгиба оптоволокон) одного из сращиваемых ОВ, а принимается – через оболочку другого сращиваемого ОВ. Затем происходит обработка оптического сигнала микропроцессором с последующей отработкой сигналов управления микропроцессора с помощью исполнительных устройств.

Для ввода и вывода сигналов используются ответвители. Недосток такого подхода состоит в том, что метод LID допускает работу не со всеми типами одномодовых ОВ, не позволяя применять автоматику к волокнам в буферном покрытии 0,9 мм, а использование ответвителя увеличивает риск возникновения скрытых дефектов в ОВ. Однако этот метод позволяет решить проблему, связанную с тем, что силы поверхностного натяжения стремятся совместить оси оболочек, и, следовательно, развести (при наличии в волокнах эксцентриситета) оси сердцевин волокон. Как результат – дополнительные потери на сворном соединении. Поэтому при данном методе предусмотрена коррекция эксцентриситета. Оси волокон предварительно разводятся на такое расстояние, на которое, согласно компьютерному расчету, надо развести оси сердцевин волокон так, чтобы силы поверхностного натяжения совместили их при сварке.



Рисунок 1 – Классификация методов юстировки ОВ

Система PAS. В большинстве аппаратов применяется система выравнивания волокон по изображению в параллельном пучке света – PAS система.

При таком методе юстировки волокна освещаются сбоку параллельным пучком света так, что из-за разницы показателей преломления оболочка и сердцевина фокусируют свет, действуя как цилиндрические линзы. При этом формируется изображение, на котором видны границы сердцевин и оболочки волокна, что позволяет определить эксцентриситет в каждом из волокон.

Анализ изображения линии, выполняемый с помощью видеокамеры и встроенного контроллера сварочного аппарата, позволяет осуществить юстировку ОВ. Одновременно контроллер системы управления аппарата оценивает качество скола торцевой поверхности волокон и в случае выявления каких-либо дефектов прекращает процесс сварки. Она используется и для грубой юстировки, и для тонкой подстройки волокон.

Для быстрого перехода от одного режима сварки к другому во всех автоматических сварочных аппаратах встроены программы сварки стандартных оптических волокон. Для задания иного режима предусмотрено запоминание установленных параметров, которые затем доступны при сварке аналогичных волокон, что ускоряет проведение сварочных работ.

В современных сварочных аппаратах управление процессом сварки производится с учетом контролируемых параметров внешней среды (влажность, температура, атмосферное давление и др.).

Существует множество факторов, влияющих на процесс сварки:

– самоцентрирование (влияние сил поверхностного натяжения расплава стекла);

- эксцентриситет сердцевины оптоволокна;
- качество поверхности торцов ОВ;
- качество подготовки оптоволокна (наличие/отсутствие микротрещин);
- чистота V-образных ложементов ОВ (отсутствие загрязнений);
- термические характеристики оптоволокна;
- качество электродов.

Описание лабораторного оборудования

Для разделки оптического кабеля, как и для сварки, требуется ряд специфических инструментов. В работе будет применяться специализированный набор инструментов FIS F10053 (рисунок 2).



Рисунок 2 – Комплект инструментов FIS-F1-0053

Комплектация набора инструментов FIS-F1-0053 включает:

- изоляционная лента ПВХ;
- стриппер буферного слоя, оптический;
- устройство для чистки оптических коннекторов;
- ножницы для резки кевлара;
- стриппер для снятия защитной оболочки 0,4 – 1,3 мм;
- стриппер прищипка для продольного и поперечного реза модуля до 3,2 мм;
- стриппер с крючком для снятия внешней изоляции кабеля 4,5 – 28,5 мм;
- кусачки-бокорезы;
- палочки для чистки оптических портов 2,5 мм;
- безворсовые салфетки;
- нож;
- пинцет;
- длинногубцы;
- проволоочки для удаления обломков волокна из сердцевины коннекторов;
- отвертка универсальная;
- маркер черный;
- защитные очки;
- подложка – коврик;
- контейнер для сбора остатков сколотых волокон;
- линейка;
- рулетка;
- гаечный ключ-отвертка 1/2";

- маркировочные этикетки;
- кейс для транспортировки;
- термоусадочные защитные трубки КДЗС.

Комплект оборудования для сварки

Автоматический сварочный аппарат FiberFox Mini-4S – это современное оборудование корейской компании FiberFox, предназначен для сварного соединения оптических одномодовых и многомодовых волокон (рисунок 3). Прибор оснащен механизмом сведения волокон по технологии DAA (Digitalized Active Alignment), системой точного мониторинга потерь и режимом автоматической калибровки дуги.



Рисунок 3 – Комплектация сварочного аппарата FiberFox Mini-4S

Комплектация сварочного аппарата FiberFox Mini-4S приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Комплектация автоматического сварочного аппарата FiberFox Mini-4S

Наименование	Количество
Сварочный аппарат <i>Mini-4S</i>	1 шт.
Скальватель <i>Mini 50G</i>	1 шт.
Сетевой шнур	1 шт.
Зарядное устройство	1 шт.
Аккумуляторная батарея	2 шт.
Запасные электроды	1 пара.
Лоток для охлаждения КДЗС	1 шт.
Держатели для волокна	1 пара.
Кейс для переноски	1 шт.

На рисунках 4 и 5 приведено изображение внешнего вида сварочного аппарата.



Рисунок 4 – Внешний вид сварочного аппарата FiberFox Mini-4S (вид сверху)



Рисунок 5 – Внешний вид сварочного аппарата FiberFox Mini-4S (вид сбоку)

Порядок выполнения работы

Подготовка оптического кабеля:

1) Если кабель длительный промежуток времени находился в условиях сырости либо его торец не был гидроизолирован, то, если позволяет запас, с помощью ножовки нужно отрезать приблизительно 1 м данного кабеля. Это обусловлено тем, что продолжительное воздействие влаги оказывает отрицательное влияние на оптические волокна (могут помутнеть), а также на иные элементы кабеля.

2) Если в конструкцию кабеля входит трос для подвески (такой кабель в поперечном сечении выглядит в форме цифры «8»: нижняя часть – кабель, верхняя – трос), то его выкусывают кусачками-бокорезами и срезают ножом.

Важно! В момент срезания троса не повредите кабель!

3) Внешнюю оболочку кабеля снимают соответствующим стриппером. С его помощью делается круговой разрез на оптическом кабеле, а от него затем – параллельно два разреза с противоположных сторон кабеля в сторону его конца, чтобы внешняя кабельная оболочка распалась на две половинки (рисунок 6).



Рисунок 6 – Снятие внешней оболочки кабеля ножом-стриппером

Важно! Перед разделкой кабелей важна правильная регулировка длины лезвия стриппера. Если лезвие будет слишком коротким, то внешняя оболочка кабеля на две половинки легко не распадется. Если же лезвие будет слишком длинным, то есть опасность повреждения модулей в кабеле или затупления лезвия о металлическую броню.

