

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СИММЕТРИЧНОЙ ПРОВОДНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

1. Цель работы

Изучение конструкции современных кабельных линий связи, используемых в локальных компьютерных сетях, исследование методов измерения переходных помех в симметричных линиях и степени искажений импульсов при передаче данных по кабелям связи.

2. Основные теоретические положения

Линия электрической связи представляет собой пару изолированных проводников, предназначенная для передачи сигналов. Кабелем связи называют группу пар изолированных проводников, имеющих общую защитную оболочку.

В локальных компьютерных сетях (ЛКС) используется в настоящее время три основных типа кабелей: коаксиальный, симметричный кабель типа «витая пара» и оптоволоконный. В первых двух типах кабеля в качестве среды распространения сигнала используется медная жила, а в оптическом кабеле – световод (оптоволокно). Выбор сетевого кабеля для конкретной сети зависит от ряда факторов, в число которых входят простота установки, требования к уровню защите, скорость передачи (в Мбит/с) и затухание сигнала, стоимость кабеля.

Коаксиальный кабель подразделяется на два типа — тонкий и толстый. Оба они имеют медную жилу, окруженную металлической оплеткой, которая экранирует внешние электромагнитные поля (шумы) и помехи от соседних кабелей (перекрестные помехи). Коаксиальный кабель целесообразно применять для передачи сигналов на большие расстояния.

Кабель *витая пара* может быть экранированной и неэкранированной. Неэкранированная витая пара (UTP) делится на семь категорий, из которых пятая — наиболее широко применяемая в компьютерных сетях. Экранированная витая пара (STP) позволяет осуществлять передачу сигналов на более высоких скоростях и на большие расстояния, чем UTP.

Оптоволоконный кабель по сравнению с медными проводами обеспечивает более высокую скорость передачи данных. На него не оказывают влияние внешние помехи, однако он дороже и требует специальных инструментов и навыков для установки.

Существует две технологии передачи данных: широкополосная и узкополосная. При широкополосной передаче с помощью аналоговых сигналов в одном кабеле одновременно организуется несколько каналов. При узкополосной передаче канал всего один, и по нему передаются цифровые сигналы.

2.1. Конструкция и параметры кабелей связи компьютерных сетей

2.1.1. Коаксиальный кабель

Самый простой коаксиальный кабель состоит из медной жилы (*core*), окружающей ее изоляции, экрана в виде металлической оплетки и внешней защитной оболочки (рисунок 2.1). Если кабель, кроме металлической оплетки, имеет и слой фольги, он называется кабелем с двойной экранизацией. При наличии сильных помех используются кабель с учетверенной экранизацией. Он состоит из двойного слоя фольги и двойного слоя металлической оплетки.



Рисунок 2.1 – Конструкция коаксиального кабеля

Электрические сигналы, отображающие данные, передаются по жиле кабеля, которая выполнена в виде одного провода (сплошная) или пучка проводов. Сплошная жила изготавливается из меди. Жила окружена изоляционным слоем, который отделяет ее от металлической оплетки. Оплетка – экран (*shield*) играет роль заземления и защищает жилу от электрических шумов (*noise*) и перекрестных помех (*crosstalk*). Перекрестные помехи представляют собой электрические наводки, вызванные токами, протекающими в соседних проводах кабеля.

Снаружи кабель покрыт непроводящим слоем — из резины, тефлона (фторопласта) или пластика. Коаксиальный кабель более помехоустойчив, затухание сигнала в нем меньше, чем в витой паре.

Существует два типа коаксиальных кабелей: *тонкий* и *толстый* коаксиальный кабель. Выбор того или иного типа кабеля зависит от потребностей конкретной сети.

Тонкий (*thin*) коаксиальный кабель — гибкий кабель с диаметром оплетки около 5 мм (рисунок 2.2.).



RG-58C/U

RG-58A/U

Рисунок 2.2 – Конструкция коаксиальных кабелей RG-58

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

Пример маркировки: **RG-58A/U**, где — **RG**-коаксиальный кабель; **58**-спецификация; **A** — многожильный центральный проводник (без A — одножильный); **C** — то же, что и "A", но с негорючим диэлектриком (военный стандарт); **/U**-экранированный. Основные характеристики кабеля RG-58 приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные характеристики кабеля RG-58

Основные характеристики	RG-58A/U	RG-58C/U
Волновое сопротивление	50+/- 2 Ом	50+/- 2 Ом
Погонная емкость	85 пФ/м	93,5 пФ/м
Коэффициент замедления	1,28	1,51
Диаметр центрального проводника	19/0,203 мм	19/0,18 мм
Материал проводника	ТС	ТС
Диаметр диэлектрика	2,9 мм	2,9 мм
Материал диэлектрика	FPE	PE
Внешний диаметр оболочки	5,03 мм	5,03 мм
Материал оболочки	NC-PVC	NC-PVC
Основной экран	Al-PET	---
Плотность экрана	100 %	---
Дополнительный экран (оплетка)	16X7/0,12 мм	16X7/0,12 мм
Материал оплетки	ТС	ТС
Плотность оплетки	93,6 %	93,6 %

Для подключения тонкого коаксиального кабеля к компьютерам используются так называемые BNC-коннекторы (*Bayonet Nut Connector* – миниатюрный штыковой соединитель). В семействе BNC имеется несколько основных типов соединителей:

- BNC-коннектор — припаивается либо обжимается на конце кабеля;
- BNC T-коннектор — соединяет сетевой кабель с сетевой платой компьютера;
- BNC баррел-коннектор — применяется для сращивания двух отрезков тонкого коаксиального кабеля;
- BNC-терминатор. Используется в сети с топологией “шина” для предотвращения отражения сигналов от свободных концов кабеля; терминаторы устанавливаются на каждом конце кабеля.

Вид коннекторов для тонкого коаксиального кабеля показан на рисунке 2.3.

Толстый (*thick*) коаксиальный кабель — относительно жесткий кабель с диаметром оплетки около 10 мм. Иногда его называют “стандартный Ethernet кабель”, поскольку он был первым типом кабеля, применяемым в сетях Ethernet. Медная жила этого кабеля толще, чем у тонкого коаксиального кабеля.







Изображение	Наименование
	Т-коннектор штекер BNC на 2 гнезда BNC
	3 гнезда BNC
	Гнездо BNC пайка, крепление гайкой блочное
	Штекер BNC обжимной
	Штекер BNC терминатор
	Штекер BNC терминатор с це- почкой заземления

Рисунок 2.3 – Конструкция коннекторов и терминаторов типа BNC

Чем толще жила у кабеля, тем меньше его сопротивление и тем большее расстояние, на которое распространяется сигнал. Следовательно, толстый коаксиальный кабель передает сигналы дальше, чем тонкий, в частности до 500 м. В связи с этим толстый коаксиальный кабель часто используют в качестве основного кабеля [*магистрالی (backbone)*], который соединяет несколько небольших сетей, построенных на тонком коаксиальном кабеле.

Для подключения к толстому коаксиальному кабелю применяют специальное устройство — трансивер. Трансивер (*transceiver*) снабжен специальным соединителем (коннектором), который назван “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 порту сетевой платы.

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.

2.1.2. Симметричный кабель типа "Витая пара"

Самая простая витая пара (*twisted pair*) — это два скрученных изолированных медных провода. Существует два типа тонкого кабеля: неэкранированная (*unshielded*) (UTP) и экранированная (*shielded*) витая пара (STP). Несколько витых пар, как правило, помещают в одну защитную оболочку. Их количество в таком кабеле может быть разным. Конструкция четырехпарного кабеля показана на рисунке 2.4.

