

**Министерство образования и науки Украины  
Севастопольский национальный технический университет**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ  
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ**

**Методические указания к выполнению лабораторной работы  
по дисциплине “Компьютерные сети”**

**для студентов дневной и заочной формы обучения  
специальности 7.080401**

**“Информационные управляющие системы и технологии”**

**Севастополь  
2005**



УДК 681.326

**Исследование конструкции и электрических параметров кабельных линий связи.** Методические указания / Сост. В.С.Чернега. - Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2005.- 20 с.

Цель указаний: Помочь студентам в изучении конструкции кабельных линий связи, их электрических параметров, измерениях и оценки искажений импульсов при передаче данных по кабелям связи.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине "Компьютерные сети" для студентов дневной и заочной формы обучения

Методические указания рассмотрены и утверждены на методическом семинаре и заседании кафедры информационных систем (протокол № 8 от 24 марта 2005 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент      Бондарев В.Н., канд. техн. наук, профессор, декан факультета  
АВТ

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                              | Стр. |
|--------------------------------------------------------------|------|
| 1. Цель работы                                               | 4    |
| 2. Основные теоретические положения                          | 4    |
| 2.1 Конструкция и параметры кабелей связи компьютерных сетей | 4    |
| 2.1.1 Коаксиальный кабель                                    | 4    |
| 2.1.2 Витая пара                                             | 8    |
| 2.1.3 Оптоволоконный кабель                                  | 10   |
| 2.2 Электрические характеристики кабелей связи               | 11   |
| 2.3 Искажения сигналов при передаче данных по кабелям связи  | 16   |
| 3. Описание лабораторной установки                           | 17   |
| 4. Программа работы                                          | 18   |
| 5. Содержание отчета                                         | 18   |
| 6. Контрольные вопросы                                       | 19   |
| Библиографический список                                     | 20   |

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

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

## 2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В локальных компьютерных сетях (ЛКС) используется в настоящее время три основные группы 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.

Электрические сигналы, отображающие данные, передаются по жиле кабеля, которая выполнена в виде одного провода (сплошная) или пучка проводов. Сплошная жила изготавливается, как правило, 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.

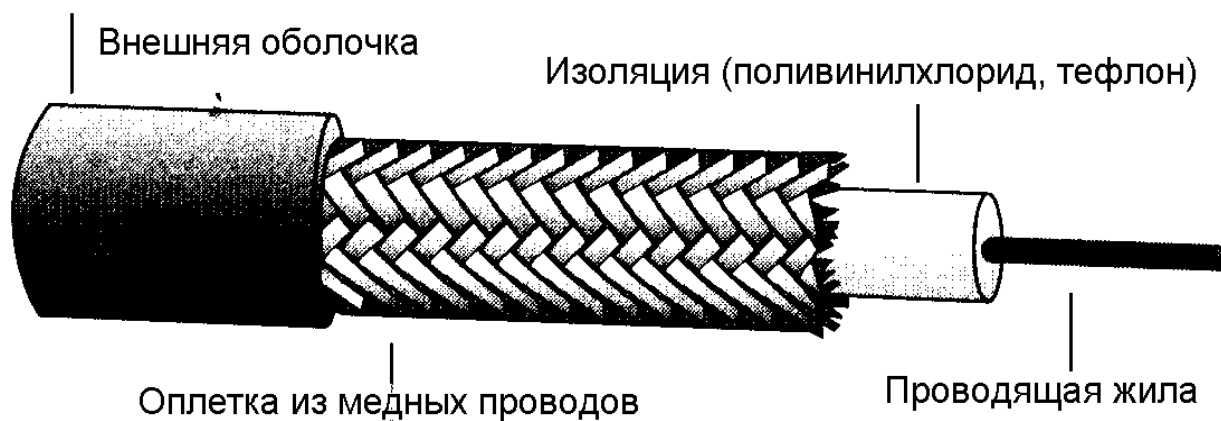


Рисунок 2.1. - Конструкция коаксиального кабеля

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. Он прост в применении и подходит практически для любого типа сети. Подключается непосредственно к платам сетевого адаптера компьютеров. Тонкий коаксиальный кабель, используется в локальных сетях в виде сегментов (отрезков) длиной до 185 м.

Производители кабельного оборудования выработали специальную маркировку для различных типов кабелей. Тонкий коаксиальный кабель относится к группе, которая называется семейством RG-58 (рисунок 2.2.), его волновое сопротивление равно 50 Ом. Основная отличительная особенность

этого семейства - медная жила. Она может быть сплошной или состоять из нескольких переплетенных проводов.