4) В случае разделки самонесущего кабеля с кевларом, последний срезают кусачками-бокорезами или специальными ножницами с керамическими лезвиями. Это обусловлено тем, что кевлар довольно быстро затупляет металлические лезвия.

Кабель для прокладки в телефонной канализации, имеющий в качестве брони только металлическую гофру, можно продольно разрезать с помощью специального инструмента – ножа, но делать это нужно очень аккуратно. В случае если кабельная броня состоит из круглых проволок, их целесообразно откусывать с помощью кусачек небольшими партиями от 2 до 4 проволок.

5) Для снятия внутренней тонкой оболочки, которая есть в некоторых кабелях, используется отдельный стриппер с правильно выставленной длиной лезвия. Эта длина будет меньше, чем в ноже для снятия внешней кабельной оболочки, так как данная внутренняя оболочка значительно тоньше и, кроме того, под ней расположены уже сами модули с оптическими волокнами.

6) С помощью салфеток и жидкости для удаления гидрофобного наполнителя удаляются нитки, пластмассовая пленка, другие вспомогательные элементы. Гидрофоб удаляется растворителем (Д-гель). Это токсичная жидкость, которая при отсутствии перчаток и попадании на руки тяжело с них смывается. Для последующей операции по сварке волокон требуется чистота рук и рабочего места. Поэтому пользоваться растворителем рекомендуется в перчатках. Удалив нитки и разделив жгут модулей на отдельные модули, нужно каждый из них протереть салфеткой либо ветошью, а затем также спиртом до чистого состояния.

7) Стриппером для модулей каждый модуль на нужной длине надкусывается, после чего он легко стягивается с волокон. Модули-пустышки выкусываются под корень, главное быть точно уверенным, что в них нет волокон.

Важно! Важным является правильный выбор диаметра выемки для надкусывания модуля: при выемке большего диаметра модуль не надкусится до состояния, в котором его будет легко снять; при выемке меньшего диаметра существует риск повреждения находящихся в модуле волокон. Также в момент надкусывания одного из модулей активной помехой будут другие модули, которые нужно придерживать рукой. В связи с этим рекомендуется, при наличии возможности, разделку производить вдвоем. Если кабель имеет один модуль в виде жесткой пластиковой трубки, то для нормального снятия такого модуля нужно надрезать его по кругу с помощью маленького трубореза (если входит в комплект поставки), а после этого с осторожностью надломить в месте круговой риски. В момент стягивания модулей нужно оценить целостность волокон и то, что из стянутого модуля не торчит ни одно из волокон. В отдельных случаях (низкая температура, мало гидрофоба, большая длина модуля) стягивание модуля может осуществляться с усилием. Но тянуть сильно ни в коем случае нельзя, так как даже если волокна не порвутся, то растяжение может оказать влияние на их затухание в данном месте. В этом случае рекомендуется модуль надкусывать и снимать в несколько приемов и медленно.

Также следует обращать внимание на длину волокон при разделке кабеля. Она не должна быть меньше, чем указана в инструкции (в основном от 1,5 до 2 м). Меньшая длина волокон нежелательна, так как при укладке не будет возможности маневра, чтобы красиво уложить волокна в кассету.

Важно! Для качественной последующей сварки чистота и целостность волокон имеют огромное значение. Нужно посмотреть, не повреждено ли их лаковое покрытие, нет ли грязи и сломанных частей. В противном случае можно создать себе в последующем дополнительную работу по разварке и переразделке.

9) Далее на разделанные кабели необходимо надеть специальные клеевые термоусадки, зачастую входящие в комплект оптической муфты. В случае если муфтой предусматривается зажим кабеля в сырой резине с герметиком, термоусадка не требуется.

Важно! Не забывайте надеть термоусадку. Когда оптическая муфта сварена, данная термоусадка надвигается на патрубков данной муфты и усаживается с помощью газовой горелки (паяльной лампы, промышленного фена). Этим обеспечивается герметичность ввода кабеля и его дополнительная фиксация.

Подготовка сварочного аппарата:

- 1) Включить сварочный аппарат Mini-4S;
- 2) После загрузки программного обеспечения на дисплее отобразится меню управления (рисунок 7);



Рисунок 7 – Меню управления сварочного аппарата FiberFox Mini-4S

- 3) В меню сварки (*Splice Menu*) необходимо выбрать (*Select Splice Mode*) необходимый режим сварки волокна и режим печи;
- 4) Выйти из главного меню;
- 5) Установить ОВ в держатели на рабочем столе сварочного аппарата (открыть фиксаторы волокна, уложить волокна в V-образные канавки);
- 6) Опустить фиксаторы волокна, закрыть защитную крышку;
- 7) Запустить программу сварки. Аппарат самостоятельно производит сведение оптических волокон, а затем их сваривает при помощи разряда электрической дуги;
- 8) Вынуть ОВ из держателей и выполнить операцию термоусадки; Для термоусадки применяются полиэтиленовые (ПЭТ) гильзы КДЗС, изготовленные из термоусаживаемого ПЭТ.

Гильза КДЗС при нагреве в специальной печи термоусаживается, при этом герметизируется сварной шов, находящийся внутри. Внутри гильзы КДЗС установлен металлический стержень, который защищает сварной шов от механических нагрузок и сгибов.

Нагрев осуществляется в специализированном нагревателе (печке) с тефлоновым покрытием, чтобы ПЭТ КДЗС «не пригорали».

Снимаем только что сваренное ОВ с рабочего стола аппарата. Но, буквально сразу же, открывая ветрозащитную крышку, слышим срабатывание системы механической проверки прочности сварного шва. ОВ подвергаются дозированному натяжению для проверки прочности выполненной сварки.

Укладываем сварной шов в печь для термоусадки. Закрываем крышку печи, слегка надавливая на концы ОВ у границ сварного шва. Операция термоусадки начинается.

Во всех аппаратах *FiberFox Mini 4S* используется высокопроизводительная печь, позволяющая монтировать КДЗС за минимальные 18 секунд.

По окончании процесса термоусаживания, мы слышим характерный сигнал. Этим наш сварочный аппарат *Fiber Fox* дает понять, что термоусадка закончена.

Задание:

1. Получить у преподавателя оптический кабель для разделки;
2. Разделать оптический кабель;
3. Провести сварку ОВ в оптическом кроссе;
4. Провести измерение затухания сваренных ОВ;
5. Оформить отчет.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы, краткие сведения о методах сращивания ОВ;
2. Описание принципа работы автоматического сварочного аппарата и методики сварки ОВ;
3. Результаты измерений затухания сваренных ОВ;
4. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы соединения оптического волокна?
2. Какой способ используется в настоящее время? Почему?
3. Какие типы оптических волокон вы знаете?
4. Опишите последовательность действий при сварке ОВ.
5. Что может повлиять на качество сварки ОВ?

