

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Цель работы: ИЗУЧЕНИЕ ЛИНИЙ СВЯЗИ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ, ИХ ПАРАМЕТРОВ, ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ОСОБЕННОСТЕЙ. ЗНАКОМСТВО С ПРИНЦИПАМИ ТЕСТИРОВАНИЯ И ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ В КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ.

1 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

При построении сетей применяются линии связи, в которых используются различные физические среды: подвешенные в воздухе телефонные и телеграфные провода, проложенные под землей и по дну океана медные коаксиальные и волоконно-оптические кабели, опутывающие все современные офисы медные витые пары, всё проникающие радиоволны.

В данной лабораторной работе рассматриваются как общие характеристики линий связи, не зависящие от их физической природы, такие как полоса пропускания, пропускная способность, помехоустойчивость и достоверность передачи, так особенности присущие конкретной физической среде.

Ширина полосы пропускания является фундаментальной характеристикой канала связи, так как определяет максимально возможную информационную скорость канала, которая называется пропускной способностью канала. Формула Найквиста выражает эту зависимость для идеального канала, а формула Шеннона учитывает наличие в реальном канале шума.

В подавляющем большинстве компьютерных сетей (особенно локальных) используются проводные или кабельные каналы связи, хотя существуют и беспроводные сети, которые сейчас находят все более широкое применение, особенно в портативных компьютерах.

2 ОБЩИЕ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНИЙ СВЯЗИ ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ.

Средой передачи информации называются те линии связи (или каналы связи), по которым производится обмен информацией между компьютерами.

Информация в локальных сетях чаще всего передается в последовательном коде, то есть бит за битом. Такая передача медленнее и сложнее, чем при использовании параллельного кода. Однако надо учитывать то, что при более быстрой параллельной передаче (по нескольким линиям/кабелям одновременно) увеличивается количество соединительных кабелей в число раз, равное количеству разрядов параллельного кода (например, в 8 раз при 8-разрядном коде). При значительных расстояниях между абонентами сети стоимость кабеля вполне сравнима со стоимостью компьютеров и даже может превосходить ее.

Передача на большие расстояния при любом типе кабеля требует сложной передающей и приемной аппаратуры, так как при этом необходимо формировать мощный сигнал на передающем конце и детектировать слабый сигнал на приемном конце. При последовательной передаче для этого требуется всего один

передатчик и один приемник. При параллельной же количество требуемых передатчиков и приемников возрастает пропорционально разрядности используемого параллельного кода.

К тому же при параллельной передаче чрезвычайно важно, чтобы длины отдельных кабелей были точно равны друг другу. Иначе в результате прохождения по кабелям разной длины между сигналами на приемном конце образуется временной сдвиг, который может привести к сбоям в работе или даже к полной неработоспособности сети. Например, при скорости передачи 100 Мбит/с и длительности бита 10нс ($10 \cdot 10^{-9}$ сек) этот временной сдвиг не должен превышать 5—10 нс. Такую величину сдвига дает разница в длинах кабелей в 1—2 метра. При длине кабеля 1000 метров это составляет 0,1—0,2%.

Надо отметить, что в некоторых высокоскоростных локальных сетях все-таки используют параллельную передачу по 2—4 линиям, что позволяет при заданной скорости передачи применять более дешевые кабели с меньшей полосой пропускания. Но допустимая длина кабелей при этом не превышает сотни метров. Примером может служить сегмент 100BASE-T4 (кабель витая пара UTP 4cat.) или 1000Base-T (кабель витая пара UTP 5cat.) стандарт Ethernet.

В связи с этим, даже если разрабатывается сеть незначительной длины (порядка десятка метров) чаще всего выбирают последовательную передачу.

Каждый тип кабеля имеет свои преимущества и недостатки, так что при выборе надо учитывать как особенности решаемой задачи, так и особенности конкретной сети, в том числе и используемую топологию.

Электромагнитные характеристики линий и каналов связи определены международными европейскими стандартами.

В настоящее время действуют следующие стандарты на кабели:

- EIA/TIA 568 (Commercial Building Telecommunications Cabling Standard) – американский;
- ISO/IEC IS 11801 (Generic cabling for customer premises) – международный;
- CENELEC EN 50173 (Generic cabling systems) – европейский.

Эти стандарты описывают практически одинаковые кабельные системы, но отличаются терминологией и нормами на параметры. В данной работе предлагается придерживаться терминологии стандарта EIA/TIA 568 и ISO/IEC IS 11801.

Характеристики линий и каналов связи зависят от конструктивных особенностей, качества применяемых материалов, технологии изготовления, воздействия внешних факторов, частоты, скорости и минимальной длительности передаваемых сигналов. По ширине полосы пропускаемых частот каналы и линии подразделяются на *классы*:

- класс А — 0,1 МГц;
- класс В — 1,0 МГц;
- класс С - 16,0 МГц;
- класс D- 100,0 МГц;
- класс Е - 250,0 МГц;
- класс F - 600,0 МГц.

Весь тракт физической среды от источника сигналов до приемника, состоит из активного оборудования и пассивного. К активному оборудованию относятся: концентраторы, коммутаторы, маршрутизаторы, медиаконверторы, сервера, рабочие станции. Пассивное оборудование состоит из следующих компонентов: кабели, коннекторы, вилки, гнезда, коммутационные Patch's панели, телекоммуникационные шкафы, кабель каналы, коробка и пр. Полностью смонтированная система, состоящая из пассивного оборудования, и выполненная по определенным правилам и стандартам называется «Структурированная Кабельная Система» - СКС.

Непосредственно компоненты, из которых создается СКС (кабели, коннекторы, вилки, гнезда и т. п.) классифицируются в выше указанных международных стандартах ISO/IEC и TIA/EIA-568 по категориям. Критерием отнесения компонента к категории является также ширина полосы пропускаемых им частот:

- категория 1 0,1 МГц;
- категория 2 1,0 МГц;
- категория 3 16 МГц;
- категория 4 20 МГц;
- категория 5 100 МГц;
- категория 6 250 МГц;
- категория 7 600 МГц

Категории 1, 2 стандартом ISO/IEC 11801 не рассматриваются.

Можно выделить следующие основные параметры кабелей, принципиально важные для использования в локальных сетях:

1. **Затухание (*attenuation*)** определяется как относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по линии сигнала определенной частоты. Часто при эксплуатации линии заранее известна основная частота передаваемого сигнала, то есть та частота, гармоника которой имеет наибольшую амплитуду и мощность. Поэтому достаточно знать затухание на этой частоте, чтобы приблизительно оценить искажения передаваемых по линии сигналов. Более точные оценки возможны при знании затухания на нескольких частотах или в полосе частот, охватывающих несколько основных гармоник передаваемого сигнала. Затухание A обычно измеряется в децибелах (дБ, decibel - dB) и вычисляется по следующей формуле:

$$A = 10 \log_{10} P_{out} / P_{in}, \quad (4.1.)$$

где P_{out} - мощность сигнала на выходе линии, P_{in} - мощность сигнала на входе линии.

Так как мощность выходного сигнала кабеля без промежуточных усилителей всегда меньше, чем мощность входного сигнала, затухание кабеля всегда является отрицательной величиной. Например, кабель витой

пары категории 5 характеризуется затуханием не ниже -23,6 дБ для частоты 100 МГц при длине кабеля 100 м

2. **Амплитудно-частотная характеристика** (рис. 4.1.) показывает, как затухает амплитуда синусоиды на выходе линии связи по сравнению с амплитудой на ее входе для всех возможных частот передаваемого сигнала. Вместо амплитуды в этой характеристике используют такой параметр сигнала, как затухание (см. формулу 4.1.). Знание амплитудно-частотной характеристики реальной линии позволяет определить форму выходного сигнала практически для любого входного сигнала. Для этого необходимо найти спектр входного сигнала, преобразовать амплитуду составляющих его гармоник в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой, а затем найти форму выходного сигнала, сложив преобразованные гармоники. С ростом частоты сигнала растет затухание сигнала. Надо выбирать кабель, который на заданной частоте сигнала имеет приемлемое затухание. Или же надо выбирать частоту сигнала, на которой затухание еще приемлемо.

3. **Помехозащищенность кабеля** и обеспечиваемая им секретность передачи информации. Эти два взаимосвязанных параметра показывают, как кабель взаимодействует с окружающей средой, то есть, как он реагирует на внешние помехи, и насколько просто прослушать информацию, передаваемую по кабелю.