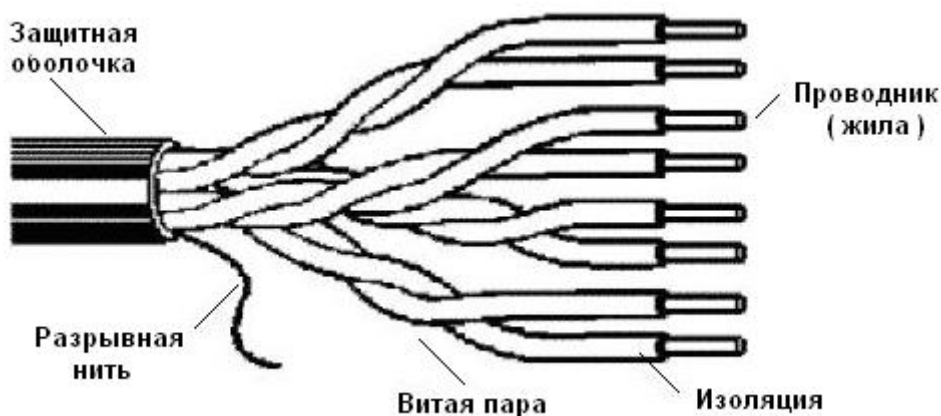


Рисунок 2.4 – Конструкция кабеля типа "витая пара"

Скрутка проводов позволяет улучшить степень симметрии электрических параметров кабеля и тем самым уменьшить электрические помехи, наводимые соседними парами или другими источниками. Кроме этого, при скрутке увеличивается стойкость пары к различным механическим воздействиям (растягивающим, изгибающим, сжимающим и т.п.), которые могут возникнуть на кабеле в процессе инсталляции или эксплуатации. Расстояние, на котором два проводника витой пары совершают полный оборот друг вокруг друга, называют *шагом скрутки* (рисунок 2.5). Величина шага скрутки зависит от верхней частоты диапазона и энергетической характеристики спектра сигналов, которые предполагается передавать по паре. Для большинства кабелей, используемых в компьютерных сетях, эта величина составляет порядка 2...5 см.

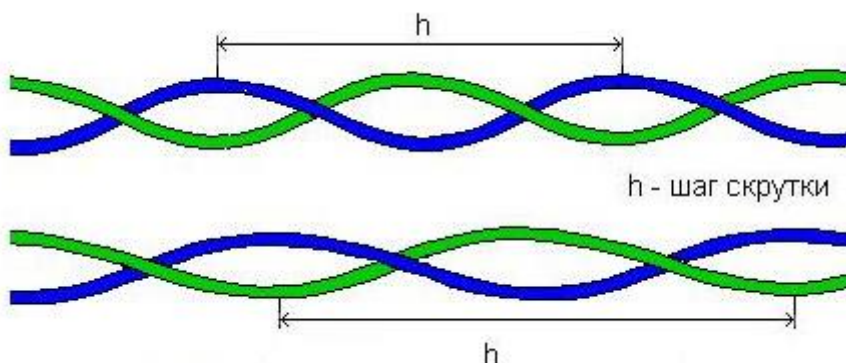


Рисунок 2.5 – Витые пары с различным шагом скрутки

В качестве проводника в стационарных кабелях чаще всего применяется *монолитный (Solid)* медный провод диаметром 0,51...0,64 мм, имеющий несколько меньшее затухание на высоких частотах, чем *многопроволочные проводники (Stranded wire)*, свитые из тонких медных жил диаметром 0,19 мм. Последние применяются в *соединительных кабелях (Patch cables)* рабочей области и *соединительных шнурах (Patch Cords)* для распределительного и кроссового оборудования, поскольку обладают большей гибкостью и устойчивостью на излом.

Для указания диаметра проводника импортных кабелей не редко пользуются американской системой калибров **AWG** (*American Wire Gage*), основанной не на метрических, а на дюймовых мерах. Так кабель AWG 24 имеет диаметр жилы 0,511 мм; AWG 23 – 0,574 мм; AWG 22 – 0,643 мм.

В качестве изоляции жил в витых парах обычно используют *полиэтилен (PE)* или *поливинилхлорид (PVC)*, реже - *полиэтилен/терефталат (PETP)* или *полипропилен*. Полиэтилен – наиболее технологичный материал, однако он обладает довольно низкими диэлектрическими свойствами (особенно на высоких частотах) и может поддерживать горение при пожаре. С точки зрения пожаробезопасности более удачным является поливинилхлорид, который горит, но не поддерживает и не распространяет горение. В случае повышенных требований к жароустойчивости для изоляции используют композиции из тефлона. Для улучшения диэлектрических свойств изоляции в кабелях для компьютерных сетей в последние годы часто применяют вспененный полиэтилен, который содержит в своей структуре пузырьки воздуха, являющегося хорошим диэлектриком. Кроме того, такой прием позволяет уменьшить общий вес кабеля. Толщина слоя изоляции жил составляет примерно 0,5...0,6 мм.

Очень часто в структурированных кабельных системах (СКС) компьютерных сетей в качестве элемента кабельной конструкции используется не пара, а *четверка*, состоящая из четырех изолированных проводников, скрученных вместе и образующих две цепи. В некоторых случаях в центре четверки находится тонкая полиэтиленовая нить (корд), вокруг которой и скручиваются все четыре проводника, и которая придает четверке механическую прочность. Кроме этого, четверочная скрутка позволяет добиться меньших внешних габ-

ритов кабеля и большей стабильности его конструкции. Она также улучшает некоторые электрические характеристики по сравнению с парой, однако только в том случае, если она очень качественно собрана, так как расстояние между проводниками в четверке меньше и малейшее их смещение относительно друг друга приведет к ухудшению параметров взаимных влияний. Кроме того, четверка более сложна в производстве и несколько дороже.

Все пары в изоляции, собранные вместе, формируют так называемый кабельный *сердечник* (*Core*). Наиболее распространены конструкции, имеющие в составе сердечника четыре пары (4 x 2), однако кабели СКС (особенно магистральные) могут иметь и гораздо большую емкость. Такие кабели называют *многопарными* (*Multicore*).

Для идентификации пар внутри кабеля используют *цветовую маркировку* изоляции. Первые четыре пары имеют такие базовые цвета: синий, оранжевый, зеленый и коричневый. Чаще всего основной провод в паре целиком окрашивается в базовый цвет, а дополнительный провод имеет белую изоляционную оболочку с добавлением полосок базового цвета. В случае, когда количество пар в кабеле больше четырех (многопарные кабели), могут применяться как дополнительные цвета (фиолетовый, серый, синий и др.), так и комбинированная цветовая маркировка. В последнем случае пара раскрашивается комбинацией цветов (желто-зеленый, красно-зеленый, зелено-коричневый), что существенно увеличивает количество вариантов цветовой идентификации. Правила цветовой маркировки на основе двенадцати основных маркирующих цветов определяют стандарты IEC 60708 и TIA/EIA-598.

Неэкранированная витая пара (UTP – *Unshielded Twisted Pair*) состоит из двух изолированных медных проводов. Существует несколько спецификаций, которые регулируют количество витков на единицу длины — в зависимости от назначения кабеля.

Промышленность выпускает ряд типов кабелей витая пара, которые подразделяются на семь категорий.

Категория 1. Традиционный телефонный кабель, предназначенный для передачи речевых сигналов, а не данных. Большинство телефонных кабелей, произведенных до 1983 года, относится к категории 1.

Категория 2. Кабель, способный передавать данные со скоростью до 4 Мбит/с. Состоит из четырех витых пар.

Категория 3. Кабель, обеспечивает передачу данных со скоростью до 10 Мбит/с. Состоит из четырех витых пар с девятью витками на метр.

Категория 4. Кабель, способный передавать данные со скоростью до 16 Мбит/с. Состоит из четырех витых пар.

Категория 5. Кабель, способный передавать данные со скоростью до 100 Мбит/с. Состоит из четырех витых пар медного провода.

Ключевое различие между кабелями 3-й и 5-й категорий состоит в количестве витков скручивания пары проводников на единицу длины кабеля. В пятой категории количество витков на единицу длины кабеля почти в 10 раз

больше чем в кабеле третьей категории. Это дает возможность существенно повысить пропускную способность линии.