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 24

«Сращивание оптических кабелей связи»

Цель: Научиться сращивать волокна оптического кабеля.

Время выполнения: 8 часов.

Ход работы:

Теоретические сведения:

Одной из важнейших операций, определяющих параметры и качество ВОЛС, является сращивание оптических кабелей. На трассах сращивание производится с использованием оптических муфт. При монтаже ОК на оконечных участках ВОЛС используются коммутационно-распределительные устройства. Монтаж муфты проводится после завершения прокладки двух строительных длин кабеля (около 6 км).

В настоящее время для сращивания оптических кабелей в основном используется два способа: сварка оптических волокон и механическое соединение.

Сварка оптических волокон производится путем нагрева их до расплавления с помощью электрической дуги. При сварке предварительно подготовленные волокна подводят друг к другу, юстируют до минимальных зазоров между ними и минимальных (оптических) смещений оптических осей, а затем нагревают. При этом силы поверхностного натяжения волокна уменьшают смещения осей свариваемых волокон.

Аппараты для сварки многомодовых волокон обеспечивают ручную юстировку волокон с просмотром в двух плоскостях с помощью микроскопа и сварку в ручном и автономном режимах: электронное устройство позволяет регулировать ток и время оплавления торцов и сварки, скорость сдвига волокон при сварке. В современных сварочных устройствах предусмотрена автоматическая юстировка. Она осуществляется двумя методами:

- минимизацией потерь в стыке, т.е. в месте изгиба волокна в одно из соединяемых волокон вводят, а в другом выводят оптический сигнал, и юстировка проводится пьезодвижками по максимуму прошедшего сигнала;
- анализом изображения стыков соединяемых волокон в параллельном пучке света: свет падает перпендикулярно оптической оси волокон и изображения стыков получают с помощью телекамеры, необходимая юстировка проводится путем анализа сигнала телекамеры.

Первый способ юстировки относительно прост и обеспечивает потери в сварке не более 0,1 дБ.



Рис. 7. Аппарат для сварки 0B FSM-30S

Автоматический аппарат для сварки оптических волокон FSH-30S (рис. 6.7) фирмы FUJIKURA (Япония) предназначен для соединения оптических волокон. В аппарате производится автоматическая юстировка по трем направлениям при сведении световодов, автоматический контроль мощности дугового разряда, компенсация изменения давления, температуры и влажности, запись режимов и результатов сварки.

В отечественном аппарате для сварки одномодовых и многомодовых волокон СОВА-11 и 12 используются ручные методы юстировки по наружному диаметру. Автоматическая юстировка волокон по максимуму оптического сигнала применяется в аппаратах СОВА-20, СОВА-20К.

К коммутационно-распределительным устройствам относятся настенные соединительные коробки, соединительные модули, шкафы. Оптические муфты предназначены для сращивания оптических кабелей. Широкое применение получили муфты отечественного производства следующих марок: ММ30К, МОГ/МОГр, МТОК, МОМЗ, МОГу.

Муфты МОГу (проходные / распределительные) предназначены для сращивания оптических кабелей с диаметром внешней оболочки от 9 до 25 мм.

Муфты МОМЗ (проходные / распределительные) – для сращивания оптических кабелей с наружным диаметром от 9 до 25 мм.

Шкафы кроссовые предназначены для соединения оптического кабеля с приемопередающей аппаратурой. Шкаф ШКО-Н-М1-РС (рис. 8, а) предназначен для применения совместно с кабелем марки ОКВО-М8(1,2)Т или ОКВО-М12(0,9)Т. Шкафы ШКО-С-СК (рис. 8, б), ШКО-С-СК1, ШКО-С-СК2 предназначены для установки в стойки СКУ и позволяют организовать оптическую кроссовую стойку с количеством портов до 352.

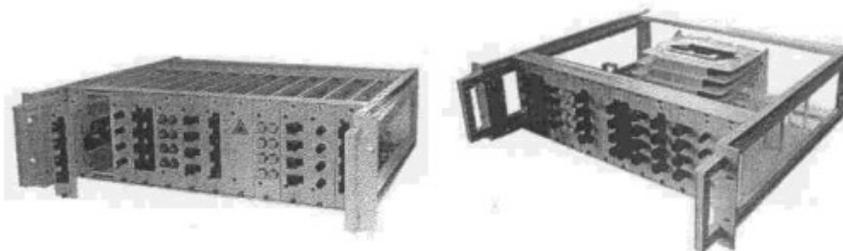


Рис. 6.8. Шкафы кроссовые

Задание:

Сращивание в муфте строительных длин оптических кабелей связи выполняется в следующем порядке.

1. Установить в пролете между двумя консолями нижней половины металлический желобок и выложить на нем нахлест сращиваемых концов кабелей.
2. Обрезать концы сращиваемых кабелей по размерам.
3. Надвинуть на концы кабелей полиэтиленовые конусы, цилиндры, опорные стальные кольца, отрезки термоусаживаемых трубок. Произвести сварку полиэтиленовых конусов с оболочкой кабелей методом наплавления полиэтиленовой ленты под стеклолентой (рис. 9).

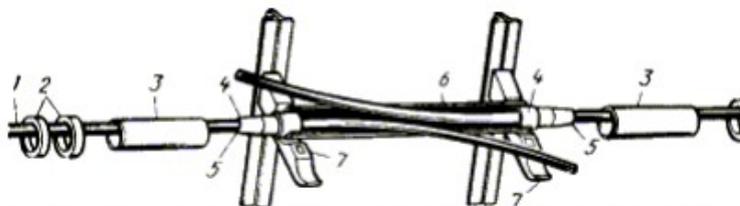


Рис. 9. Надвигание на сращиваемые концы кабелей термоусаживаемых трубок: 1 – сращиваемые кабели; 2 – отрезки термоусаживаемых трубок ГУТ 80/40; 3 – полиэтиленовые цилиндры; 4 – полиэтиленовые конуса с опорными стальными кольцами; 5 – приварка конусов к оболочке методом наплавления полиэтиленовой ленты под стеклолентой; 6 – нижняя половина металлического желобка; 7 – кабельные консоли

4. Надвинуть на сращиваемые концы кабелей конусы, цилиндры, отрезки термоусаживаемых трубок, приварить конусы к оболочке.
5. Снять оболочки с концов кабелей ножом или с помощью специального приспособления, один из возможных вариантов которого приведен на рис. 10.