4. **Полоса пропускания (bandwidth)** - это непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала к входному превышает некоторый заранее заданный предел, обычно 0,5. То есть полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи без значительных искажений. Знание полосы пропускания позволяет получить с некоторой степенью приближения тот же результат, что и знание амплитудно-частотной характеристики. Ширина полосы пропускания в наибольшей степени влияет на максимально возможную скорость передачи информации по линии связи.

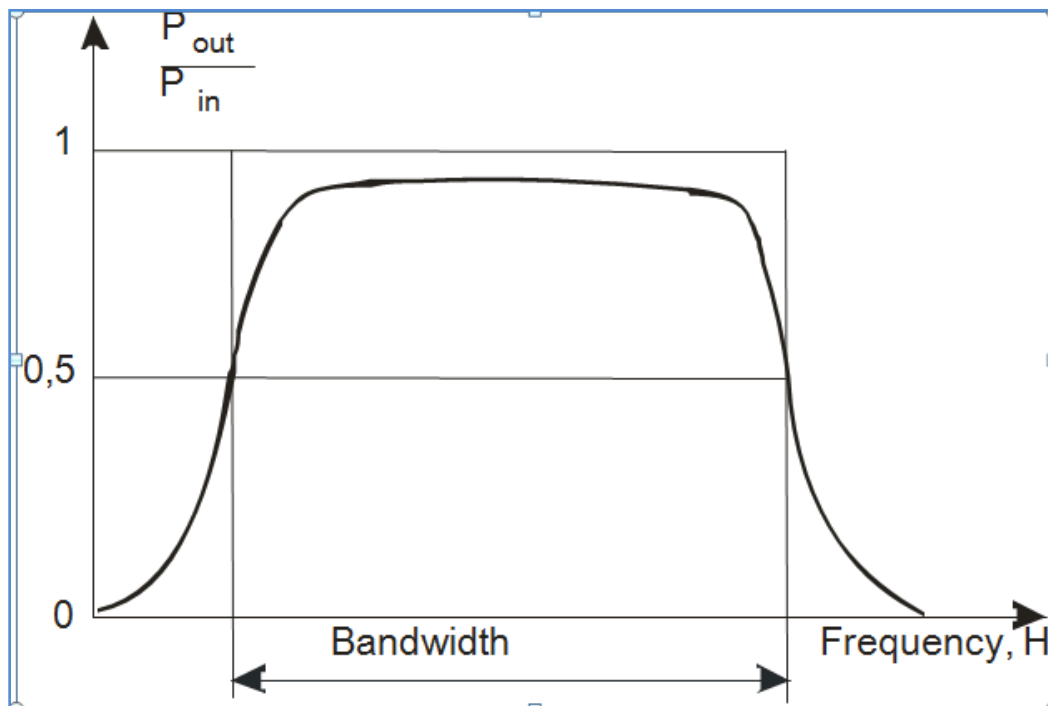


Рис 4.1. Амплитудно-частотная характеристика и полоса пропускания линии (канала) связи.

5. **Пропускная способность линии** (*throughput*) характеризует максимально возможную скорость передачи данных, которая может быть достигнута на этой линии. Особенностью пропускной способности является то, что, с одной стороны, эта характеристика зависит от параметров физической среды, а с другой — определяется способом передачи данных. Следовательно, говорить о пропускной способности линии связи следует после того, когда определен протокол физического уровня.

Пропускная способность линий связи и коммуникационного сетевого оборудования измеряется в битах в секунду, а не в байтах в секунду. Это связано с тем, что данные в сетях передаются последовательно, то есть побитно, а не параллельно, байтами, как это происходит между устройствами внутри компьютера.

Такие единицы измерения, как килобит, мегабит или гигабит, в сетевых технологиях строго соответствуют степеням 10 (то есть килобит - это 1000 бит, а мегабит - это 1 000 000 бит), как это принято во всех отраслях науки и техники, а не близким к этим числам степеням 2, как это принято в программировании, где приставка «кило» равна $2^{10} = 1024$, а «мега» - $2^{20} = 1 048 576$.

Пропускная способность линий тесно связана с полосой пропускания. Эту связь ещё в 1924г. установил американский ученый Х. Найквист (Н. Nyquist) из компании AT&T на основании теоремы Котельникова о дискретизации сигналов.

Найквист доказал, что если сигнал имеет M - количество различных состояний информационного параметра, F - полоса пропускания в герцах, то (пропускная способность линий)

$$C = 2 * F * \log_2 M \quad (4.2)$$

Формула Х. Найквиста применима для идеального канала (линии) связи.

В реальных каналах и линиях связи на пропускную способность влияют соотношение уровня полезного сигнала и уровня помех.

Связь между полосой пропускания линии и ее пропускной способностью вне зависимости от принятого способа физического кодирования установил Клод Шеннон:

$$C = F \cdot \log_2(1 + P_c/P_{ш}) \quad (4.3)$$

Здесь C — пропускная способность линии в битах в секунду. F - ширина полосы пропускания линии в герцах, P_c — мощность сигнала, $P_{ш}$ — мощность шума.

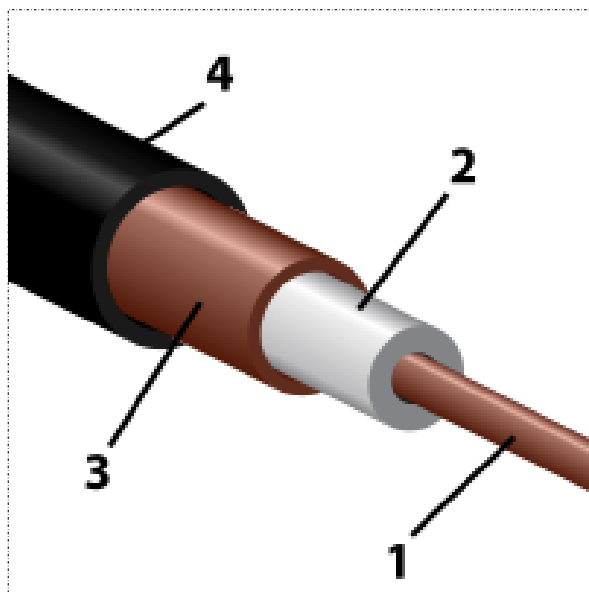
6. **СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА ПО КАБЕЛЮ** или обратный параметр — задержка сигнала на метр длины кабеля. Этот параметр не связан с пропускной способностью линии (полосой пропускания), а отражает свойства среды передачи (медь, оптоволокно, радиоволны). В данном случае этот параметр имеет принципиальное значение при выборе длины сети. Типичные величины скорости распространения сигнала — от 0,6 до 0,8 от скорости распространения света в вакууме. Соответственно типичные величины задержек — от 4 до 5 нс/м.

7. Для электрических кабелей очень важна **величина волнового сопротивления** кабеля. Волновое сопротивление важно учитывать при согласовании кабеля для предотвращения отражения сигнала от концов кабеля. Волновое сопротивление зависит от формы и взаиморасположения проводников, от технологии изготовления и материала диэлектрика кабеля. Типичные значения волнового сопротивления — от 50 до 150 Ом.

3 ТИПЫ ЛИНИЙ СВЯЗИ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ.

3.1 КОАКСИАЛЬНЫЕ КАБЕЛИ

Коаксиальный кабель представляет собой электрический кабель, состоящий из центрального медного провода и металлической оплетки (экрана), разделенных между собой слоем диэлектрика (внутренней изоляции) и помещенных в общую внешнюю оболочку (рис. 4.2).



Коаксиальный кабель до недавнего времени был очень популярен, что связано с его высокой помехозащищенностью (благодаря металлической оплетке), более широкими, чем в случае витой пары, полосами пропускания (10 ГГц и выше), а также большими допустимыми расстояниями передачи (до километра).

Рис. 4.2. Коаксиальный кабель

1. внутренний проводник (медная проволока),
2. изоляция (сплошной полиэтилен),
3. внешний проводник (оплётка из меди),

4. оболочка (свето- стабилизированный полиэтилен).

К нему труднее механически подключиться для несанкционированного прослушивания сети, он дает также заметно меньше электромагнитных излучений вовне, а также более устойчив к внешним источникам помех. Однако монтаж и ремонт коаксиального кабеля существенно сложнее, чем витой пары. Сейчас его применяют реже, чем витую пару. Стандарт EIA/TIA-568 включает в себя только один тип коаксиального кабеля, применяемый в сети Ethernet.