Категория 7 является единственной на данный момент стандартизированной средой передачи, которая без каких-либо оговорок способна обеспечивать передачу со скоростью 10 Гбит/с по линиях длиной до 100 м. В кабелях 7 категории существенно уменьшен уровень шумов. Этот фактор является очень важным, так как основным мешающим фактором для систем передачи данных, работающих со скоростью 10 Гбит/с, является тепловой шум. Уменьшение шумов в этом кабеле достигается благодаря особенностям конструкции кабеля и модульных разъемов. Пары состояются из жил диаметром не менее 0,58 мм, причем каждая пара заключается в индивидуальный экран из фольги. Экранирование каждой пары по всей окружности обеспечивается и в модульном разьеме. Благодаря этим мероприятиям, для такого кабельного оборудования являются менее ощутимыми наводки, в том числе и межкабельные. Одной из главных проблем для всех этих типов кабелей являются перекрестные помехи — электрические наводки, вызванные сигналами в смежных проводах. Неэкранированная витая пара особенно страдает от перекрестных помех. Для уменьшения их влияния используют экран. Неэкранированная витая пара (спецификация 10BaseT) широко используется в ЛВС, максимальная длина сегмента составляет 100 м.

Экранированная витая пара. Кабель экранированной витой пары (STP - *Shielded Twisted Pair*) имеет медную оплетку, которая обеспечивает большую защиту от внешних электромагнитных полей, чем неэкранированная витая пара. Кроме того, пары проводов STP обмотаны фольгой. В результате передаваемые данные по экранированной витой паре надежно защищены от внешних помех и могут передаваться с более высокой скоростью и на большие расстояния. Экран выполняется в виде алюминиевой фольги, либо медной оплетки, либо и того и другого вместе. Встречается как общее экранирование, так и экраны по скрученным парам. Экраны сопровождаются дренажным проводником в виде медной проволоочки для поддержания электрической целостности экрана.

В качестве материала оболочки для обоих типов кабелей применяется в основном ПВХ-пластикат (ПолиВинилХлорид), как самый дешевый и не распространяющий горение материал. В специальных случаях используются самозатухающий полиэтилен либо малодымные безгалогенные компаунды, но это увеличивает стоимость и снижает механические характеристики кабеля. Наиболее распространен серый цвет, однако производятся кабель всех цветов. В случае наружной прокладки применяется светостойкий полиэтилен (черного цвета).

Для подключения витой пары к компьютеру используются телефонные модульные коннекторы типа RJ-45 (*Registered Jack -45*). Более правильное название этого разъема **8P8C**. На первый взгляд, они похожи на телефонные соединители типа RJ-11, но в действительности между ними есть существенные отличия. Во-первых, вилка RJ-45 чуть больше по размерам и не подходит для

гнезда RJ-11. Во-вторых, коннектор RJ-45 имеет восемь контактов, а RJ-11 — только четыре. Конструкция коннекторов (гнезда и штекера) для витой пары изображена на рисунке 2.6.



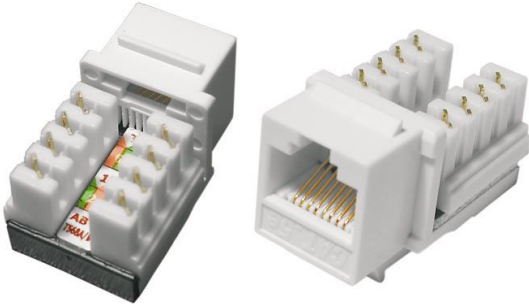
Изображение	Наименование
	Неэкранированный кабель категории 5
	Штекер соединителя RJ-45
	Гнездо соединителя RJ-45 для коммутационной панели (патч-панели)

Рисунок 2.6 – Конструкция кабеля «витая пара» и соединителей

2.1.3. Оптический кабель

В качестве физической среды распространения сигналов в оптических кабелях используются сверхпрозрачное стекловолокно или волокно, выполненное на базе полимеров. Простейший оптический кабель (рисунок 2.7) состоит из светопроводящего (кварцевого) сердечника диаметром 2...200 мкм, окруженной тонкой полимерной или стеклянной отражающей оболочкой со значительно меньшим коэффициентом преломления, чем в сердечнике. Этим достигается практически полное внутреннее отражение световых потоков. Снаружи кабель покрывается несколькими слоями защитного покрытия.

Скорость передачи сигналов по оптическому кабелю может достигать 2...5 Гбит/с и выше. Затухание оптического кабеля составляет 0,2...10 дБ/км, причем оно незначительно возрастает с ростом частоты передачи сигналов. В связи с тем, что любое оптоволокно передает сигналы только в одном направ-

лении, кабель выполняют из двух волокон с отдельными коннекторами. Одно из волокон служит для передачи, а другое – для приема.

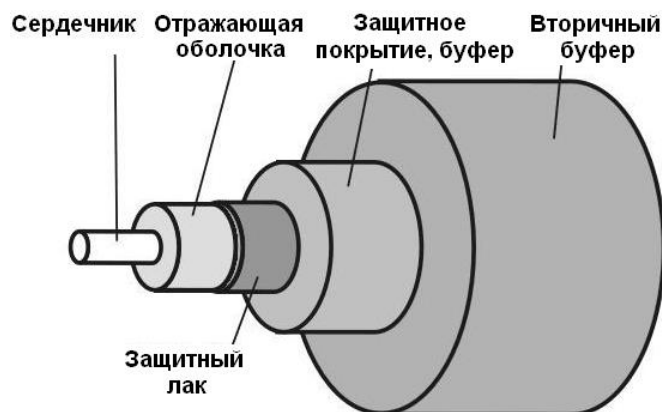


Рисунок 2.7 - Конструкция одножильного оптического кабеля

Для защиты от внешних воздействий кабель имеет общее покрытие из пластика, а для повышения механической прочности внутри кабеля, наряду с оптоволоком, проложены нити из искусственного очень прочного материала – кевлара.

Различают два типа оптических кабелей: **многомодовые** и **одномодовые**. По слову «мода» понимают световые лучи внутри кабеля, имеющие одинаковые углы отражения. В *многомодовых* кабелях распространяются несколько световых лучей, которые попадают на границу раздела оптических свойств и отражаются от нее под различными углами. Так называемые аксиальномодовые лучи, содержат моду только нулевого порядка. Они распространяются в середине световода без отражения.

Одномодовые кабели имеют настолько малый диаметр (2..10 мкм), что в нем возможно распространения лучей только нулевой моды. В связи с тем, что в многомодовом кабеле одновременно распространяется несколько лучей одного и того же сигнала, отличающихся различным временем прохождения, то результирующий сигнал на выходе кабеля расширяется и происходит межсимвольная интерференция передаваемых единичных элементов, которая возрастает с увеличением длины кабеля. Это затрудняет различение и регистрацию единичных элементов. По этой причине приходится ограничивать скорость передачи в многомодовых волоконно-оптических линиях связи. В одномодовых кабелях межсимвольная интерференция практически отсутствует. Поэтому скорость передачи в таких линиях связи выше. Существенным преимуществом волоконно-оптического кабеля, кроме высокой пропускной способности, является независимость от внешних электромагнитных полей. Основной недостаток волоконно-оптических линий – более высокая стоимость производства компонентов, а также большие затраты на их монтаж и ремонт.

На рисунке 2.8 показана схема распространения лучей в многомодовых и одномодовом волоконно-оптических кабелях при различном профиле изменения коэффициента преломления лучей в среде распространения. Различный коэффициент преломления и его распределение внутри сердцевины достигается путем введения специальных добавок в оптическую массу в процессе производства (вытягивания) кабельной нити.