Рисунок 2.2 – Конструкция коаксиальных кабелей RG-58

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.

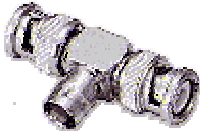
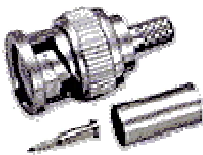
| Изображение                                                                         | Наименование                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|    | Т-коннектор<br>штекер BNC на 2 гнезда BNC     |
|    | штекер BNC на 2 гнезда BNC "Y" типа           |
|    | 2 штекера BNC на гнездо BNC                   |
|   | 3 гнезда BNC                                  |
|  | штекер BNC на 3 гнезда BNC                    |
|  | Гнездо BNC пайка, крепление гайкой блочное    |
|  | Штекер BNC обжимной                           |
|  | Штекер BNC терминатор                         |
|  | Штекер BNC терминатор, пластиковый наконечник |
|  | Штекер BNC терминатор с цепочкой              |

Рисунок 2.3 – Конструкция коннекторов и терминаторов типа BNC

**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.

Чем толще жила у кабеля, тем меньше его сопротивление и тем большее расстояние способен преодолеть 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. Витая пара

Самая простая витая пара (*twisted pair*) — это два перевитых вокруг друг друга изолированных медных провода. Существует два типа тонкого кабеля: неэкранированная (*unshielded*) (UTP) и экранированная (*shielded*) витая пара (STP).

Несколько витых пар часто помещают в одну защитную оболочку. Их количество в таком кабеле может быть разным. Скрутка проводов позволяет улучшить степень симметрии электрических параметров кабеля и тем самым уменьшить электрические помехи, наводимые соседними парами или другими источниками.

Для кабеля на основе витых пар используются медные проводники диаметром 0,64 - 0,51 мм, что соответствует промышленному типу 22 - 24 AWG. В качестве материала изоляции обычно используется полиэтилен, в более редких случаях - композиции из полипропилена и полиэтилена. В случае требований к пожароустойчивости для изоляции используют компози-

ции из тефлона. В кабелях высших категорий применяется изоляция из вспененного полиэтилена, поверх которого наложен слой сплошного полимера. Такой прием позволяет уменьшить общий вес кабеля.

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

Кабель типа «неэкранированная витая пара» представляет собой от 1 до 100 пар медных изолированных проводников, скрученных парами с согласованными шагами для уменьшения взаимного влияния. Наиболее распространены двух- и четырехпарные конструкции 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) 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 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 безгаллогенные компаунды, но это увеличивает стоимость и снижает механические характеристики кабеля. Наиболее распространен серый цвет, однако производятся кабель всех цветов. В случае наружной прокладки используется светостойкий полиэтилен (черного цвета).

Для подключения витой пары к компьютеру используются телефонные модульные коннекторы типа RJ-45. 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.

### 2.1.3. Оптоволоконный кабель

В качестве физической среды распространения сигналов в оптических кабелях используются сверхпрозрачное стекловолокно или волокно, выполненное на базе полимеров. Простейший оптический кабель состоит из светопроводящей (кварцевой) сердцевины диаметром 2-200 мкм, окруженной тонкой полимерной или стеклянной пленкой со значительно меньшим коэффициентом преломления, чем в сердцевине. Этим достигается практически полное внутреннее отражение световых потоков. Снаружи кабель покрывается защитной оболочкой.

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. Каждое оптоволокно передает сигналы только в одном направлении, поэтому кабель состоит из двух волокон с отдельными коннекторами. Для защиты от внешних воздействий кабель имеет общее покрытие из пластика, а для повышения механической прочности внутри кабеля, наряду с оптоволокном, проложены нити из кевлара.

Различают два типа оптических кабелей: многомодовые и одномодовые. По слову «мода» понимают световые лучи внутри кабеля, которые имеют одинаковые углы отражения. В *многомодовых* кабелях распространяются несколько световых лучей, которые попадают на границу раздела оптических свойств и отражаются от нее под различными углами. Лучи, которые распространяются в середине световода (без отражения) имеют моду нулевого порядка, так называемые аксиально-модовые лучи.

*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, которые имеют различное время 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. В связи с этим 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 является независимость от электромагнитных полей. Недостаток - критичность к механическим воздействиям, сложность серийного производства.

Каждое оптоволокно передает сигналы только в одном направлении, поэтому кабель состоит из двух волокон. Одно из них служит для передачи, а другое — для приема.