Основное применение коаксиальный кабель находит в сетях с топологией типа шина. При этом на концах кабеля обязательно должны устанавливаться терминаторы для предотвращения внутренних отражений сигнала, причем один (и только один!) из терминаторов должен быть заземлен. Без заземления металлическая оплетка не защищает сеть от внешних электромагнитных помех и не снижает излучение передаваемой по сети информации во внешнюю среду. Но при заземлении оплетки в двух или более точках из строя может выйти не только сетевое оборудование, но и компьютеры, подключенные к сети. Терминаторы должны быть обязательно согласованы с кабелем, необходимо, чтобы их сопротивление равнялось волновому сопротивлению кабеля. Например, если используется 50-омный кабель, для него подходят только 50-омные терминаторы.

Реже коаксиальные кабели применяются в сетях с топологией звезда (например, пассивная звезда в сети Arcnet). В этом случае проблема согласования существенно упрощается, так как внешних терминаторов на свободных концах не требуется.

Волновое сопротивление кабеля указывается в сопроводительной документации. Чаще всего в локальных сетях применяются 50-омные (RG-58, RG-11, RG-8). Распространенные в телевизионной технике 75-омные кабели в локальных сетях не используются. Марок коаксиального кабеля немного. Он не считается особо перспективным. В новых стандартах Ethernet не предусмотрено применение коаксиальных кабелей. Однако во многих случаях классическая шинная топология (а не пассивная звезда) очень удобна. Как уже отмечалось, она не требует применения дополнительных устройств – концентраторов.

Существует два основных типа коаксиального кабеля:

- тонкий (thin) кабель, имеющий диаметр около 0,5-0,6 см, более гибкий;
- толстый (thick) кабель, диаметром около 1,2 см, значительно более жесткий. Он представляет собой классический вариант коаксиального кабеля, который уже почти полностью вытеснен современным тонким кабелем.

Толстый (thick) коаксиальный кабель называют «стандартный Ethernet», поскольку он был первым типом кабеля, применяемым в Ethernet. Медная жила этого кабеля толще, чем у тонкого коаксиального кабеля, поэтому затухание сигнала меньше. Толстый коаксиальный кабель передает сигналы дальше, чем тонкий, - до 500 м (около 1640 футов). Поэтому толстый коаксиальный кабель иногда используют в качестве основного кабеля магистрали (back-bone), который соединяет несколько небольших сетей, построенных на тонком коаксиальном кабеле. Для подключения к толстому коаксиальному кабелю применяют специальное устройство - трансивер (transceiver).

Тонкий (thin) коаксиальный кабель способен передавать сигнал на расстояние до 185 м (около 607 футов) без его заметного искажения, вызванного затуханием. Производители оборудования выработали специальную маркировку для различных типов кабелей. Тонкий коаксиальный кабель относится к группе, которая называется семейством RG-58, его волновое сопротивление равно 50 Ом.

Зато с тонким кабелем гораздо удобнее работать: его можно оперативно проложить к каждому компьютеру, а толстый требует жесткой фиксации на стене помещения. Подключение к тонкому кабелю (с помощью разъемов BNC байонетного типа) проще и не требует дополнительного оборудования. А для подключения к толстому кабелю надо использовать специальные довольно дорогие устройства, прокалывающие его оболочки и устанавливающие контакт как с центральной жилой, так и с экраном. Толстый кабель примерно вдвое дороже, чем тонкий, поэтому тонкий кабель применяется гораздо чаще.

Типичные величины задержки распространения сигнала в коаксиальном кабеле составляют для тонкого кабеля около 5 нс/м, а для толстого – около 4,5 нс/м.

В настоящее время считается, что коаксиальный кабель устарел, в большинстве случаев его вполне может заменить витая пара или оптоволоконный кабель. И новые стандарты Ethernet на кабельные системы уже не включают его в перечень типов кабелей.

3.2 **Оптоволоконный (он же волоконно–оптический) кабель**

Это принципиально иной тип кабеля по сравнению с рассмотренными двумя типами электрического или медного кабеля. Информация по нему передается не электрическим сигналом, а световым. Главный его элемент – это прозрачное стекловолокно, по которому свет проходит на огромные расстояния (до десятков километров) с незначительным ослаблением.



Рис. 4.3 – Структура оптоволоконного кабеля

Структура оптоволоконного кабеля очень проста и похожа на структуру коаксиального электрического кабеля. Только вместо центрального медного провода здесь используется тонкое (диаметром около 1 – 10 мкм) стекловолокно, а вместо внутренней изоляции – стеклянная или пластиковая оболочка, не позволяющая свету выходить за пределы стекловолокна. В данном случае речь идет о режиме так называемого полного внутреннего отражения света от границы двух веществ с разными коэффициентами преломления (у стеклянной оболочки коэффициент преломления значительно ниже, чем у центрального волокна). Металлическая оплетка кабеля обычно отсутствует, так как экранирование от

внешних электромагнитных помех здесь не требуется. Однако иногда ее все-таки применяют для механической защиты от окружающей среды (такой кабель иногда называют броневым (бронированным), он может объединять под одной оболочкой несколько оптоволоконных кабелей).

Оптоволоконный кабель обладает исключительными характеристиками по помехозащищенности и секретности передаваемой информации. Никакие внешние электромагнитные помехи в принципе не способны исказить световой сигнал, а сам сигнал не порождает внешних электромагнитных излучений. Подключиться к этому типу кабеля для несанкционированного прослушивания сети практически невозможно, так как при этом нарушается целостность кабеля. Стоимость оптоволоконного кабеля постоянно снижается и сейчас примерно равна стоимости тонкого коаксиального кабеля.

Однако оптоволоконный кабель имеет и некоторые **НЕДОСТАТКИ**:

1. Самый главный из них – высокая сложность монтажа (при установке разъемов необходима микронная точность, от точности скола стекловолокна и степени его полировки сильно зависит затухание в разьеме).

2. Использование оптоволоконного кабеля требует специальных оптических приемников и передатчиков, преобразующих световые сигналы в электрические и обратно, что порой существенно увеличивает стоимость сети в целом.

3. Оптоволоконные кабели допускают разветвление сигналов (для этого производятся специальные пассивные разветвители (couplers) на 2–8 каналов), но, как правило, их используют для передачи данных только в одном направлении между одним передатчиком и одним приемником.

4. Оптоволоконный кабель менее прочен и гибок, чем электрический.

5. Чувствителен оптоволоконный кабель и к ионизирующим излучениям, из-за которых снижается прозрачность стекловолокна, то есть увеличивается затухание сигнала.

6. Применяют оптоволоконный кабель только в сетях с топологией звезда и кольцо. Никаких проблем согласования и заземления в данном случае не существует. Кабель обеспечивает идеальную гальваническую развязку компьютеров сети. В будущем этот тип кабеля, вероятно, вытеснит электрические кабели или, во всяком случае, сильно потеснит их. Запасы меди на планете истощаются, а сырьё для производства стекла более чем достаточно.

Существуют два различных типа оптоволоконного кабеля:

1. *многомодовый* или *мультимодовый кабель*, более дешевый, но менее качественный;

2. *одномодовый кабель*, более дорогой, но имеет лучшие характеристики по сравнению с первым.

Суть различия между этими двумя типами сводится к разным режимам прохождения световых лучей в кабеле.

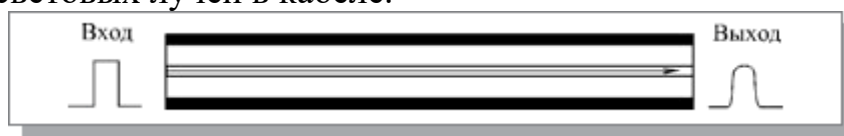


Рис. 4.4.– Распространение света в одномодовом кабеле

В ОДНОМОДОВОМ КАБЕЛЕ практически все лучи проходят один и тот же путь, в результате чего они достигают приемника одновременно, и форма сигнала почти не искажается. Одномодовый кабель имеет диаметр центрального волокна около 1,3 мкм и передает свет только с такой же длиной волны (1,3 мкм). Дисперсия и потери сигнала при этом очень незначительны, что позволяет передавать сигналы на значительно большее расстояние, чем в случае применения многомодового кабеля. Для одномодового кабеля применяются лазерные приемопередатчики, использующие свет исключительно с требуемой длиной волны. Затухание сигнала в одномодовом кабеле составляет около 5 дБ/км и может быть даже снижено до 1 дБ/км.