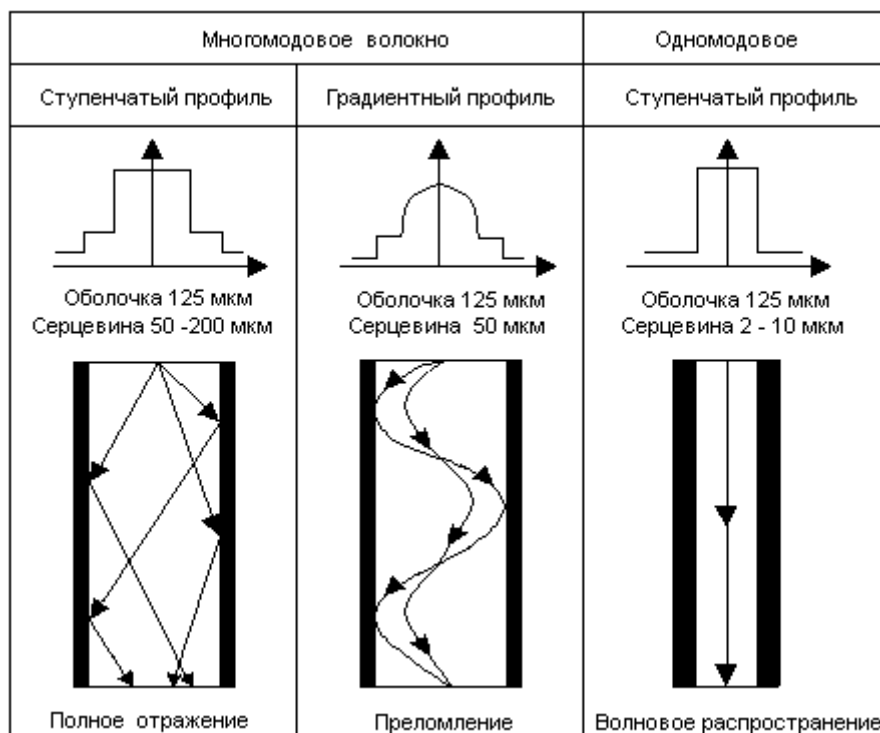


Рисунок 2.8 – Схема распространения лучей в волоконно-оптическом кабеле и зависимости коэффициента преломления лучей

Для обеспечения большей пропускной способности линии связи промышленностью выпускаются оптоволоконные кабели, содержащие несколько (до 8) одномодовых волокон с малым затуханием. Разработаны и производятся кабели для распределительных сетей, которые могут содержать до 216 волокон как одномодовых, так и многомодовых.

Подключение и соединение оптических кабелей осуществляется посредством оптических соединителей (разъемов). Назначением таких соединителей является сверхточная юстировка и фиксация в оптическом разъеме сердечников соединяемых оптических волокон (ОВ) для передачи оптического сигнала из одного ОВ в другое с минимальными потерями оптической мощности (рисунок 2.9). На настоящее время разработано большое количество соединителей, отличающихся по количеству соединяемых волокон, типу оптического волокна, мощности светового потока, типу полировки волокна, конструкции, области применения.

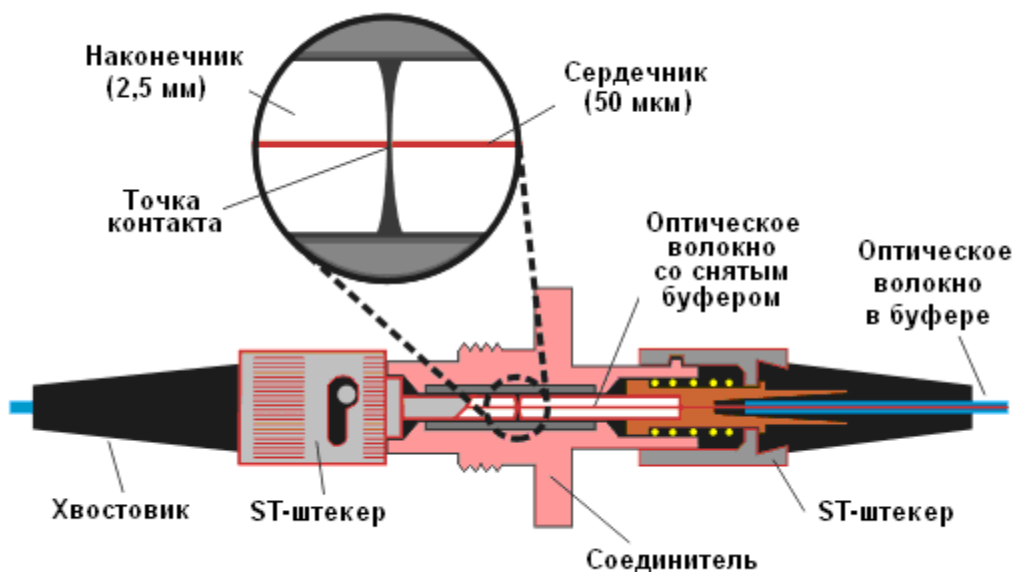


Рисунок 2.9 – Сечение оптического соединителя

Конструкция современных оптических соединителей является довольно простой в использовании, дешёвой и надёжной. В некоторых разъёмах соединение оптических волокон эффективно защищено от воздействия пыли и влажности. Конструкция большинства соединителей устойчива к воздействию продольных растягивающих усилий, возникающих в процессе эксплуатации.

Оптический соединитель гарантирует многократное соединение (разъединение) без каких-либо изменений потерь оптической мощности. Минимальное количество подключений, которое должен обеспечивать разъёмный оптический соединитель составляет 500 раз (IEC 61300-2-2). Конструктивные исполнения наиболее распространенных типов оптических разъемов изображены на рисунке 2.10. Разъемы для волоконно-оптических кабелей типа SC (*Subscriber Connector*) являются одними из наиболее распространенных в компьютерных сетях малых и средних офисов по причине относительно низкой их стоимости. Существуют модификации соединителей как для одномодовых, так и многомодовых волокон, для дуплексной и симплексной передачи сигналов.

Штекеры соединителей типа LS, FS и ST отличаются наличием металлической направляющей, которая обеспечивает более точное совмещение осей соединяемых волокон.

Такие разъемы выполняются только для симплексной передачи. Разъемы E-2000™ и F-3000™ характеризуются наличием пластмассовой шторки, которая защищает от попадания пыли на торец волокна, если штекер не вставлен в гнездо разъема. Шторка открывается при нажатии соответствующего рычажка, находящегося на корпусе соединителя. Названия этих разъемов являются зарегистрированной торговой маркой фирмы Daimond. Разъем LC (*Lucent*

Connector) производства фирмы Lucent служит для организации соединения дуплексных линий передачи.








Изображение штекера	Наименование
	SC (Subscriber Connector)
	ST (Straight Tip connector) Stick-and-Twist
	LS
	FS
	E-2000 PS
	F-3000
	LC (Lucent Connector)

Рисунок 2.10 – Соединители волоконно-оптических линий

Для улучшения оптического контакта соединяемых оптических волокон торцы волокон в процессе производства разъемов полируют. В маркировке оптических разъемов сокращение PC (*Physical Contact*) указывает на наличие того или иного вида физического контакта ОВ.

Существует несколько типов полировки торцов ОВ, предусматривающих физический контакт ОВ в разъемном соединении, каждый из которых соответствует различному уровню обратного отражения оптической мощности:

- нормальная полировка (PC) до -30 дБ;
- суперполировка (super PC) до -40 дБ;

- ультраполировка (ultra PC) до -50 дБ;
- полировка под углом к оптической оси APC (HRL-10) более -70 дБ.

2.2. Электрические параметры и характеристики кабелей связи

Электрические свойства проводных линий характеризуются их основными, или первичными параметрами, отнесенными к одному километру длины. Первичными погонными параметрами цепи ЛС являются:

- 1) активное сопротивление R , [Ом/км];
- 2) индуктивность L , [Гн/км];
- 3) емкость между проводами C , [Ф/км];
- 4) проводимость изоляции между проводами G , [Сим/км].

Сопротивление проводов зависит от их диаметра и материала. На сопротивление проводов влияет температура окружающей среды. Индуктивность и емкость линии определяется, в основном, расстоянием между проводами и диаметром проводов. Емкость кабельных линий, кроме того, зависит также от материала диэлектрика между проводами.

Проводимость изоляции воздушных линий зависит от погоды, а кабельных – от типа изоляции. Линии связи, у которых первичные параметры остаются неизменными по всей длине, называются однородными. При расчетах однородных линий связи по первичным параметрам пользуются эквивалентной схемой для 1 км цепи (рисунок 2.11).