## 2.2. Электрические характеристики кабелей связи

Электрические свойства проводных линий характеризуются их основными, или первичными параметрами, отнесенными к одному километру длины. Первичными 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  $G$ , [См /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 2.4).

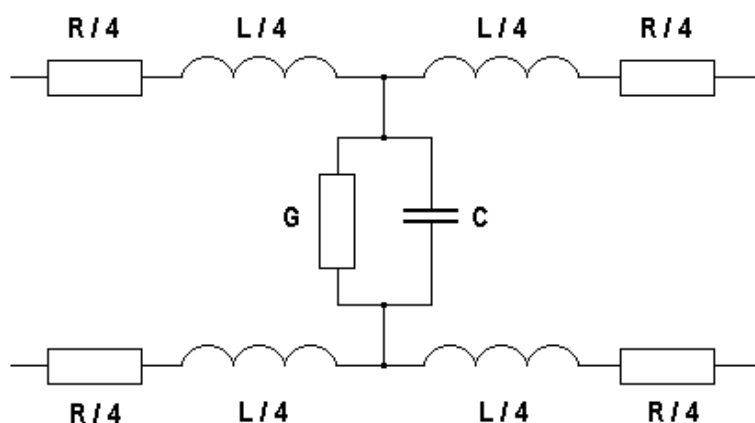


Рисунок 2.4 – Эквивалентная схема участка кабельной линии связи

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

Волновые параметры линии определяются по следующим формулам:

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

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

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

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 воз-

вращается 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 горизонтального 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 определяется по формуле

$$\alpha = 10 \lg(P_I / P_O),$$

где  $\alpha$  - затухание, выраженное в децибелах на км или, чаще, на 100 м.  $P_0$ ,  $P_1$  - мощности сигнала в начале и конце линии, Вт.

**Сопротивление** медной жилы определяется главным образом сечением, т.к. 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 проводнике. В результате такого взаимодействия происходит перераспределение плотности тока во втором проводнике, при этом она увеличивается на взаимнообращенных 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 протекаемого тока. Суммарное действие этих эффектов приводит к увеличению сопротивления жилы с ростом частоты. В случае многопроволочно-

го проводника сопротивление дополнительно увеличивается за счет того, что вышеупомянутые эффекты наблюдаются в пределах каждой проволоки, и усиливаются тем, что радиус этих проволок 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  $\varepsilon$  - коэффициент диэлектрической проницаемости изоляции,  $D$  и  $d$  – диаметры изоляции и медной жилы соответственно, мм. Как видим, если исключить незначительные изменения  $\varepsilon$  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, Ф;  $\omega$  - угловая частота, рад/с;  $\delta$  - 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, мм;  $d$  – диаметр проводника, мм;  $Q(x)$  – коэффициент учитывающий внутрипроводниковую индуктивность, который уменьшается с ростом частоты, вследствие поверхностного эффекта;  $x$  – параметр, который 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  $t^\circ\text{C}$ , Ом. 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 2.5 схематично показан механизм возникновения переходных помех на ближнем конце и дальнем концах.

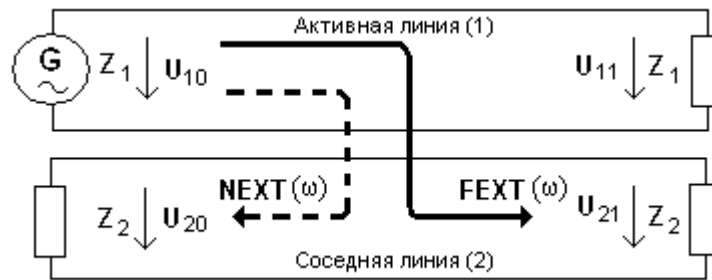


Рисунок 2.5 Возникновение переходных помех на ближнем и дальнем концах линии

Для вычисления NEXT используется отношение излученной мощности сигнала 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, В;  $U_{20}$  - напряжение, на ближнем от генератора концу подверженной влиянию линии, В.

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

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

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 иностранной литературе - ACR - *Attenuation / Crosstalk Ratio*) понимают разность между уровнем полезного сигнала и помехи в данной точке кабеля, или по определению:

$$\text{ACR} = 10 \lg(P_{1l} / P_{2l}).$$

Нетрудно убедиться, что  $ACR=NEXT\text{-}Attenuation$ , то есть  $ACR$  полностью зависит от других характеристик. Считается, что кабель (как, впрочем, разъем, шнур и весь тракт целиком) обеспечивает устойчивую полнодуплексную работу любого приложения с такой верхней граничной частотой, на которой параметр  $ACR$  составляет 10 дБ.