Рис. 4.5. – Распространение света в многомодовом кабеле

В МНОГОМОДОВОМ КАБЕЛЕ траектории световых лучей имеют заметный разброс, в результате чего форма сигнала на приемном конце кабеля искажается. Центральное волокно имеет диаметр 62,5 мкм, а диаметр внешней оболочки 125 мкм (это иногда обозначается как 62,5/125). Для передачи используется обычный (не лазерный) светодиод, что снижает стоимость и увеличивает срок службы приемопередатчиков по сравнению с одномодовым кабелем. Длина волны света в многомодовом кабеле равна 0,85 мкм, при этом наблюдается разброс длин волн около 30 – 50 нм. Допустимая длина кабеля составляет 2 – 5 км. Многомодовый кабель – это основной тип оптоволоконного кабеля в настоящее время, так как он дешевле и доступнее. Затухание в многомодовом кабеле больше, чем в одномодовом и составляет 5 – 20 дБ/км.

Типичная величина задержки для наиболее распространенных кабелей составляет около 4–5 нс/м, что близко к величине задержки в электрических кабелях.

3.3 БЕСКАБЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ СВЯЗИ

Кроме кабельных каналов в компьютерных сетях иногда используются также **БЕСКАБЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ**. Их главное преимущество состоит в том, что не требуется никакой прокладки проводов (не надо делать отверстий в стенах, закреплять кабель в трубах и желобах, прокладывать его под фальшполами, над подвесными потолками или в вентиляционных шахтах, искать и устранять повреждения). К тому же компьютеры сети можно легко перемещать в пределах комнаты или здания, так как они ни к чему не привязаны.

РАДИОКАНАЛ использует передачу информации по радиоволнам, поэтому теоретически он может обеспечить связь на многие десятки, сотни и даже тысячи километров. Скорость передачи достигает десятков мегабит в секунду (здесь многое зависит от выбранной длины волны и способа кодирования).

Особенность радиоканала состоит в том, что сигнал свободно излучается в эфир, он не замкнут в кабель, поэтому возникают проблемы совместимости с другими источниками радиоволн (радио- и телевещательными станциями, радарными, радиоловительскими и профессиональными передатчиками и т.д.). В

радиоканале используется передача в узком диапазоне частот и модуляция информационным сигналом несущей частоты.

Главным недостатком радиоканала является его плохая защита от прослушивания, так как радиоволны распространяются неконтролируемо. Другой большой недостаток радиоканала – слабая помехозащищенность.



Рис. 4.6 – Объединение компьютеров

Радиоканал широко применяется в глобальных сетях как для наземной, так и для спутниковой связи. В этом применении у радиоканала нет конкурентов, так как радиоволны могут дойти до любой точки земного шара.

ИНФРАКРАСНЫЙ КАНАЛ также не требует соединительных проводов, так как использует для связи инфракрасное излучение (подобно пульту дистанционного управления домашнего телевизора). Главное его преимущество по сравнению с радиоканалом – нечувствительность к электромагнитным помехам, что позволяет применять его, например, в производственных условиях, где всегда много помех от силового оборудования. Правда, в данном случае требуется довольно высокая мощность передачи, чтобы не влияли никакие другие источники теплового (инфракрасного) излучения. Плохо работает инфракрасная связь и в условиях сильной запыленности воздуха.

Скорости передачи информации по инфракрасному каналу обычно не превышают 5–10 Мбит/с, но при использовании инфракрасных лазеров может быть достигнута скорость более 100 Мбит/с. Секретность передаваемой информации, как и в случае радиоканала, не достигается, также, требуются сравнительно дорогие приемники и передатчики.

3.4 КАБЕЛИ НА ОСНОВЕ ВИТЫХ ПАР

Витые пары проводов используются в дешевых и сегодня, пожалуй, самых популярных кабелях. Кабель на основе витых пар представляет собой несколько пар скрученных попарно изолированных медных проводов в единой диэлектрической (пластиковой) оболочке. Он довольно гибкий и удобный для прокладки. Скручивание проводов позволяет свести к минимуму индуктивные наводки кабелей друг на друга и снизить влияние переходных процессов.

Обычно в кабель входит две (рис. 4.7) или четыре витые пары.

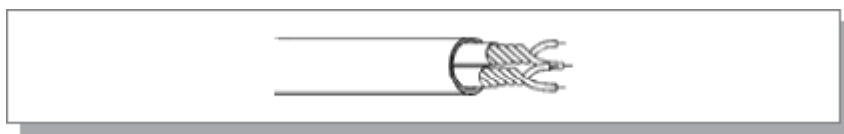


Рис. 4.7. Кабель с витыми парами

Неэкранированные витые пары характеризуются слабой защищенностью от внешних электромагнитных помех, а также от подслушивания, которое может

осуществляться с целью, например, промышленного шпионажа. Причем перехват передаваемой по сети информации возможен как с помощью контактного метода (например, посредством двух иголок, воткнутых в кабель), так и с помощью бесконтактного метода, сводящегося к радиоперехвату излучаемых кабелем электромагнитных полей. Причем действие помех и величина излучения вовне увеличивается с ростом длины кабеля. Для устранения этих недостатков применяется экранирование кабелей.

В случае экранированной витой пары STP каждая из витых пар помещается в металлическую оплетку-экран для уменьшения излучений кабеля, защиты от внешних электромагнитных помех и снижения взаимного влияния пар проводов друг на друга (cross talk – перекрестные наводки). Для того чтобы экран защищал от помех, он должен быть обязательно заземлен. Естественно, экранированная витая пара заметно дороже, чем неэкранированная. Ее использование требует специальных экранированных разъемов. Поэтому встречается она значительно реже, чем неэкранированная витая пара.

Основные достоинства неэкранированных витых пар – простота монтажа разъемов на концах кабеля, а также ремонта любых повреждений по сравнению с другими типами кабеля. Все остальные характеристики у них хуже, чем у других кабелей. Например, при заданной скорости передачи затухание сигнала (уменьшение его уровня по мере прохождения по кабелю) у них больше, чем у коаксиальных кабелей. Если учесть еще низкую помехозащищенность, то понятно, почему линии связи на основе витых пар, как правило, довольно короткие (обычно в пределах 100 метров). В настоящее время витая пара используется для передачи информации на скоростях до 1000 Мбит/с, хотя технические проблемы, возникающие при таких скоростях крайне сложны.

Согласно стандарту EIA/TIA-568, существуют пять основных и две дополнительные категории кабелей на основе неэкранированной витой пары (UTP):

1. Кабель категории 1 – это обычный телефонный кабель (пары проводов не витые), по которому можно передавать только речь. Этот тип кабеля имеет большой разброс параметров (волнового сопротивления, полосы пропускания, перекрестных наводок).

2. Кабель категории 2 – это кабель из витых пар для передачи данных в полосе частот до 1 МГц. Кабель не тестируется на уровень перекрестных наводок. В настоящее время он используется очень редко. Стандарт EIA/TIA 568 не различает кабели категорий 1 и 2.

3. Кабель категории 3 – это кабель для передачи данных в полосе частот до 16 МГц, состоящий из витых пар с девятью витками проводов на метр длины. Кабель тестируется на все параметры и имеет волновое сопротивление 100 Ом. Это самый простой тип кабелей, рекомендованный стандартом для локальных сетей. Еще недавно он был самым распространенным, но сейчас повсеместно вытесняется кабелем категории 5.

4. Кабель категории 4 – это кабель, передающий данные в полосе частот до 20 МГц. Используется редко, так как не слишком заметно отличается от категории 3. Стандартом рекомендуется вместо кабеля категории 3 переходить сразу на кабель категории 5. Кабель категории 4 тестируется на

все параметры и имеет волновое сопротивление 100 Ом. Кабель был создан для работы в сетях по стандарту IEEE 802.5. (Token Ring)

5. Кабель категории 5 – в настоящее время самый распространенный кабель, рассчитанный на передачу данных в полосе частот до 100 МГц. Состоит из витых пар, имеющих не менее 27 витков на метр длины (8 витков на фут). Кабель тестируется на все параметры и имеет волновое сопротивление 100 Ом. Рекомендуется применять его в современных высокоскоростных сетях типа Fast Ethernet и TPFDDI. Кабель категории 5 примерно на 30—50% дороже, чем кабель категории 3.

6. Кабель категории 6 – перспективный тип кабеля для передачи данных в полосе частот до 200 (или 250) МГц. в настоящее время рекомендуется для сетей 1000МГц.

7. Кабель категории 7 – перспективный тип кабеля для передачи данных в полосе частот до 600 МГц.