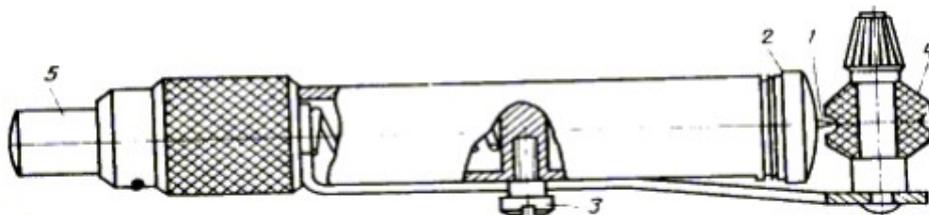


Рис. 10. Вариант конструкции инструмента для продольного и радиального прорезания оболочки кабеля: 1 – режущее лезвие; 2 – регулятор глубины реза; 3 – рычаг перевода лезвия с продольной на радиальную резку; 4 – ролик подачи кабеля; 5 – нажимная подпружиненная кнопка

6. Протереть сердечники кабелей ветошью, смоченной бензином Б-70, для удаления гидрофобного заполнения.
7. Надвинуть на центральный упрочняющий элемент одного из концов кабелей металлическую обжимную втулку и удалить поливинилхлоридную оболочку с обоих упрочняющих элементов от центра муфты до конца.
8. Обжать металлическую втулку на концах упрочняющих элементов с выводом оголенных прядей на поверхность втулки и связкой их двойным узлом (рис. 11).

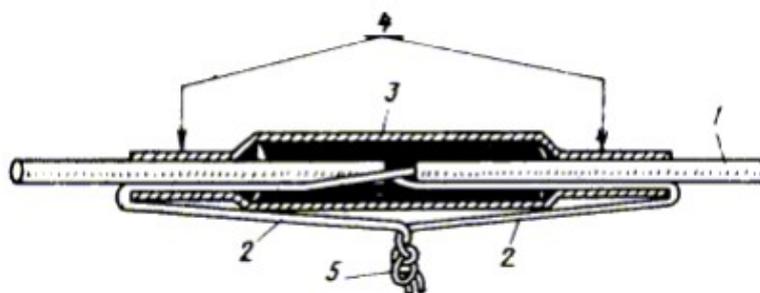


Рис. 11. Сращивание в металлической втулке центральных упрочняющих элементов:
 1 – центральный упрочняющий элемент в поливинилхлоридной оболочке; 2 – оголенные пряди упрочняющего элемента; 3 – металлическая обжимная втулка; 4 – обжимаемые шейки втулки; 5 – концы, закрепляемые вязкой двойным узлом

9. Выложить оптические модули петлями запаса (рис.12) и обрезать лишнюю длину.

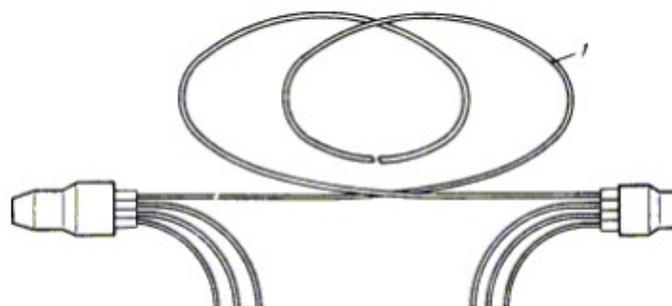


Рис. 12. Выкладка оптических модулей петлями запаса (1) и обрезка излишней длины

10. Удалить оболочки оптических модулей (рис. 13).

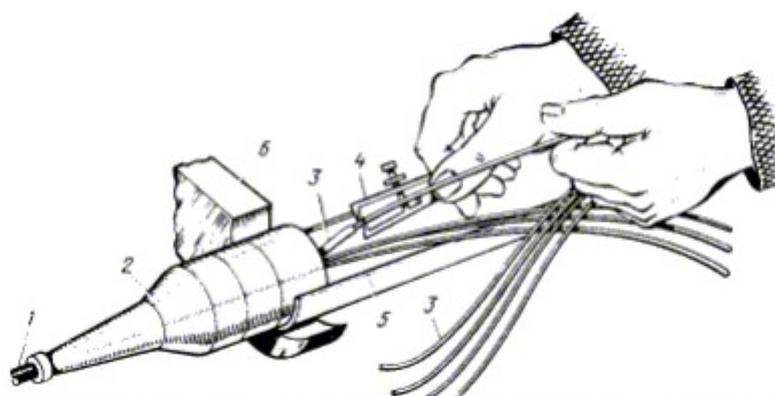


Рис. 13. Удаление оболочки оптических модулей с помощью специального приспособления: 1 – оптический кабель; 2 – полиэтиленовый конус; 3 – оптические модули в оболочке; 4 – приспособление для удаления оболочки; 5 – нижняя половина опорного металлического желобка; 6 – кабельная консоль

11. Надвинуть на оптические волокна кабеля с одной стороны термоусаживаемые гильзы с герметизирующим наполнителем.

12. Удалить с оптического волокна внешнее защитное покрытие (рис. 14).

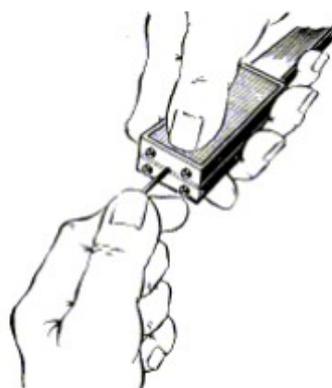


Рис. 14. Удаление с оптических волокон внешнего защитного покрытия

13. Удалить с оптического волокна внутреннее защитное покрытие (рис. 15). Один из вариантов комбинированного приспособления для удаления с оптических волокон защитных покрытий приведен на рис. 16.

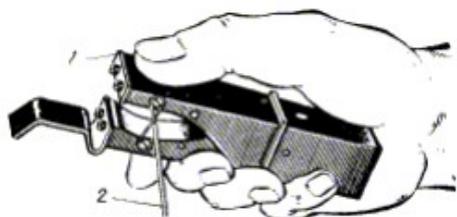


Рис. 15. Удаление с оптических волокон внутреннего защитного покрытия: 1 – приспособление для удаления покрытий; 2 – оптическое волокно с внутренним покрытием

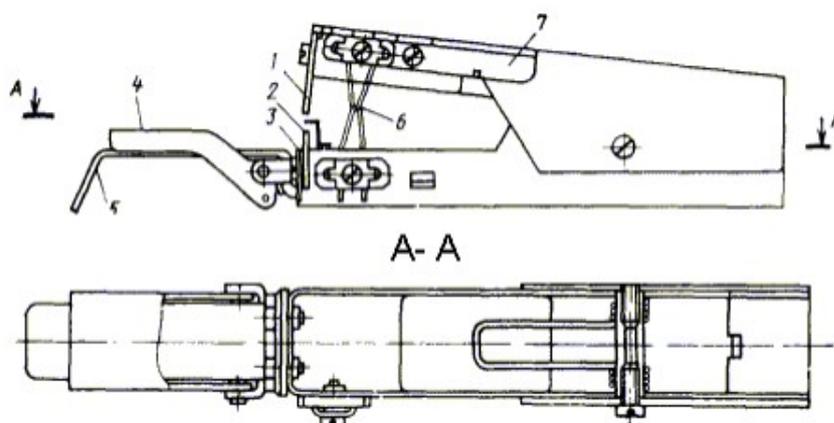


Рис. 16. Приспособление для удаления с оптических волокон защитных покрытий: 1 – верхний нож; 2 – направляющая пластина; 3 – нижний нож; 4 – крышка выдвижной планки; 5 – выдвижная планка; 6 – две лески; 7 – рычаг натяжения лесок

14. Сколоть волокна на обоих сращиваемых концах модулей (рис.17) с помощью приспособления, приведенного на рис.18.