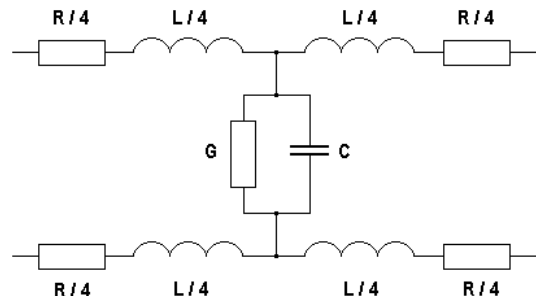


Рисунок 2.11 – Эквивалентная схема сегмента кабельной линии связи

Кроме первичных параметров проводные линии характеризуются также вторичными параметрами, к которым относятся волновое сопротивление $Z_{\text{в}}$ и коэффициент распространения сигнала γ , составляющими которого являются коэффициент затухания α и коэффициент фазы β сигнала. Величина волнового сопротивления зависит от первичных параметров линии и частоты тока.

Волновые параметры линии определяются по следующим формулам:

$$Z_{\epsilon} = \sqrt{(R + j\omega L) / (G + j\omega C)};$$

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

$$\alpha \approx R/2\left(\sqrt{C/L}\right) + G/2\left(\sqrt{L/C}\right); \quad \beta \approx \omega\sqrt{LC}.$$

Волна напряжения и тока, приходящая к концу линии, отдает нагрузке всю энергию только в том случае, когда сопротивление нагрузки равно волновому сопротивлению линии связи. В противном случае часть энергии возвращается от конца линии к ее началу в виде отраженной волны тока и напряжения и искажает передаваемые сигналы. Поэтому условием неискаженной (и максимальной мощности) передачи сигналов является равенство сопротивления нагрузки волновому сопротивлению линии связи. Согласование сопротивлений различных типов линий обычно производится через согласующий трансформатор.

Основными электрическими параметрами телекоммуникационного кабеля, которые нормируются действующими редакциями стандартов и представляют практический интерес, являются:

- 1) собственное или "погонное" затухание – "Attenuation";
- 2) переходное затухание – "NEXT" или "FEXT";
- 3) помехозащищенность – "ACR (Attenuation / Crosstalk Ratio)";
- 4) сопротивление постоянному току – "Loop Resistance";
- 5) номинальная скорость распространения – "NVP";
- 6) возвратные потери – "Return Loss";
- 7) волновое сопротивление – "Impedance";
- 8) перекос фаз – "skew".

Затухание кабельной линии Attenuation определяется по формуле

$$\alpha = 10 \lg(P_I / P_O), \text{ [дБ]}$$

где α — затухание, выраженное в децибелах на км или, чаще, на 100 м. P_0, P_1 — мощности сигнала в начале и конце линии.

Сопротивление медной жилы определяется главным образом её сечением, в связи с тем, что при повышении частоты наблюдается так называемый поверхностный эффект. При поверхностном эффекте вихревые токи от переменного магнитного поля проводника с током взаимодействуют с током этого же проводника. В центре проводника эти токи направлены встречно, а по краям попутно вызвавшему их току. В результате плотность тока увеличивается по мере удаления от центра проводника к его поверхности. Внутренние слои проводника при этом практически не используются.

Кроме этого, в соседних парах проводников кабеля проявляется эффект близости за счет взаимодействия вихревых токов, наведенных магнитным полем одного проводника в соседнем проводе с основным током в этом провод-

нике. В результате такого взаимодействия происходит перераспределение плотности тока во втором проводнике, при этом она увеличивается на взаимно-обращенных друг к другу сторонах проводников симметричной цепи в случае, когда токи в проводниках текут в противоположных направлениях и на взаимно удаленных поверхностях при одинаковом направлении токов.

Оба вышеназванных эффекта сказываются тем сильнее, чем выше частота протекающего тока. Суммарное действие этих эффектов приводит к увеличению сопротивления жилы с ростом частоты. В случае многопроволочного проводника сопротивление дополнительно увеличивается за счет того, что вышеупомянутые эффекты наблюдаются в пределах каждой проволоки, и усиливаются тем, что радиус этих проводников мал. Поэтому площадь сечения проводника многопроволочных жил выбирается несколько большей по сравнению со сплошной жилой.

Емкость двухпроводной линии на единицу длины определяется как:

$$C = \frac{\varepsilon}{18 \ln(D/d)} 10^{-6} \text{ Ф / км},$$

где ε – коэффициент диэлектрической проницаемости изоляции, D и d – диаметры изоляции и медной жилы соответственно. Как видим, если исключить незначительные изменения ε от частоты, емкость на высоких частотах не меняется. Коэффициент диэлектрической проницаемости зависит от материала изоляции, например, у полиэтилена он равен 2,2-2,3, а у пенополиэтилена – 1,2-1,5, что существенно улучшает вторичные параметры.

Проводимость изоляции на единицу длины определяется выражением:

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta,$$

где C – емкость единицы длины кабеля; ω – угловая частота; δ – угол диэлектрических потерь. Из формулы видно, что проводимость растет с увеличением частоты.

Индуктивность двухпроводной линии:

$$L = \left[4 \ln \frac{2a-d}{d} + Q(x) \right] 10^{-4} \text{ Гн / км},$$

где a – расстояние между проводниками; d – диаметр проводника; $Q(x)$ – коэффициент, учитывающий внутрипроводниковую индуктивность, который уменьшается с ростом частоты, вследствие поверхностного эффекта; x – параметр, для медных проводов определяется следующим образом

$$x = 7,09 \sqrt{f / (10^4 \cdot R_t)}.$$

Здесь f – частота сигнала в Гц, R_t – сопротивление жил кабеля при температуре $t^\circ\text{C}$. Для x больше 10 $Q(x) = 2\sqrt{2}/x$.

Переходные затухания — NEXT и FEXT. В кабелях на основе витой пары передача информации происходит по двухпроводным цепям, расположенным рядом под общей оболочкой. Электромагнитные поля соседних цепей оказывают воздействие друг на друга, что приводит к искажениям полезного сигнала и ухудшению качества связи, в частности, в сетях передачи данных — к "потерянным пакетам".

Количественно этот параметр оценивают при помощи переходного затухания. Переходное затухание подразделяется на 2 величины — переходные затухания на ближнем и на дальнем концах (В иностранной литературе: NEXT — *Near-End-Crosstalk* и FEXT — *Far-End-Crosstalk*). На рисунке 2.12 схематично показан механизм возникновения переходных помех на ближнем конце и дальнем концах.

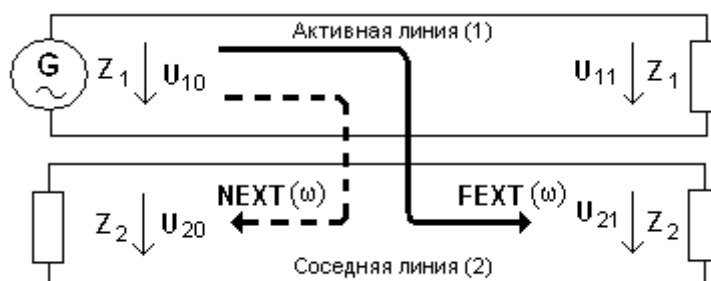


Рисунок 2.12 – Возникновение переходных помех на ближнем и дальнем концах линии

Для вычисления NEXT используется отношение мощности сигнала в начале к мощности, пришедшей вследствие наведенных токов на тот же конец кабеля, на котором расположен генератор:

$$\text{NEXT} = 20 \lg(U_{10} / U_{20}),$$

где NEXT (или a_0) - переходное затухание на ближнем конце, дБ. U_{10} — напряжение на выходе генератора, U_{20} — напряжение, на ближнем от генератора концу подверженной влиянию линии.

$$\text{FEXT} = 10 \lg(U_{10} / U_{21}),$$

где FEXT (или a_1) — переходное затухание на дальнем конце, дБ; U_{21} — напряжение на дальнем от генератора конце подверженной влиянию линии.

NEXT снижается с ростом линии, приходя к некоему стабильному значению. Это связано с тем, что влияющие токи уменьшаются по амплитуде по длине кабеля, и, следовательно, их вклад в общую картину наводок становится все меньше и меньше и значение NEXT стабилизируется. Иная картина наблюдается с FEXT, где имеется явно выраженный минимум переходного затухания при определенной длине линии, а затем оно растет с длиной линии.