Согласно стандарту EIA/TIA 568, полное волновое сопротивление наиболее совершенных кабелей категорий 3, 4 и 5 должно составлять $100 \text{ Ом} \pm 15\%$ в частотном диапазоне от 1 МГц до максимальной частоты кабеля. Требования не очень жесткие: величина волнового сопротивления может находиться в диапазоне от 85 до 115 Ом. Здесь же следует отметить, что волновое сопротивление экранированной витой пары STP по стандарту должно быть равным $150 \text{ Ом} \pm 15\%$. Для согласования сопротивлений кабеля и оборудования в случае их несовпадения применяют согласующие трансформаторы (Balun). Существует также экранированная витая пара с волновым сопротивлением 100 Ом, но используется она довольно редко.

Второй важнейший параметр, задаваемый стандартом, – это максимальное затухание сигнала, передаваемого по кабелю, на разных частотах.

Таблица 4.1. Максимальное затухание в кабелях UTP cat.3-5.

Частота, МГц	Максимальное затухание, дБ		
	Категория 3	Категория 4	Категория 5
0,064	2,8	2,3	2,2
0,256	4,0	3,4	3,2
0,512	5,6	4,6	4,5
0,772	6,8	5,7	5,5
1,0	7,8	6,5	6,3
4,0	17	13	13
8,0	26	19	18
10,0	30	22	20
16,0	40	27	25
20,0	—	31	28
25,0	—	—	32
31,25	—	—	36
62,5	—	—	52
100	—	—	67

В таблице 4.1 приведены предельные значения величины затухания в децибелах для кабелей категорий 3, 4 и 5 на расстояние 1000 футов (то есть 305 метров) при нормальной температуре окружающей среды 20°C.

Из таблицы видно, что величины затухания на частотах, близких к предельным, для всех кабелей очень значительны. Даже на небольших расстояниях сигнал ослабляется в десятки и сотни раз, что

предъявляет высокие требования к приемникам сигнала.

Рассмотрим более подробно стандартизированные ISO/IEC 11801 характеристики для кабелей витая пара.

Кабель UTP является многопарным (обычно 4-е пары, реже 2-е пары). Для много парных кабелей важны и стандартизируются также ниже следующие параметры:

3.4.1 ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ ПОЛНОЕ (ВОЛНОВОЕ) СОПРОТИВЛЕНИЕ

Под *волновым* или характеристическим полным *сопротивлением* длинной линии (а в терминах стандарта это — канал или стационарная линия), Z_c (Characteristic impedance), понимается величина, выражаемая соотношением:

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = \sqrt{\frac{r_0 + j\omega L_0}{g_0 + j\omega C_0}} = |Z_0| \times e^{j\theta} \quad (4.4)$$

где Z_0 , Ом/м; Y_0 , См/м — комплексные сопротивление и проводимость линии,

r_0 , Ом/м - суммарное сопротивление прямого и обратного проводников,

L_0 , Гн/м — индуктивность петли прямого и обратного проводников,

g_0 - См/м — проводимость изоляции между проводниками,

C_0 , Ф/м — емкость между проводами,

$|Z_0|$, Ом — модуль характеристического полного сопротивления,

ω , рад/с — круговая частота,

θ — аргумент характеристического полного сопротивления,

j — мнимая единица.

Отметим, что при $\omega \rightarrow 0$, $Z_c \rightarrow \sqrt{\frac{r_0}{g_0}}$, а при $\omega \rightarrow \infty$: $Z_c \rightarrow \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$ (4.5)

В соответствии с требованиями стандарта ISO/IEC 11801 каналы классов D, E и F должны иметь номинальное значение волнового сопротивления 100 ± 15 Ом. Для каналов классов A, B и C предпочтительным является значение 100 Ом, но допускается и значение 120 ± 15 Ом. Допускавшееся ранее значение 150 Ом исключено в действующей редакции стандарта.

3.4.2 ВОЗВРАТНЫЕ ПОТЕРИ (RETURN LOSS)

Возвратные потери канала или линии RL (Return Loss), характеризуют степень однородности их волнового сопротивления Z по длине и степень согласованности его с полным сопротивлением нагрузки Z_H в определенном частотном интервале. При подаче на вход линии или канала импульса напряжения с амплитудой U_0 в случае несогласованности нагрузки, Z_H , или наличия неоднородности за счет производственных и эксплуатационных дефектов кабеля или несогласованности элементов тракта в них возникает отраженный импульс, распространяющийся в обратном направлении. Этот эффект иллюстрируется на рис. 4.8. Возвратные потери RL определяются из соотношения:

$$RL = 20 \cdot Lg(|U_{RL}|/|U_0|) \quad (4.6)$$

3.4.3 ПОТЕРИ ВВОДА (INSERTION LOSS)

Уменьшение амплитуды импульсов на выходе канала или линии возникает из-за джоулевых потерь в проводнике и изоляции, а также из-за отражений на неоднородностях - скачках волнового сопротивления. Этот эффект, иллюстрируемый рис. 4.8, проявляется в том, что при подаче на вход тракта импульса напряжения с некоторой амплитудой на ее выходе появляется импульс с меньшей амплитудой.

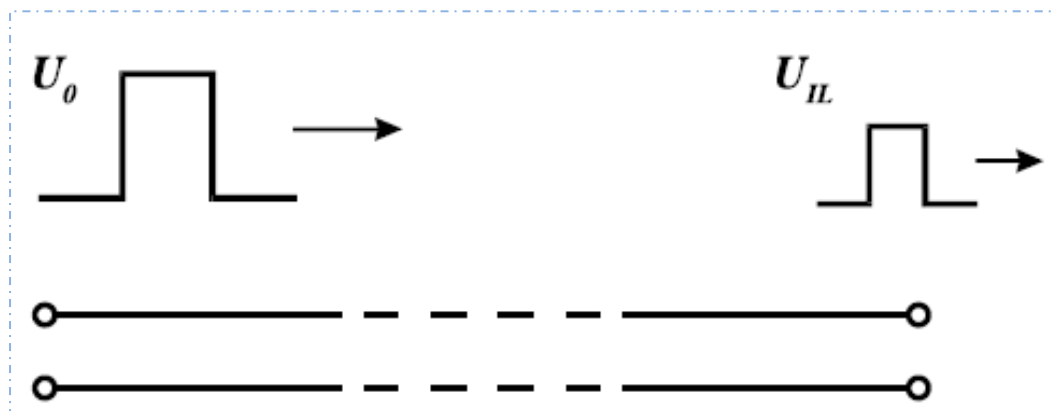


Рис. 4.8. Уменьшение амплитуды импульса в тракте

Численно этот эффект характеризуется параметром, носящим название потери ввода (insertion loss), и который определяется из соотношения:

$$IL = 20 \cdot Lg(|U_{П}|/|U_0|) \quad (4.7)$$

где - $U_{П}$ — амплитуда импульса напряжения на выходе линии, U_0 — амплитуда импульса напряжения на входе линии.

Ранее в стандарте использовался термин «затухание» A (Attenuation), однако он отражает лишь одну причину уменьшения амплитуды импульса — джоулевы потери, ничего не сообщая о другой — об отражении сигнала на неоднородностях волнового сопротивления тракта. Параметр потери ввода IL полнее характеризует эти свойства тракта и, в конечном итоге, именно он влияет на работу. Параметр IL нормируется для всех классов и, в принципе, должен измеряться на обоих концах тракта. Интересно заметить, что это особенно необходимо в волоконно-оптических трактах, где всегда измерялись именно потери ввода и именно при противоположных направлениях распространения света.

3.4.4 ПЕРЕХОДНОЕ ЗАТУХАНИЕ НА БЛИЖНЕМ КОНЦЕ

Переходное затухание на ближнем конце (Near End Cross Talk Loss или NEXT, где в английской аббревиатуре значок X означает «крест», т. е. по-английски "cross") характеризует восприимчивость линии (пары) к помехам, обусловленным существованием сигналов в соседних линиях (парах).

Эффект переходного затухания проявляется в том, что при подаче импульса на вход одной пары, на входе другой пары на этом же конце кабеля также появляется импульс. Эффект иллюстрируется на рис 4.8.