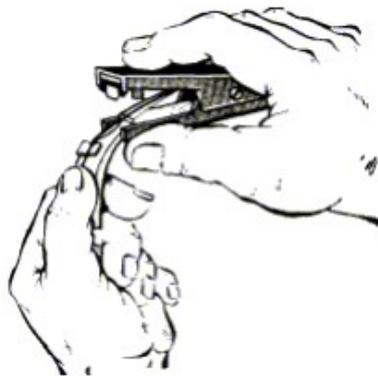


Рис. 17. Скол оптического волокна

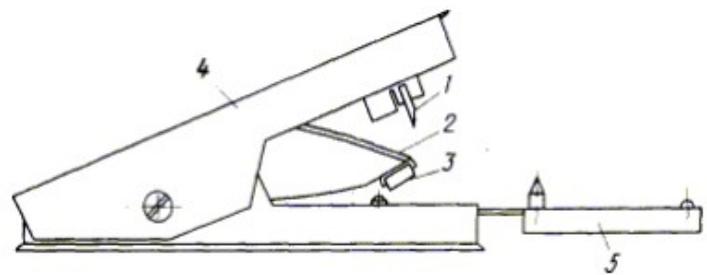


Рис.18. Приспособление для скола волокон:

1 – лезвие ножа; 2 – держатель; 3 – лапка держателя; 4 – верхний рычаг; 5 – пластина

15. Заложить сращиваемые пары оптических волокон в сварочный аппарат УСВ (рис. 19).

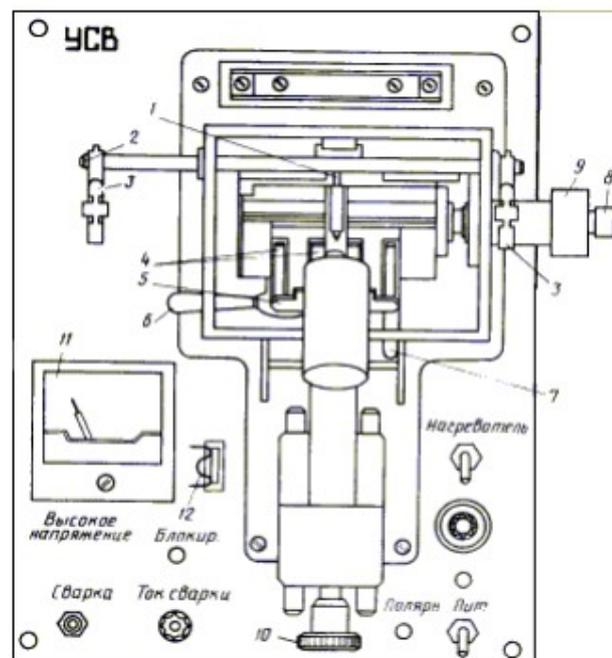


Рис. 19. Общий вид панели устройства для сварки волокон оптических кабелей (УСВ):

1 – электрод; 2 – держатель; 3 – зажимы держателя; 4 – зажимы блоков узла крепления и перемещения волокон; 5 – кнопки с фиксаторами для отжатия зажимов блоков; 6 – ручка горизонтального перемещения волокон; 7 – ручка вертикального перемещения волокон; 8 – ручка перемещения одного волокна; 9 – ручка перемещения двух волокон; 10 – ручка крепления микроскопа; 11 – миллиамперметр; 12 – гнездо включения освещения места сварки

16. Подогнать в горизонтальной и вертикальной плоскостях (юстировка) торец стороны *b* к торцу стороны *a* под контролем микроскопа, вмонтированного в устройство УСВ.
17. Подать высокое напряжение на соответствующие электроды устройства УСВ и сварить торцы волокон в электрической дуге.
18. Надвинуть на сросток волокон термоусаживаемую гильзу с герметизирующим наполнителем.
19. Прогреть и усадить гильзы над нагревательной электроспиралью устройства УСВ.
20. Подготовить и сварить аналогичным способом все оптические волокна кабеля.
21. Выложить все сросщенные оптические волокна в муфте петлями; скрепить общей вязкой все волокна в муфте (рис 20).

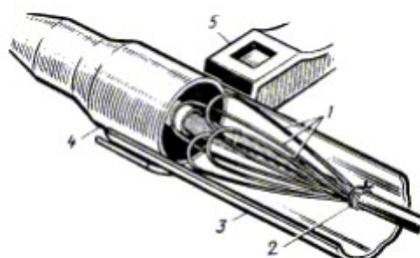


Рис. 6.20. Скрепление волокон в муфте общей вязкой:
 1 – петли сросщенных волокон; 2 – общая вязка; 3 – металлический желобок; 4 – полиэтиленовый корпус муфты; 5 – кабельная консоль

22. Наложить на муфту верхнюю половину металлического желобка.
23. Надвинуть на желобки и конусы два полиэтиленовых цилиндра.
24. Надвинуть на муфту три отрезка термоусаживаемых трубок с подклеивающим составом.
25. Прогреть и усадить три отрезка термоусаживаемых трубок на стыках муфты.
26. Выложить и закрепить муфты на консолях колодца. Общий вид готовой муфты показан на рис. 21.