Защищенность (ACR). Под защищенностью (в англоязычной литературе ACR – *Attenuation / Crosstalk Ratio*) понимают разность между уровнем полезного сигнала p_c в точке приема и переходной помехи $p_{пп}$ в этой же точке кабеля:

$$ACR=10\lg(P_c/P_{пп}) = p_c - p_{пп}.$$

Так как уровень сигнала в точке приема p_c меньше уровня передачи $p_{пд}$ на величину затухания линии α , т.е. $p_c = p_{пд} - \alpha$, а уровень переходной помехи $p_{пп} = p_{пд} - NEXT$, то нетрудно убедиться, что $ACR=NEXT - \alpha$.

Считается, что тракт передачи, включающий кабель, разъемы, коммутационные шнуры, т.е. весь путь передачи сигнала целиком, обеспечивает устойчивую полнодуплексную работу любого приложения с такой верхней граничной частотой, на которой параметр ACR составляет не менее 10 дБ.

В таблице 2.2 в качестве примера приведены электрические параметры телекоммуникационного кабеля 5-й категории.

Таблица 2.2 – Электрические параметры витой пары кабеля категории 5

Параметр	Размерность	Значение параметра
Сопротивление жил	[Ом /100 м]	Мах. 9.38
Асимметрия жил	[%]	Мах. 5
Емкость цепи	[нФ/100 м]	Мах. 5.6
Волновое сопротивление (в полосе 1-100 МГц)	[Ом]	100±15

2.3. Параметры оптических соединений

К оптическим параметрам относятся **вносимое затухание** и **величина обратного отражения**. Затуханием разъёмного оптического соединителя называются потери оптической мощности, которые вносятся им в волоконно-оптическую линию связи. Потери включения (А), которые возникают при прохождении оптическим сигналом разъёмного соединения, рассчитываются по следующей формуле:

$$A = -10 \lg (P_1/P_2),$$

где P_1 – значение оптической мощности после разъёмного оптического соединителя; P_2 – величина оптической мощности до разъема.

Для наиболее распространённых типов соединителей с физическим контактом оптических волокон типичное среднее значение вносимого затухания составляет до 0,2 дБ, а максимальное до 0,4 дБ.

Другим важнейшим оптическим параметром является величина **обратного отражения**, которое особенно велико в случае, если торцы волокон в разъёмном соединении разделены воздушным зазором. Тогда оптический сигнал отражается от торца ОВ вследствие разности показателей преломления сердечника ОВ и воздуха. Этот параметр особенно важен для ВОЛС, в которых источником излучения является лазерный диод, так как отражённый сигнал может привести к смещению центральной спектральной линии источника излучения, на которой нормированы его характеристики. Продолжительное воздействие отражённого сигнала в процессе эксплуатации ВОЛС приводит к уменьшению срока службы источника излучения. Кроме того, из-за влияния отражённого сигнала может увеличиться коэффициент ошибок при передаче.

Величина обратного отражения (RL) определяется по формуле:

$$RL = 10 \lg (P_1/P_2),$$

где P_1 – величина оптической мощности, отражённой разъёмным оптическим соединителем; P_2 – значение оптической мощности на входе соединителя.

Существенное влияние на передачу сигналов оказывают характеристики линий и каналов связи. Существуют несколько характеристик каналов связи.

Амплитудная характеристика представляет собой зависимость уровня передачи на выходе канала или его остаточного затухания от величины уровня на входе при фиксированной частоте сигнала. Так, например, для каналов тональной частоты эта зависимость определяется на частоте 800 Гц.

Качество передачи дискретных сигналов зависит от частотных характеристик канала и тем в большей степени, чем выше скорость передачи. К частотным характеристикам канала относятся **амплитудно-частотная (АЧХ) и фазо-частотная (ФЧХ)**.

АЧХ представляет собой зависимость амплитуды (или уровня) сигнала на выходе канала от частоты сигнала при неизменной амплитуде сигнала на его входе. Частотная характеристика и допустимые пределы отклонений задаются таблично, либо графически в виде так называемого шаблона.

Для реальных каналов частотная характеристика затухания за счет влияния соединительных линий может существенно отклоняться от допустимых пределов. Неравномерность затухания сигнала на различных частотах искажает амплитудные соотношения спектра передаваемого сигнала, в связи с чем изменяется форма импульса на выходе канала, что затрудняет или делает невозможным их прием. Для уменьшения искажений передаваемых сигналов вводят коррекцию АЧХ канала включением амплитудных корректоров (выравнивателей).

В связи с тем, что любой сигнал данных в частотной области представляет собой совокупность гармонических составляющих, то при прохождении сигнала по каналу с неравномерной характеристикой спектральные составляющие

сигнала ослабляются по разному. Поэтому сигнал на выходе канала изменяет свою форму, которая тем сильнее отличается от первоначальной, чем больше неравномерность АЧХ.

Фазочастотная характеристика канала $\Delta\varphi(f)$ представляет собой зависимость сдвига начальной фазы сигнала $\Delta\varphi$ на выходе канала по отношению к начальной фазе сигнала на входе от частоты при постоянной амплитуде сигнала на входе. Так как фаза сигнала связана с частотой зависимостью $\varphi = \omega t$, то идеальная фазо-частотная характеристика имеет линейный вид. В реальных каналах за счет индуктивности и емкости линии эта зависимость отличается от линейной. Нелинейность ФЧХ приводит к изменениям соотношений между фазами составляющих сигнала, и в конечном итоге к искажению формы сигнала на выходе канала.

На практике оценка фазо-частотных искажений каналов производится на основе анализа **характеристики группового времени прохождения (ГВП)**, которая представляет собой производную ФЧХ по частоте $d\varphi(\omega)/d\omega$ и характеризует зависимость времени прохождения канала от частоты сигнала.

2.4. Искажения сигналов при передаче данных по кабелям связи

Различного рода помехи (шумы), амплитудно-частотные (АЧХ) и фазо-частотные (ФЧХ) характеристики линий связи, изменение уровня и др. называют **первичными** характеристиками линий. Они позволяют выявить характер физических явлений, влияющих на достоверность приёма информации.

Под **вторичными** характеристиками линий связи понимают искажения краев посылок (единичных элементов) сигналов. Эти характеристики позволяют по результатам приёма прямоугольных посылок непосредственно судить о достоверности принимаемой информации.

Причинами искажений единичных элементов являются первичные характеристики линий связи (например, воздействие флуктуационных и импульсных помех, неравномерность АЧХ и ФЧХ).

Краевые искажения – это изменение длительности принятых единичных элементов по отношению к переданным. Целесообразнее пользоваться **относительной** величиной краевых искажений

$$\delta = \theta / \tau_0 * 100\% = (t_{\max} - t_{\min}) / \tau_0 * 100\% = B (t_{\max} - t_{\min}) * 100\%.$$

Здесь B – скорость передачи сигналов в Бодах; t_{\max} и t_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значения смещения характеристических моментов модуляции относительно характеристических моментов восстановления. Как видно из выражения, величина краевых искажений возрастает с увеличением скорости передачи сигналов.

Краевые искажения в свою очередь подразделяются на: преобладания $\delta_{\text{пр}}$, характеристические $\delta_{\text{хар}}$ и случайные $\delta_{\text{сл}}$. Если искажения отдельных посылок

остаются постоянными во времени (по величине и знаку), то их относят к искажениям, называемыми **преобладаниями**.

Особенностью **характеристических** искажений является зависимость их величины от характера передаваемой последовательности. Длительность посылок на выходе при этом меняется в зависимости от вида предыдущих посылок.

Случайные искажения вызываются обычно помехами и являются случайной величиной, меняющейся во времени. В общем случае принимаемые посылки подвержены действию искажений указанных типов одновременно:

$$\delta_{\text{общ}} = \delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{хар}} + \delta_{\text{сл}} .$$

3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из персонального компьютера с установленной программой Proteus, в рабочем окне которой создается исследуемая схема. **Proteus** — это пакет программ, объединяющий в себе две основных программы: **ISIS** — средство разработки и отладки в режиме реального времени электронных схем и **ARES** — средство разработки печатных плат. В данной дисциплине используется только система **ISIS**. Окно программы ISIS с указанием вид необходимых в данной работе компонентов показано на рисунке 3.1.