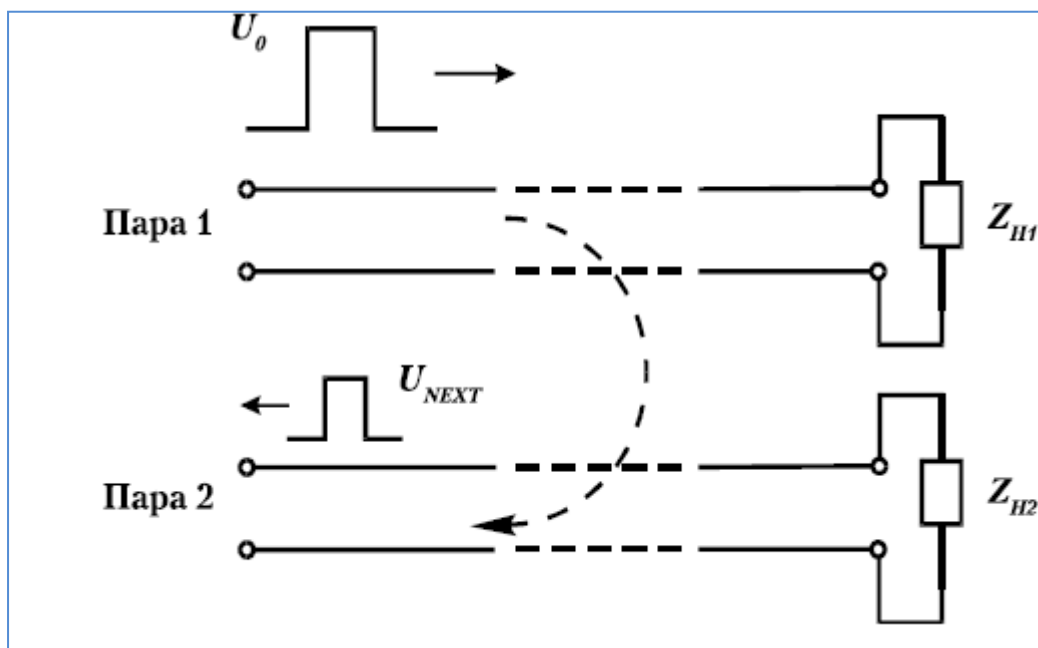


Рис. 4.9. Перекрестные помехи в кабелях на витых парах

Параметр NEXT характеризует влияние разных проводов в кабеле друг на друга. Сигнал, передаваемый по одной из витых пар кабеля (верхняя пара), наводит индуктивную помеху на другую (нижнюю) витую пару кабеля

Переходное затухание на ближнем конце, NEXT, определяется из соотношения:

$$NEXT = 20 \lg(U_{NEXT}/U_0) \quad (4.8)$$

где U_{NEXT} — амплитуда импульса, наведенного на входе пары, U_0 — амплитуда импульса, передаваемого по соседней паре.

Снова заметим, что значения логарифма в (4.4) всегда отрицательны, т. к. всегда $U_{NEXT} < U_0$. В идеальном случае $U_{NEXT} = 0$ и $NEXT_{ид} = -\infty$

Параметр NEXT специфицирован для всех классов и должен измеряться на обоих концах тракта. Параметр NEXT не зависит от длины кабелей, он определяется только конкретным взаимным влиянием пар.

Согласно стандарта ISO/IEC 11801 значения NEXT(по модулю) для стационарной линии класса D (UTP 5 cat.) на частотах 100МГц. **равно 32,3дБ.**

В таблице 4.2 представлены значения допустимой перекрестной наводки на ближнем конце для кабелей категорий 3, 4 и 5 на различных частотах сигнала. Естественно, более качественные кабели обеспечивают меньшую величину перекрестной наводки.

Таблица 4.2. Допустимые уровни перекрестных наводок NEXT

Частота, МГц	Перекрестная наводка на ближнем конце, дБ		
	Категория 3	Категория 4	Категория 5
0,150	- 54	-68	-74

0,772	-43	-58	-64
1,0	-41	-56	-62
4,0	-32	-47	-53
8,0	-28	-42	-48
10,0	-26	-41	-47
16,0	-23	-38	-44
20,0	—	-36	-42
25,0	—	—	-41
31,25	—	—	-40
62,5	—	—	-35
100,0	—	—	-32

Две витые пары в сети обычно передают информацию в разные стороны, поэтому наиболее важна наводка на ближнем конце воспринимающей пары (нижней на рисунке), так как именно там находится приемник информации.

3.4.5 «СУММАРНОЕ» ПЕРЕХОДНОЕ ЗАТУХАНИЕ НА БЛИЖНЕМ КОНЦЕ PSNEXT.

«Суммарное» переходное затухание на ближнем конце PSNEXT (Power Sum NEXT или PSNEXT) — это параметр, который характеризует наводку на одной паре от всех остальных пар, работающих одновременно. Параметр PSNEXT вычисляется (не измеряется непосредственно!) по измеренным значениям параметра NEXT для каждого сочетания пар по формуле:

$$PSNEXT(k) = -10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1, i \neq k}^n (10^{-0,1NEXT(i,k)}) \right) \quad (4.9)$$

где n — число пар, $PSNEXT(k)$ — параметр «возмущаемой» пары k , $NEXT(i, k)$ — параметр NEXT для «возмущаемой» пары k и «возмущающей» пары i .

Параметры PSNEXT специфицированы только для классов D, E, F (для категорий кабеля UTP 5,6 и 7) и должны измеряться на обоих концах тракта.

В табл. 4.3 приведены минимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения PSNEXT (по модулю) на граничных частотах классов (в формате «стационарная линия»).

Таблица 4.3. Минимально допускаемые стандартом ISO/IEC 11801.2002(E) значения PSNEXT для стационарной линии на граничных частотах классов D, E и F

Частота, МГц	Минимально допускаемые значения <i>PSNEXT</i> , дБ		
	Класс D (UTP 5 cat)	Класс E (UTP 6 cat)	Класс F(UTP 7 cat)
1	57,0	62,0	62,0

16	42,2	52,2	62,0
100	29,3	39,3	62,0
250	-	32,7	57,4
600	-	-	51,7

Если для всех пар канала или стационарной линии параметр NEXT удовлетворяет требованиям стандарта, но близок к допустимым пределам, то может оказаться, что такой тракт не будет удовлетворять требованиям стандарта по параметру PSNEXT.

3.4.6 ПЕРЕХОДНОЕ ЗАТУХАНИЕ НА ДАЛЬНОМ КОНЦЕ (FEXT) И ЕГО «СУММАРНОЕ» ЗНАЧЕНИЕ (PSFEXT)

Воздействие одной пары на другую сказывается не только на ближнем, дальнем конце. Это явление иллюстрируется на рис. 4.10.

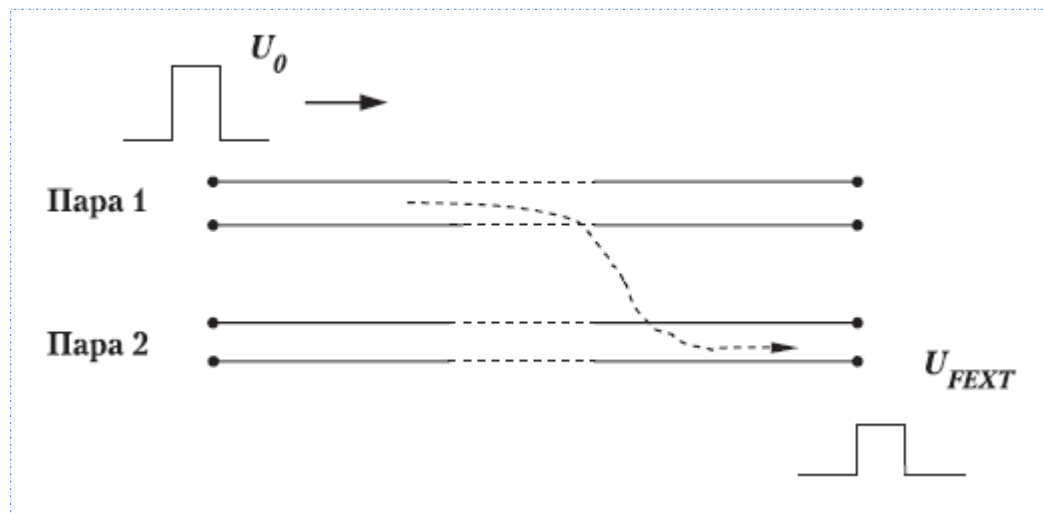


Рис. 4.10. Переходное затухание на дальнем конце тракта передачи сигнала

Его принято характеризовать как переходное затухание на дальнем конце FEXT (Far End Cross Talk или FEXT), и определять из соотношения:

$$FEXT = 20 \text{ Lg}(U_{FEXT}/U_0) \quad (4.10)$$

Параметр FEXT, как правило, сам по себе не измеряется в «полевых» условиях на установленной линии, но используется для определения других параметров тракта на дальнем конце.