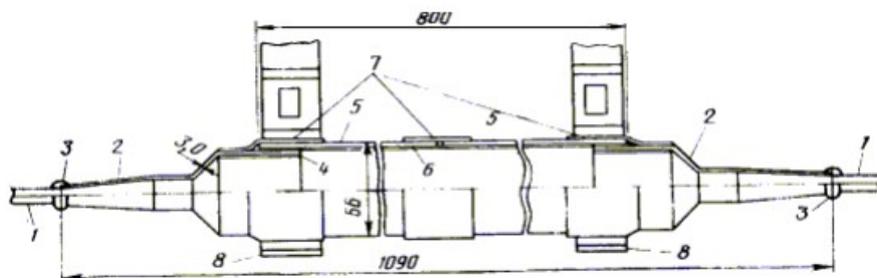


Рис. 21. Готовая муфта: 1 – оптический кабель; 2 – полиэтиленовые конусы; 3 – приварка конусов к оболочке кабелей методом наплавления полиэтиленовой ленты под стеклолентой; 4 – опорные стальные втулки; 5 – полиэтиленовые цилиндры; 6 – металлический желобок; 7 – по-яски из отрезков термоусаживаемых трубок 80/40; 8 – кабельные консоли

В ходе монтажа осуществляются оперативные и контрольные измерения. Основными измерительными приборами служат оптические тестеры и рефлектометры, которыми контролируется затухание светового потока в сростке волокон.

Контрольные вопросы:

1. Приведите классификацию оптических кабелей связи.
2. Почему длины волн излучением $\lambda = 1,3$ мкм, $\lambda = 1,55$ мкм считается наиболее перспективными в ВОСП?
3. Какие материалы используются для изготовления оптических волокон?
4. Какой режим работы волоконного световода называется одномодовым и какой многомодовым?
5. Перечислите методы соединения оптических волокон между собой.
6. Какие узлы входят в состав волоконно-оптической системы передачи?
7. Приведите порядок выполнения операций при сращивании оптических волокон.

Критерии оценивания

- Оценка «5» ставится, если выполнены все задания
- Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий
- Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий
- Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 25

«Монтаж коаксиальных кабелей связи.»

Цель: Ознакомиться с основными способами монтажа коаксиальных кабелей.

Время выполнения: 8 часов.

Ход работы:

Теоретические сведения:

Строение коаксиального кабеля



Коаксиальный кабель состоит из центрального проводника, внутреннего диэлектрика, экрана и внешней оболочки. Центральный проводник кабеля предназначен для передачи сигнала из одной точки в другую. Его делают из материалов, хорошо проводящих электрический ток. Обычно используется медь, которая подходит для этих целей по своим электрическим, механическим и стоимостным параметрам. Другие материалы также могут применяться в каких-то специальных целях. К ним можно отнести алюминий, серебро и золото. Центральный проводник может быть как одножильным, так и многожильным.



Рисунок 1-Коаксиальный кабель с центральным одножильным проводником и двойным экраном



Рисунок 2-Коаксиальный кабель с центральным многожильным проводником и экраном-оплеткой

Монтаж резьбовых, обжимных и компрессионных разъемов на коаксиальный кабель

Разъем резьбовой

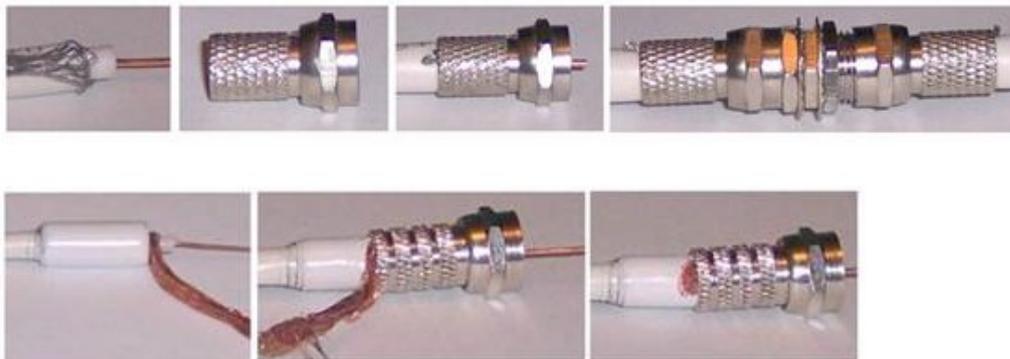


Рисунок 5- Виды резьбовых соединений

При монтаже коаксиальных кабелей необходимо соблюдать минимальные радиусы изгиба (оговариваются в стандарте или ТУ на кабели разных марок).

Так, для кабеля РК-75-4-11 минимальный радиус изгиба при $t > +5^{\circ}\text{C}$ - 40 мм, а при $t < +5^{\circ}\text{C}$ - 70 мм.

Сгибать кабель под меньшим радиусом не рекомендуется. Следует также учитывать, что под действием собственного веса кабель вытягивается.

Это необходимо учитывать при прокладке кабеля (по вертикали) и между строениями. Его следует закреплять к стене (мачте) или вспомогательному тросу через каждые 1-2 м.

При хранении кабелей с воздушной и полувоздушной изоляцией их концы должны быть защищены от проникновения влаги внутрь кабеля, а при эксплуатации необходимо применять герметичные соединители.

Задание:

1. Установить тип используемого кабеля.
2. Описать его конструкцию.
3. Перечислить характеристики данного кабеля (материал центральной жилы и её диаметр, диаметр диэлектрика, диаметр оплётки, материал изоляционного чулка)
4. Перечислить элементы (аксессуары), которые применялись в процессе монтажа. Описать их назначение.
5. Описать последовательность установки аксессуаров

№ п/п	Действие	Схематический рисунок

Контрольные вопросы.

1. Как называются жилы коаксиального кабеля?
2. Какая величина волнового сопротивления коаксиальных кабелей?
3. Где применяются коаксиальные кабели?
4. Какие способы монтажа коаксиальных кабелей применяется?
5. Написать алгоритмы монтажа коаксиального кабеля различными способами.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий

Практическая работа № 26 «Сращивание коаксиальных кабелей»

Цель: Научиться сращивать волокна коаксиального кабеля.

Время выполнения: 8 часов.

- Оборудование: Кусачки, Стриппер для коаксиального кабеля, Разъем F-типа, Обжимной инструмент для разъемов F-типа, BNC-разъем типа "мама-мама".

Ход работы:

Теоретические сведения:

Коаксиальный кабель, также известный как коаксиал, - это электрический сигнальный кабель, используемый для передачи сигналов, чувствительных к шумам. Чтобы защитить полезный сигнал, в коаксиальном кабеле главный проводник обернут трубкой из металлической фольги и сетки. Эта трубка идет соосно с главным сигнальным проводником и требует специальных методов обжима на концах.