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

Таблица 2. 2 - Электрические характеристики витой пары кабеля категории 5

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

### 2.3. 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 КС (например, воздействие флуктуационных и импульсных помех, неравномерность АЧХ ФЧХ).

Краевые искажения – это изменение длительности принятых единичных элементов по отношению к переданным. Удобнее 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, Бод;  $t_{\max}$  и  $t_{\min}$  - соответственно максимальное и минимальное значения смещения характеристических моментов модуляции относительно характеристических моментов восстановле-

ния, с. Как видно из выражения, величина краевых искажений возрастает с увеличением скорости передачи сигналов.

Краевые искажения в свою очередь подразделяются на: преобладания  $\delta_{пр}$ , характеристические  $\delta_{хар}$  и случайные  $\delta_{сл}$ . Если искажения отдельных посылок остаются постоянными во времени (по величине и знаку), то их относят к искажениям, называемым **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:

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

## 2 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Структурная схема лабораторной установки изображена на рисунке 3.1. В ее состав входят: источник последовательности сигналов типа «точки», двухлучевой осциллограф; милливольтметр; сегменты кабелей связи (два сегмента витой пары и два сегмента коаксиального кабеля), а также терминатор коаксиального кабеля. На стенде имеется возможность соединения сегментов однотипных кабелей последовательно и подключение различных нагрузочных сопротивлений на выход кабеля.

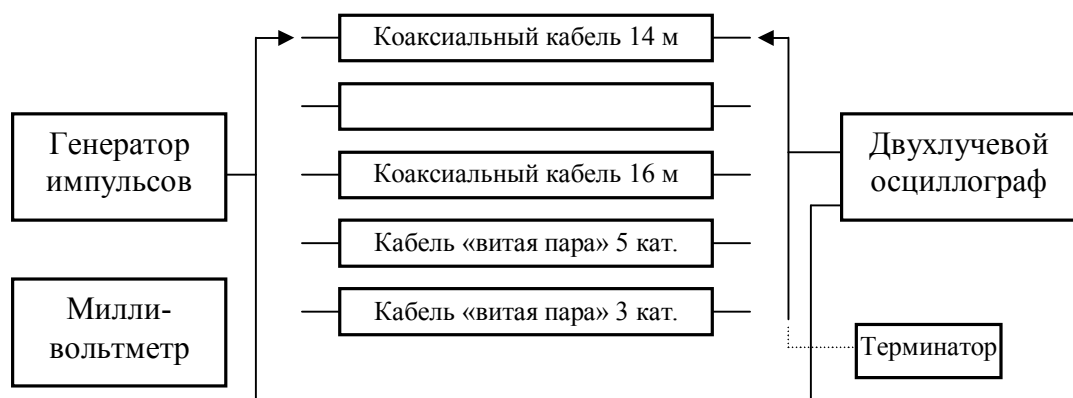


Рисунок 3.1 – Схема лабораторной установкой

#### 4. ПРОГРАММА РАБОТЫ

- 4.1. Изучить конструкции коаксиального и симметричного кабелей связи и устройств их подключения к сетевым картам компьютеров.
- 4.2. Подсоединить к сегменту кабеля источник сигналов и осциллограф.
- 4.3. Определить параметры импульсной последовательности генератора при скорости передачи 0,1- 20 Мбит/с.
- 4.4. Подключить сегмент коаксиального кабеля длиной 14 м с ненагруженным («висящим») выходом к генератору и осциллографу и зарисовать формы импульсов на выходе кабеля для нескольких крайних скоростей передачи сигналов.
- 4.5. Измерить величину краевых искажений импульсов на выходе сегмента на всех скоростях передачи от 0,1 до 20 Мбит/с. При этом считать, что пороговый уровень приемника составляет 0,5 от максимального значения сигнала.
- 4.6. Подключить терминатор на открытый выход сегмента кабеля и зарисовать осциллограммы передаваемых сигналов на скорости передачи 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0 и 20.0 Мбит/с.
- 4.7. Провести измерения краевых искажений по п.4.5.
- 4.8. Увеличить длину сегмента путем подключения дополнительного сегмента длиной 16 м и произвести все измерения по пп. 4.4-4.5.
- 4.9. Повторить измерения составного кабеля по пп.4.4-4.5 при наличии согласованной нагрузки на конце кабеля.
- 4.10. Подключить к генератору сигналов и осциллографу сегмент симметричного кабеля 3 категории и повторить эксперименты в соответствии с пп.4.4-4.9.
- 4.11. Повторить п.4.10 для сегмента симметричного кабеля 3 категории.
- 4.12. Подключить к двум витым парам симметричного кабеля 5 категории нагрузочные резисторы. Подсоединить ко входу первой пары генератор импульсов и установить частоту последовательности 1.0 МГц и амплитуду 1 В. Подключая последовательно милливольтметр ко входу и выходу второй пары, измерить переходные затухания на ближнем и дальнем концах.
- 4.13. Провести измерение переходных затуханий для значений частоты сигнала 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.0, 10.0 МГц и построить зависимость переходных затуханий от частоты.
- 4.14. Повторить пп.4.12-4.13 для кабеля 3-й категории.