«Суммарное» значение этого параметра, PSFEXT, учитывает взаимное влияние всех пар на одну при их одновременной работе и вычисляется по формуле:

$$PSFEXT(k) = -10 \cdot \text{Lg} \left(\sum_{i=1, i \neq k}^n 10^{-0,1 FEXT(i,k)} \right) \quad (4.11)$$

где n — число пар, $PSFEXT(k)$ — «суммарный» параметр «возмущаемой» пары k , i — номер «возмущающей» пары, k — номер «возмущаемой» пары, $FEXT(i, k)$ — параметр FEXT, обусловленный воздействием пары i на пару k .

На практике FEXT и PSFEXT не имеет такого большого значения, как NEXT.

3.4.7 НОРМИРОВАННОЕ НА ПОТЕРИ ВВОДА ПЕРЕХОДНОЕ ЗАТУХАНИЕ НА БЛИЖНЕМ КОНЦЕ (ACR)

Соотношение затухания и переходного затухания на ближнем конце (Attenuation to Crosstalk Ratio, ACR) характеризует отношение «сигнал/помеха» на приемном конце линии. При этом «сигналом» считается только пришедший по

линии и ослабленный за счет затухания и отражения в линии импульс, а «помехой» — только импульс, наведенный от соседней линии при условии, что она передает такой же по амплитуде импульс, как и предыдущая, но в противоположном направлении.

Этот параметр нельзя путать с общепринятым параметром «сигнал/шум» (Signal to Noise Ratio, SNR) или с отношением «сигнал/перекрестная помеха» (Signal to Crosstalk Ratio, SCR). Параметры SNR и SCR подразумевают уровни передаваемого и принимаемого сигналов в прикладной аппаратуре, а кроме того, и многочисленные другие источники помех, шумов и наводок. Естественно, что все три параметра ACR, SNR и SCR «идейно» связаны друг с другом.

Эффект одновременного влияния на качество линии обоих параметров: затухания, A, и переходного затухания на ближнем конце NEXT иллюстрирует рис. 4.9, на котором изображены их частотные зависимости.

Области значений параметров A и NEXT, допускаемых стандартом, заштрихованы, а предельно допускаемые стандартом значения A. и NEXT на некоторой частоте f_i , равны (в масштабе) длинам отрезков, соответственно обозначенных на рис. 4.11. Из рис. 4.11 видно, что если установлены максимально возможное A - и минимально возможное NEXT, то тем самым установлена минимально возможная длина отрезка ACR. Не заштрихованная область на рис. 4.11 показывает минимально допустимые длины отрезков ACR во всем частотном диапазоне. Таким образом, параметр ACR есть разность параметров NEXT и A. ($|NEXT|$ и $|A|$ абсолютные величины).

$$ACR = -|A| - (-|NEXT|) = |NEXT| - |A|, \quad (4.12)$$

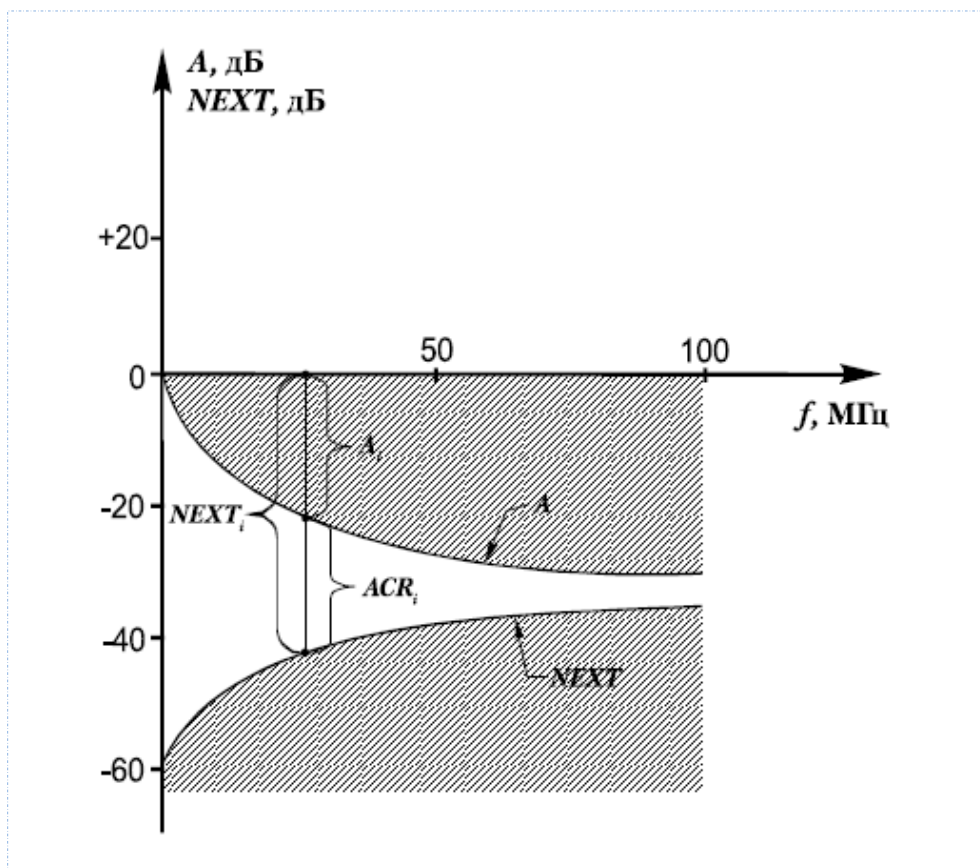


Рис 4.9. Качественные зависимости параметров A и NEXT от частоты для тракта передачи сигналов в СКС

Параметр специфицируется только для классов D, E, F и измеряется на обоих концах тракта.

В табл. 4.4 приведены минимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801 значения ACR для стационарной линии (в формате «стационарная линия»).

Таблица 4.4. Минимально допустимые стандартом ISO/IEC 1 1801.2002(E) значения ACR, дБ, для канала и стационарной линии классов D, E, F на граничных частотах классов (в формате «стационарная линия»)

Частота, МГц	Минимально допускаемые значения ACR, дБ		
	Класс D(UTP 5cat.)	Класс E(UTP 5cat.)	Класс F (UTP 5cat.)
1	56,0	61,0	61,0
16	37,5	47,5	58,1
100	11,9	23,3	47,3
250		-4,7	31,6
600			-8,1

Обращает на себя внимание также изменение знака ACR в канале для классов E и F на верхних граничных частотах. Оно означает, что на указанных высоких частотах при одновременной работе всех пар трудно избавиться от их взаимного влияния и соответствующая аппаратура должна работать при отношениях «сигнал/помеха», меньших единицы.

На практике, при заданной длине конкретного кабеля и определенном числе конкретных соединений в тракте, нет реальных возможностей повлиять на параметр A поэтому приемлемых значений ACR можно добиться, только улучшая параметр NEXT. Последнее достигается улучшением качества монтажа витых пар и, конкретно, минимизацией длины их расплетение на соединительных устройствах.

3.4.8 ЗАДЕРЖКА СИГНАЛА (PD) И ПЕРЕКОС ЗАДЕРЖЕК (DS)

Для правильного функционирования аппаратуры, в которой используется одновременная передача сигналов по всем парам 4-х парного тракта, необходимо обеспечить, во-первых, минимальные задержки, и, во-вторых, равенство задержек во всех парах. Для оценки качества трактов в смысле «временной симметрии» вводятся два параметра: задержка распространения сигнала по паре PD (Propagation Delay, PD) и перекос задержек в парах DS (Delay Skew, DS). Под перекосом задержек в 4-х парном тракте понимают разность между максимальным и минимальным значениями среди четырех измеренных.

Задержка специфицируется для всех классов каналов и стационарных линий, а перекос задержек — только для классов C, D, E, F.

Требования стандарта ISO/IEC 11801 к задержке в трактах на верхних граничных частотах классов приведены в табл. 4.5, а требования к перекосу задержек — в табл. 4.6.

Таблица 4.5. Максимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801 значения задержки PD для канала и стационарной линии на граничных частотах классов (в формате «стационарная линия») длиной 100 м.

Частота, МГц	Максимально допустимая задержка PD, ns					
	Класс А	Класс В	Класс С	Класс D	Класс Е	Класс F
0,1	19400	4400				
1		4400	521	521	521	521
16			496	496	496	496
100		.....	.....	491	491	491
250		.....	.....		490	490
600			.....			489

Таблица 4.6. Максимально допустимый стандартом ISO/IEC 1 / 80 / .2002(E) «перекос» задержек» DS для канала и стационарной линии (в формате «канал/стационарная линия»)

Класс	Частота, МГц	DS _{МАКС} , ns
C	1÷16	44
D	1÷4 00	44
E	1 ÷250	44
F	1÷600	26

Производители кабелей иногда указывают величину задержки на метр длины, а иногда – скорость распространения сигнала относительно скорости света (или NVP – Nominal Velocity of Propagation, как ее часто называют в документации). Связаны эти две величины простой формулой:

$$t_z = PD = 1 / (3 \times 10^{10} \times NVP) \quad (4.9)$$

где t_z – величина задержки на метр длины кабеля в наносекундах. Например, если $NVP=0,65$ (65% от скорости света), то задержка t_z будет равна 5,13 нс/м. Типичная величина задержки большинства современных кабелей составляет около 4—5 нс/м.