Способ сращивания коаксиального кабеля:

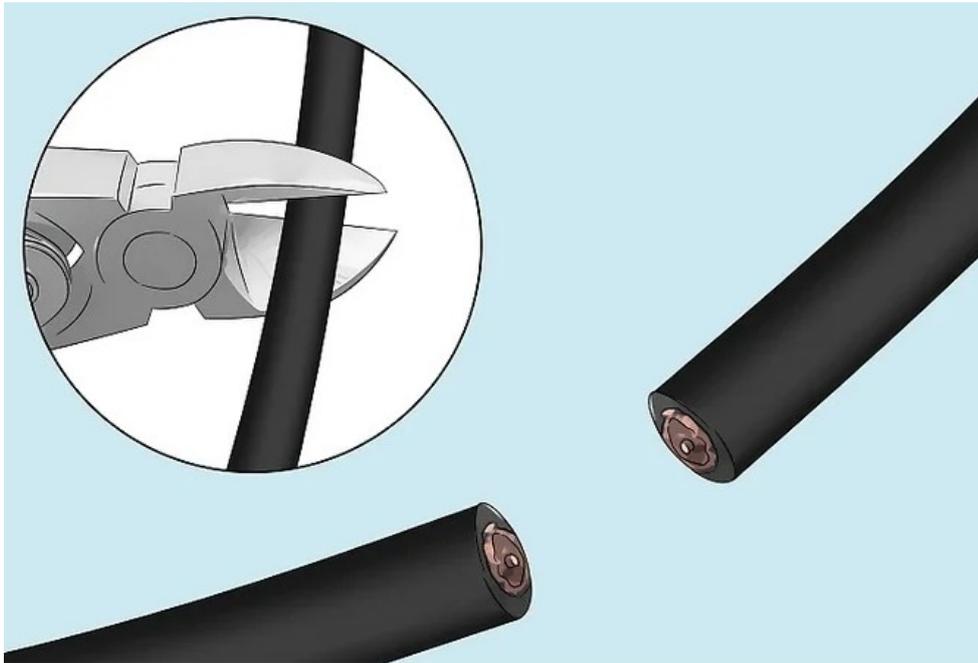
- снять с концов кабеля, предназначенных для соединения, верхнюю полиэтиленовую оболочку на длине не менее 30 мм от концов;
- распустить металлическую оплетку, состоящую из тонких медных проволок на одном конце кабеля на 20 мм, на другом конце обрезать на такую же длину и из распущенных медных проволок оплетки скрутить 4 жгута и залудить;
- залудить оплетку второго конца кабеля по окружности на длине не менее 5 мм (во избежание расплавления полиэтиленовой изоляции центральной жилы, под оплетку, необходимо положить предохраняющую изоляцию из кабельной бумаги в 2 слоя);
- освободить центральную жилу кабеля от изоляции на длину не менее 15 мм;
- скрутить центральные жилы двух кабелей между собой и паять. Длина оголенного слоя должна быть 15 мм;
- разрезать снятую изоляцию центральной жилы, наложить ее на спай центральных жил и, расправляя паяльником, заделать спай;
- припаять облуженные четыре жгута к облуженной оплетке второго кабеля симметрично со всех сторон;
- надеть на готовое соединение двух кабелей снятую разрезанную вдоль наружную изоляцию и оплавить ее с помощью паяльника с основной изоляцией кабеля.

Задание:

1. Подготовьте концы.

- Обрежьте концы коаксиального кабеля, которые хотите соединить. Используйте небольшие кусачки. Концы должны иметь ровный, а не скошенный срез.

- Пальцами восстановите правильную форму концов кабеля. Верните концам кабеля форму цилиндра. При обрезке под воздействием давления они скорее всего изменят свою форму.



2. Вставьте кабели по одному в инструмент для зачистки коаксиального кабеля (стриппер). Стрипперы можно купить в магазинах радиодеталей. Когда вставляете кабель, убедитесь, что он сидит вплотную к стенке или к направляющей стриппера. Это гарантирует правильную длину снятия изоляции.



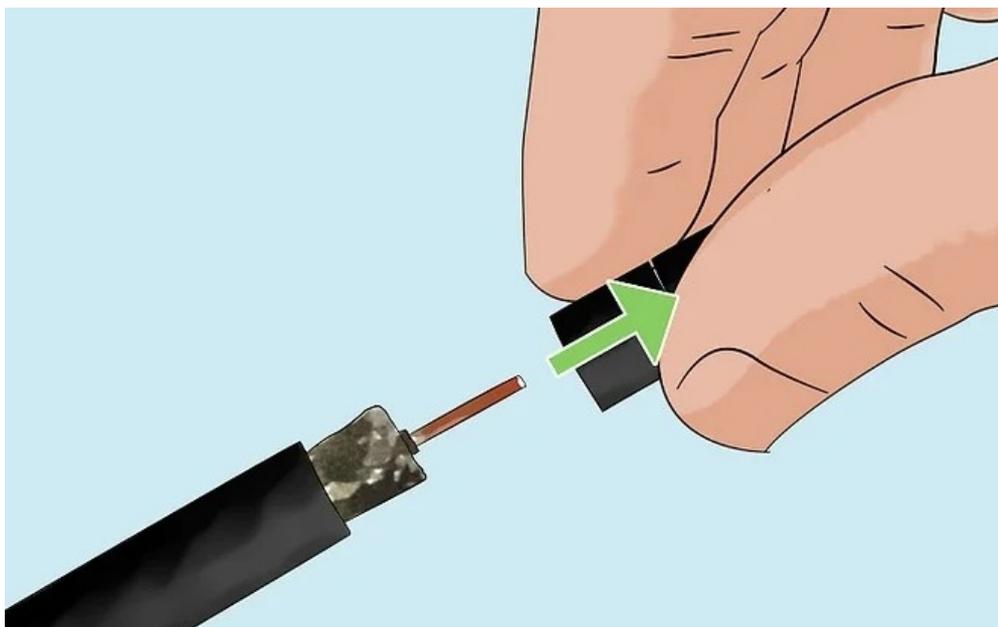
3. Зажмите стриппер вокруг кабеля. Как только вы зажали кабель стриппером, просто поверните стриппер 4-5 раз вокруг кабеля. Вращайте стриппер только в одном месте каждого кабеля. Не применяйте усилий, направленных на "стягивание" изоляционного покрытия кабеля.



4. После завершения зачистки уберите стриппер. Стриппер делает 2 надреза одновременно. Аккуратно снимите пальцами материал с концов кабеля. Таким образом обнажите центральный проводник каждого кабеля.