Выбор необходимых компонентов осуществляется из библиотеки, иконка которой расположена в верхнем меню команд. Измерительные виртуальные приборы, шины питания и сигнальной земли выбираются из меню режимов селектора (вертикальная полоска на левом краю окна).

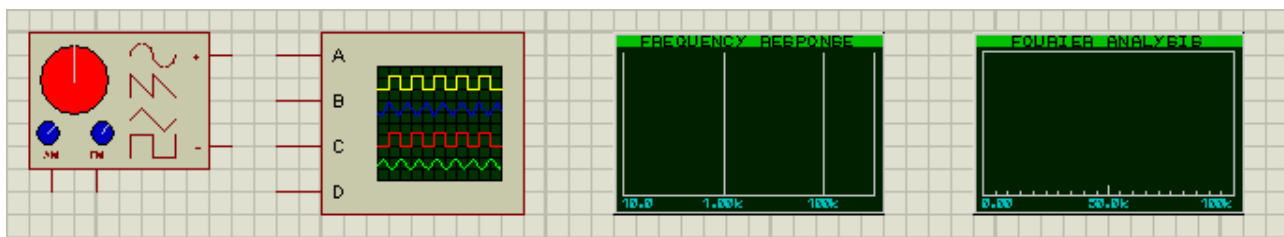


Рисунок 3.1 – Вид виртуальных инструментов, необходимых для измерения параметров и характеристик сигналов и линий связи

В качестве источника сигналов используется сигнальный генератор VSM Signal Generator, находящийся в вертикальной линейке инструментов, расположенной слева рабочего окна. Для измерения амплитуды и временных параметров сигналов следует использовать электронный осциллограф, расположенный там же, где и сигнальный генератор. Измерение частотных характеристик может осуществляться как с помощью осциллографа, так и частотного анализатора Frequency Responce. Для анализа спектральных характеристик сигналов

применяется анализатор спектра Fourier Analysis. Оба этих виртуальных инструмента располагаются в группе инструментов GRAPHs на левой вертикальной линейке.

Остальные компоненты (R , L , C) выбираются из библиотеки пассивных и активных компонентов, расположенной в верхней строке меню.

4. Программа и методика исследования

4.1. Изучить параметры и характеристики проводных и оптических линий связи (выполняется в процессе домашней подготовки).

4.2. Создать эквивалентную модель симметричной двухпроводной линии связи (рисунок 2.11) в среде Proteus с заданными по варианту (см. ПРИЛОЖЕНИЕ А) параметрами.

4.3. Запустить симуляцию заданной модели при использовании 2, 5 и 8 сегментов модели линии связи.

4.4. Измерить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) и фазо-частотную характеристику (ФЧХ) для 1, 5 и 8 сегментов и полосу пропускания для различных длин сегментов.

4.5. Оформить результаты в виде таблиц и графиков.

4.6. Сделать выводы по работе.

4.7. Составить отчет.

Для создания модели эквивалентной линии связи потребуются: резисторы, катушки индуктивности и конденсаторы. Измерения параметров и характеристик линии связи осуществляется с помощью виртуальных приборов: осциллографа, вольтметра переменного тока (АС), генератора сигналов. Для подключения измерительных приборов к симметричной линии понадобится симметрирующий трансформатор. Компоненты Proteus представлены в таблице А.2 приложения А.

Затем следует задать длину линии в километрах. Для этого нужно взять увеличенную на 1 последнюю цифру номера своей зачетной книжки и умножить на 2. После этого для каждого сегмента модели требуется посчитать значения:

$$R = R_{\Pi} * l/n,$$

$$L = L_{\Pi} * l/n,$$

$$C = C_{\Pi} * l/n,$$

где R_{Π} , L_{Π} , C_{Π} – погонные значения, данные по варианту;

n – количество сегментов.

По заданию данной лабораторной работы их будет 1, 5 и 8.

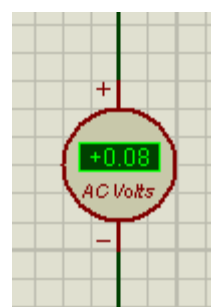
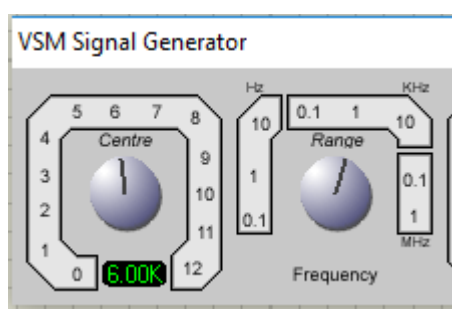
Далее требуется создать схемы с 1, 5 и 8 сегментами (см. рисунки А.1-А.3 ПРИЛОЖЕНИЕ А).

После для каждой схемы целесообразно создать таблицу, где будут записываться результаты измерений (см. Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Пример вида таблиц

Частота (Гц)	Напряжение (V)	Сдвиг во времени Δt	Сдвиг по фазе $\Delta \phi$

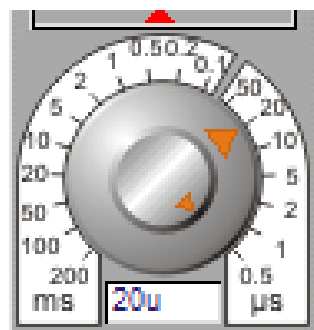
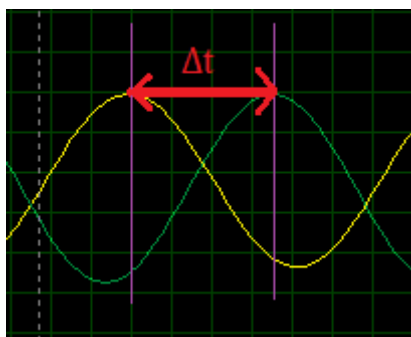
После требуется записать в таблицы по 10-15 значений **частоты (f)**, отсчитанные по положению ручек управления генератора (рисунок 4.1) и соответствующие ей значения **вольтметра** (рисунок 4.2). При частотах сигналов выше 10кГц напряжение на выходе линии связи следует измерять осциллографом.



Рисунки 4.1 и 4.2 – Вид виртуальных генератора и вольтметра

В таблицу нужно также занести показания смещения выходного сигнала по отношению ко входному Δt , которое измеряется с помощью осциллографа (рисунки 4.3 и 4.4).

Чтобы посчитать Δt потребуется определить расстояние от вершины одной синусоиды до ближайшей вершины другой синусоиды. Сделать это можно, посчитав количество клеток между вершинами, а также зная, сколько секунд содержит каждая клетка осциллографа (рисунки 4.3 и 4.4)



Рисунки 4.3 и 4.4 – Пример подсчета Δt

Полученные данные заносятся в таблицы. Пересчет временного сдвига в фазовый угол осуществляется ФЧХ по одной из следующих формул.

$$\Delta\varphi = f \cdot \Delta t \cdot 360^\circ \text{ или } \Delta\varphi = f \cdot \Delta t \cdot 2\pi.$$

После занесения данных в таблицу требуется построить графики АЧХ и ФЧХ для всех трех схем.

АЧХ и ФЧХ линии связи может получена также с помощью анализатора частотных характеристик FREQUENCY, находящегося в группе виртуальных приборов GRAPHS. Вид схемы замещения линии связи с анализатором АЧХ и ФЧХ показан на рисунке 4.5. Для снятия частотных характеристик следует на вход исследуемой схемы подключить генератор синусоидальных колебаний, а на выход – щуп вольтметра (он находится на левой колонке виртуальных инструментов). Затем последовательно перетянуть щуп с помощью ЛКМ на левую и правую оси ординат анализатора и нажать клавишу «пробел». После этого в окне анализатора будут прорисованы АЧХ (зеленый цвет) и ФЧХ (красный цвет) исследуемой цепи.