В таблице 4.7 приведены величины NVP и задержек на метр длины (в наносекундах) для некоторых типов кабеля двух самых известных компаний-производителей AT&T и Belden.

Таблица 4.7. Временные характеристики некоторых кабелей

Фирма	Марка	Катег-я	Оболочка	NVP	Задержка
AT&T	1010	3	non-plenum	0,67	4,98
AT&T	1041	4	plenum	0,75	4,44
AT&T	1061	5	non-plenum	0,70	4,76
AT&T	2010	4	non-plenum	0,70	4,76
AT&T	2041	3	plenum	0,70	4,76
AT&T	2061	5	plenum	0,75	4,44
Belden	1229A	3	non-plenum	0,69	4,83
Belden	1455A	4	non-plenum	0,72	4,63
Belden	1583A	5	non-plenum	0,72	4,63
Belden	1245A2	3	plenum	0,69	4,83
Belden	1457A	4	plenum	0,75	4,44
Belden	1585A	5	plenum	0,75	4,44

Кабели выпускаются с двумя типами внешних оболочек:

Кабель в поливинилхлоридной (ПВХ, PVC) оболочке дешевле и предназначен для работы в сравнительно комфортных условиях эксплуатации.

Кабель в тефлоновой оболочке дороже и предназначен для более жестких условий эксплуатации.

Кабель в ПВХ оболочке называется еще non-plenum, а в тефлоновой – plenum. Термин plenum обозначает в данном случае пространство под фальшполом и над подвесным потолком, где удобно размещать кабели сети. Для прокладки в этих скрытых от глаз пространствах как раз удобнее кабель в тефлоновой оболочке, который, в частности, горит гораздо хуже, чем ПВХ – кабель, и не выделяет при этом ядовитых газов в большом количестве.

Стандарт определяет также максимально допустимую величину рабочей емкости каждой из витых пар кабелей категории 4 и 5. Она должна составлять не более 17 нФ на 305 метров (1000 футов) при частоте сигнала 1 кГц и температуре окружающей среды 20°C.

Примером кабеля с экранированными витыми парами может служить кабель STP IBM типа 1, который включает в себя две экранированные витые пары AWG типа 22 (диаметр кабеля). Волновое сопротивление каждой пары составляет 150 Ом. Для этого кабеля применяются специальные разъемы, отличающиеся от разъемов для неэкранированной витой пары (например, DB9). Имеются и экранированные версии разъема RJ-45.

Контрольные вопросы:

Теоретические вопросы

1. Что называется средой передачи информации в компьютерных сетях?
2. Информация в компьютерных сетях передается параллельном коде или последовательно и почему?
3. Основные характеристики линии связи: **затухание, амплитудно-частотная характеристика, помехозащищенность кабеля, пропускная способность.**
4. В чем измеряется затухание линии связи?
5. Что такое задержка сигнала, типичные величины задержки?
6. Параметр **Волновое сопротивление**, что это такое, в каких единицах измеряется и какую роль играет данный параметр? Привести типовые величины волнового сопротивления для разных сред передачи;
7. Приведите международные стандарты на кабели.
8. Коаксиальный кабель. Что собой представляет конструкция, типы кабелей, волновое сопротивление, в каких сетях применяется? Максимальная длина сети?
9. Волоконно–оптический кабель - структура, достоинства и недостатки. Два основных типа кабеля.
10. Бескабельные каналы связи. Приведите особенности и характеристики. Какие основные типы сетей вы знаете (использовать информацию из Интернета).
11. Кабели на основе витых пар. Экранированная витая пара, неэкранированная обозначение, категории. Привести основные особенности различных кабелей витой пары, разной категорий и в каких сетях применяется;
12. Что означают параметры NEXT и FEXT, PSNEXT и PS FEXT?;
13. Объясните параметры витой пары: **Возвратные потери** и **Затухание**. Как характеризуют линию, в чем измеряются, как обозначаются, какие допустимые величины в стандарте.
14. Что означают параметр ACR;
15. Задержка сигнала - параметры NVP и PD, DS как между собой связаны, в каких единицах измеряются;
16. Какие материалы применяются для изолирующей внешней оболочки кабеля витая пара и как они влияют на характеристики кабеля.

Задачи(варианты с 1 по 10 по журналу, далее 11 -1вариант и тд)

1. При измерениях линий связи применяется величина «нулевого» уровня сигнала по мощности равная одному милливатту 1мВт. Рассчитайте напряжение (милливольт) в линии связи с волновым сопротивлением 100Ом при нулевом уровне сигнала.
2. Уровень передатчика на входе кабеля UTP – 5cat. равен 3 дБ. Рассчитайте напряжение на входе приемника (на выходе кабеля) используя таблицу 4.8, а также рассчитайте величину напряжения на входе кабеля.
3. Каким будет теоретический предел скорости передачи данных в бит/с с по каналу с шириной полосы пропускания в 20 кГц, если мощность передатчика составляет 0,01 мВт, а мощность шума в канале равна 0,0001 мВт?

4. Определите пропускную способность канала связи для каждого из направлений дуплексного режима, если известно, что его полоса пропускания равна 600 кГц, а метода кодирования использует 10 состояний сигнала.
5. 6. 7. Рассчитайте задержку распространения сигнала и задержку передачи данных для случая передачи пакета в 128 байт по:
 - а) кабелю витой пары длиной в 100 м при скорости передачи данных 100 Мбит/с,
 - б) коаксиальному кабелю длиной в 2 км при скорости передачи в 10 Мбит/с,
 - в) спутниковому геостационарному каналу протяженностью в 72000 км при скорости передачи данных 128 Кбит/с.
 Считайте скорость распространения сигнала равной скорости света в вакууме 300 000 км/с.
8. Подсчитайте скорость линии связи, если известно, что тактовая частота передатчика равно 125 МГц, а сигнал имеет 5 состояний.
9. Приемник и передатчик сетевого адаптера подключены к соседним парам кабеля UTP. Какова мощность наведенной помехи на входе приемника, если передатчик имеет мощность 30 дБм, а показатель NEXT кабеля равен -20 дБ?
10. Пусть известно, что модем передает данные в дуплексном режиме со скоростью 33,6 Кбит/с. Сколько состояний имеет его сигнал, если полоса пропускания линии связи равна 3,43 кГц?

Таблица 4.8 Передаточные характеристики кабеля: 4-парный кабель UTP Категории 5Е в оболочке PVC фирмы Tyco Electronics :

Частота (МГц)	Attenuation (дБ)	NEXT (дБ)	ACR (дБ)	PS.NEXT (дБ)	PS.ACR (дБ)	ELFEXT (дБ)	PS.ELFEXT (дБ)	Return Loss (дБ)
1	2.4	68.3	65.9	66.3	63.9	63.8	60.8	20
4	4.9	59.3	54.4	57.3	52.4	51.7	48.7	23
8	6.9	54.8	47.9	52.8	45.9	45.7	42.7	24.5
10	7.8	53.3	45.5	51.3	43.5	43.8	40.8	25
16	9.8	50.3	40.5	48.3	38.5	39.7	36.7	25
20	11.2	48.8	37.6	46.8	35.6	37.8	34.8	25
25	12.5	47.3	34.8	45.3	32.8	35.8	32.8	24.2
31.25	14	45.9	31.9	43.9	29.9	33.9	30.9	23.3
62.5	20.4	41.4	21	39.4	19	27.8	24.8	20.7
100	26.4	38.3	11.9	36.3	9.9	23.8	20.8	19
155	33.7	35.5	1.8	33.5	0	20	17	17.4
200	38.9	33.8	-/-	31.8	-/-	17.7	14.7	16.4
240	43.2	32.6	-/-	30.6	-/-	16.2	13.2	15.7
300	49.2	31.2	-/-	29.2	-/-	14.2	11.2	14.9
350	53.9	30.1	-/-	28.1	-/-	12.9	9.9	14.3

Дополнительные материалы:

1) В.Г. Олифер, Н.А. Олифер Компьютерные сети, 3-е издание, 2009г.
Стр.59...112