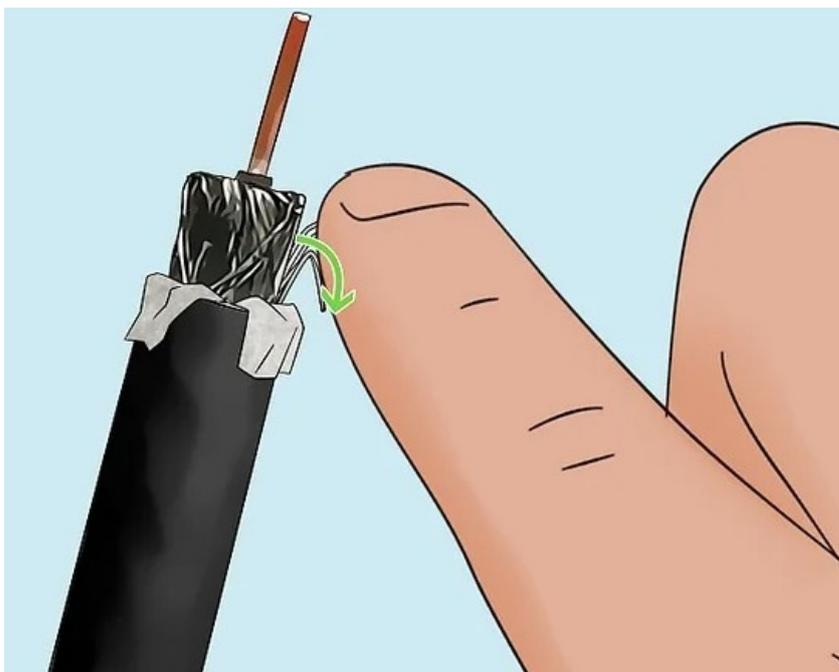
5. Снимите внешнюю изоляцию, которая была отделена от каждого кабеля вторым надрезом стриппера. Аккуратно потяните пальцами. Таким образом вы обнажите слой фольги на каждом кабеле.



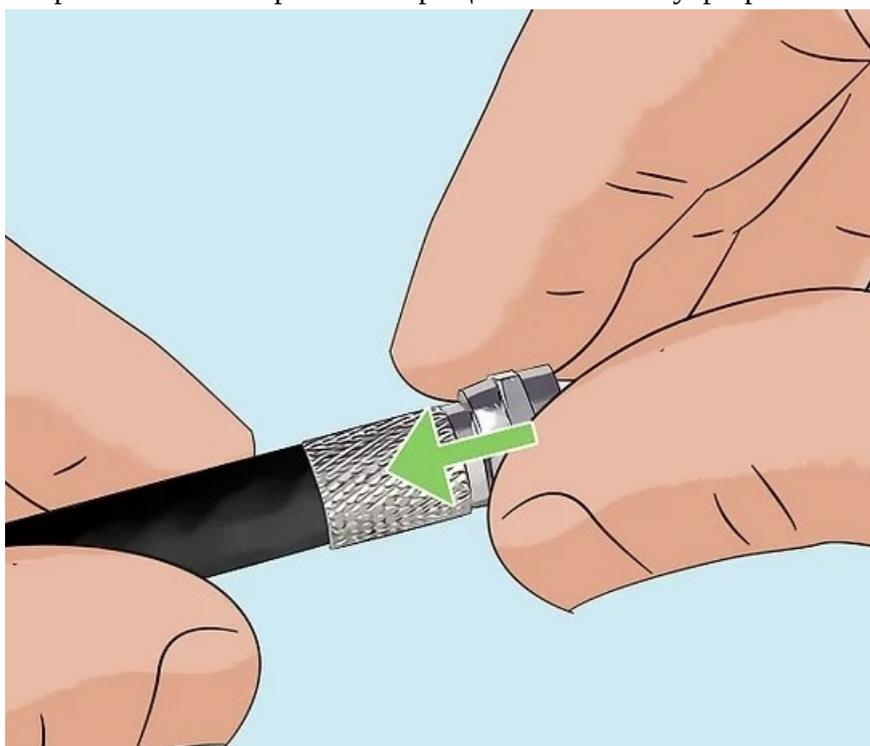
6.Оторвите фольгу на каждом кабеле. Таким образом вы откроете металлическую сетку на кабелях.



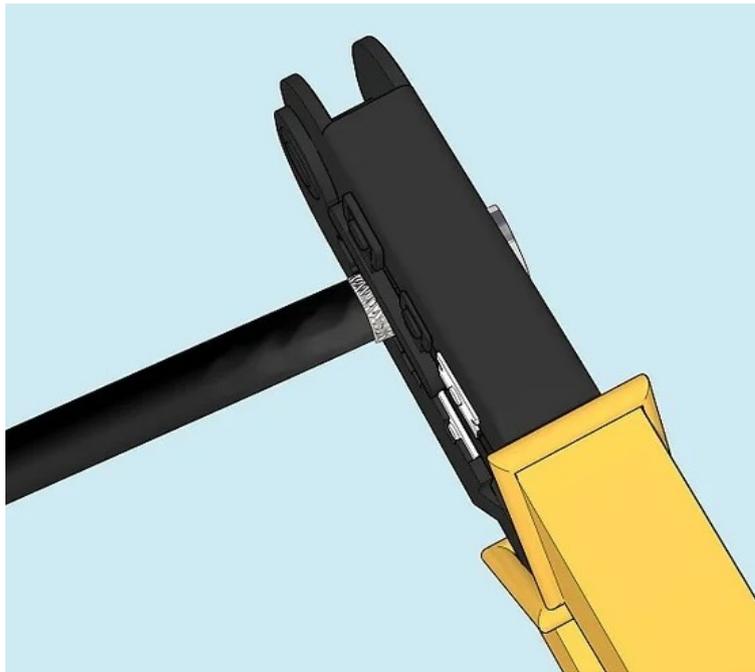
7.Пальцами заверните металлическую сетку на каждом кабеле. Не обрывайте фольгу под металлической сеткой. Этот слой фольги защищает внутреннюю изоляцию. Заверните металлическую сетку на концах таким образом, чтобы она проходила снаружи внешней изоляции каждого кабеля.



8.Зажмите конец каждого кабеля в разъеме F-типа. Убедитесь, что с внутренней стороны F-разъема виден центральный изолятор кабеля. Возможно, для правильной усадки разъема придется надевать разъем с небольшим усилием и покачиваниями. Надавливайте на разъем только прямо. Не вращайте кабель внутри разъема.



9.Обожмите соединение. Поместите каждый разъем F-типа в обжимной инструмент, который можно приобрести в магазинах радиодеталей. Выполните обжим, полностью сжимая ручку обжимного инструмента. Отпустите ручку и откройте обжимной инструмент. Выньте готовое обжатое соединение из обжимного инструмента.



10. Закончите процесс соединения. Подсоедините 2 кабеля к концам BNC-разъема типа "мама-мама". Их можно купить в магазинах радиодеталей.



Контрольные вопросы.

1. Как называются жилы коаксиального кабеля?
2. Какая величина волнового сопротивления коаксиальных кабелей?
3. Где применяются коаксиальные кабели?
4. Какие способы монтажа коаксиальных кабелей применяется?
5. Написать алгоритмы монтажа коаксиального кабеля различными способами.

Критерии оценивания

Оценка «5» ставится, если выполнены все задания

Оценка «4» ставится, если выполнено не менее 80% заданий

Оценка «3» ставится, если выполнено не менее 60% заданий

Оценка «2» ставится, если выполнено менее 60% заданий