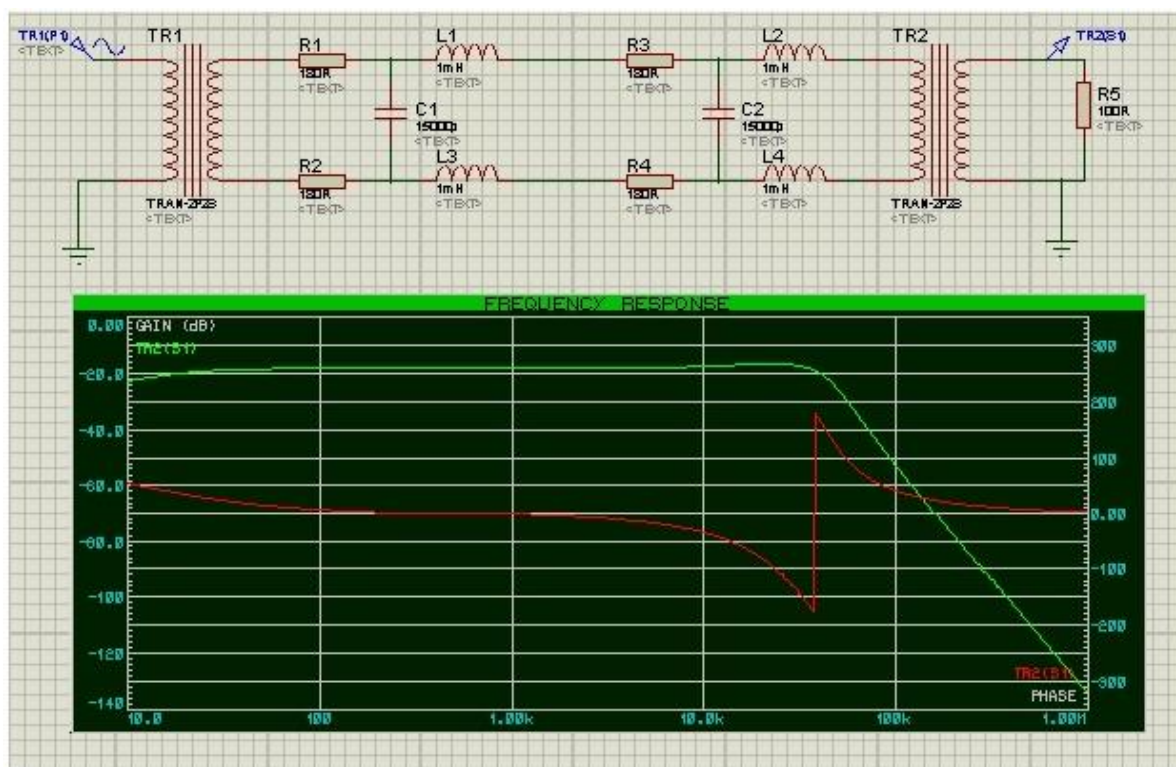


Рисунок 4.5 – Вид окна при снятии АЧХ и ФЧХ линии связи

Более подробно об измерении АЧХ и ФЧХ четырехполюсников описано в [3] на стр. 123.

5. Содержание отчета

- 5.1. Схемы экспериментальных установок с 1, 5 и 8 сегментами.
- 5.2. Данные вычислений индуктивности, сопротивления и емкости для каждой схемы.
- 5.3. Таблицы с записанными значениями (по 10-15 значений).
- 5.4. Графики АЧХ и ФЧХ для каждой схемы.
- 5.5. Ширина полосы пропускания для различных участков линии.
- 5.6. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Дайте определения линии и кабеля связи, нарисуйте эквивалентную симметричной линии и охарактеризуйте основные параметры линии связи.
- 6.2. Приведите примеры различных кабелей связи для компьютерных сетей, называя их тип, категорию, параметры и область применения.
- 6.3. Зачем производится скрутка проводов кабеля? Покажите на образцах кабель парной и звездной скрутки.
- 6.4. Чем отличается симметричный кабель от несимметричного и в каких единицах измеряется несимметричность?
- 6.5. В чем отличие подключения к сетевой карте компьютера толстого и тонкого кабеля?
- 6.6. В каких случаях для построения локальной сети используется толстый, а в каких тонкий кабель?
- 6.7. Что такое «трансивер», каковы его функции и место расположения в сети для различных типов кабелей?
- 6.8. Что произойдет с передаваемыми сигналами, если один из концов кабеля будет «висеть» в воздухе?
- 6.9. Для каких целей используется терминатор и баррел-коннектор и как они устроены?
- 6.10. Что такое BNC-коннектор, расшифруйте и поясните его мнемонику и покажите на практике его использование.
- 6.11. Почему UTP-кабель, имеющий защитный общий экран из фольги называют неэкранированным?
- 6.12. С какой целью свивают жилы симметричного кабеля и как шаг скрутки влияет на качество кабеля?
- 6.13. Поясните обозначение AWG 23, применяемого для маркировки витых пар.
- 6.14. Расскажите об устройстве оптических кабелей и проведите сравнительную характеристику одномодовых и многомодовых кабелей.
- 6.15. Расскажите о проблемах соединения оптических кабелей, параметрах соединителей и способах уменьшения переходного затухания.

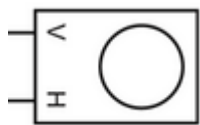
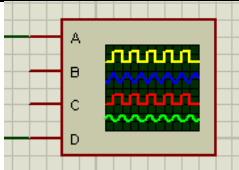

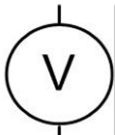
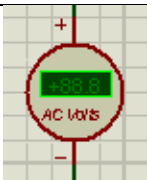

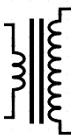
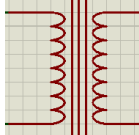
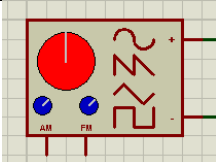






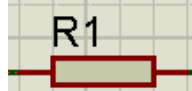



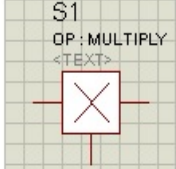
- 6.16. От чего в электрических кабелях возникают переходные помехи и как их можно уменьшить?
- 6.17. Охарактеризуйте виды сигналов, передаваемых по электрическим и оптическим кабельным линиям связи, и обоснуйте требования к ним.
- 6.18. Зачем для передачи данных по линиям связи используются сигналы постоянного тока без постоянной составляющей, и каким способом она устраняется?
- 6.19. Как экспериментально определить максимально допустимую скорость передачи данных по кабельной линии?
- 6.20. Как определить полосу пропускания линии связи по АЧХ?

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 - Варианты заданий к лабораторной работе №2

ВАРИАНТ	ПОГОННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ		
	Емкость (Сп) нФ/км	Индуктивность (Lп) мкГн/км	Сопротивление (Rп) Ом/км
1	50	125	100
2	60	150	110
3	70	175	120
4	80	200	130
5	90	225	140
6	100	250	150
7	60	150	160
8	70	175	170
9	80	200	180
10	90	225	190
11	100	250	200
12	110	275	210
13	120	300	220
14	70	175	230
15	80	200	240
16	90	225	250
17	100	250	100
18	110	275	110
19	120	300	120
20	130	325	130
21	80	200	140
22	90	225	150
23	100	250	160
24	110	275	170
25	120	300	180

Таблица А.2 – Вид наиболее часто используемых элементов

Название	Схема в Proteus	Вид в Proteus	Как найти
Осциллограф (Oscilloscope)			Virtual Instruments Mode () → Oscilloscope
АС вольтметр (AC voltmeter)			Virtual Instruments Mode () → AC Voltmeter
Трансформатор			Library → Category: Inductors → Sub-category: Transformers
Генератор сигналов регулируемый			Virtual Instruments Mode () → Signal Generator
Генератор импульсов			Generator Mode → Pulse
Генератор синусоидальных колебаний			Generator Mode → SINE
Катушка индуктивности			Library → Category: Inductors → Sub-category: Fixed Inductors
Резистор			Library → Category: Resistors → Sub-category: Chip resistor 1/10W 1%
Конденсатор			Library → Category: Capaci- tors → Sub-category: Multi- layer Ceramic COG
Элемент задержки			Library → Category: LAPLACE → Sub-category: Laplace Primitives → OP:DELAY
Умножитель сигналов			Library → Category: LAPLACE → Sub-category: Laplace Primitives → OP:MULTIPLY