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 5.1. Схема экспериментальной установки.

- 5.2. Осциллограммы импульсных последовательностей для всех пунктов измерений.
- 5.3. Графики зависимостей краевых искажений импульсов от скорости передачи, длины и типа кабельной линии при открытом и нагруженном на терминатор выходе кабеля.
- 5.4. Данные измерений переходных затуханий на ближнем и дальнем концах обоих сегментов симметричных кабелей.
- 5.5. Выводы по работе.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение кабеля связи, нарисуйте его эквивалентную схему и охарактеризуйте основные параметры кабельной линии.
2. Приведите примеры различных кабелей связи для компьютерных сетей, называя их тип, категорию, параметры и область применения.
3. Зачем производится скрутка проводов кабеля? Покажите на образцах кабель парной и звездной скрутки.
4. Чем отличается симметричный кабель от несимметричного и в каких единицах измеряется несимметричность?
5. В чем отличие подключения к сетевой карте компьютера толстого и тонкого кабеля?
6. В каких случаях для построения локальной сети используется толстый, а в каких тонкий кабель?
7. Что такое «трансивер», каковы его функции и место расположения в сети для различных типов кабелей?
8. Что произойдет с передаваемыми сигналами, если один из концов кабеля будет «висеть» в воздухе?
9. Для каких целей используется терминатор и баррел-коннектор и как они устроены?
10. Что такое BNC-коннектор, расшифруйте и поясните его мнемонику и покажите на практике его использование.
11. От чего возникают переходные помехи и как их можно уменьшить?
12. Охарактеризуйте виды сигналов, передаваемых по кабельным линиям связи и обоснуйте требования к ним.
13. Зачем для передачи данных по линиям связи используются сигналы постоянного тока без постоянной составляющей и каким способом она устраняется?
14. Как экспериментально определить максимально допустимую скорость передачи данных по кабельной линии?
15. Почему терминатор подключается только при использовании в сети Ethernet коаксиального кабеля, а в Ethernet на витой паре и в Token Ring терминатор не применяется?

16. Как в Ethernet с шинной топологией обнаруживаются коллизии?
17. Как рассчитывается максимальная длина сегмента в тонкой Ethernet?
18. Зачем в сетевой карте сети Ethernet используется преобразователь постоянного напряжения 5В в постоянное 9 В?
19. Почему сетевая карта сети Ethernet подключается к кабелю через трансформатор?
20. Как могут импульсы постоянного тока проходить через трансформатор, если он в принципе не пропускает постоянный ток?

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Галкин В.А. Телекоммуникации и сети: Учебное пособие для вузов / В.А.Галкин, Ю.А. Григорьев.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003.-608 с.
2. Левин Л.С., Цифровые системы передачи информации / Л.С. Левин, М.А. Плоткин. - М.: Радио и связь, 1982.- 216 с.
3. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г.Олифер, Н.А.Олифер. – СПб: Изд-во «Питер», 2000.- 672 с.
4. Столлингс В. Компьютерные системы передачи данных: Пер. с англ. / В.Столлингс.– М.: "Вильямс", 2002. – 928 с.
5. Чернега В.С. Расчет и проектирование технических средств обмена и передачи информации / В.С.Чернега, В.А. Василенко, В.Н. Бондарев.- М.: Высш. шк., 1990. - 224 с.
6. Шварцман В.О. Теория передачи дискретной информации./ В.О.Шварцман, Г.А.. Емельянов. - М.: Связь, 1979.-424с.

Заказ № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2005 г.  
Изд-во СевНТУ

Тираж \_\_\_\_\_ экз.