

# КАНАЛЫ СВЯЗИ

---

# СРЕДА ПЕРЕДАЧИ

---

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

- 
- **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 кабелям одновременно) увеличивается количество соединительных кабелей в число раз, равное количеству разрядов параллельного кода (например, в 8 раз при 8-разрядном коде). Это совсем не мелочь, как может показаться на первый взгляд. При значительных расстояниях между абонентами сети стоимость кабеля вполне сравнима со стоимостью компьютеров и даже может превосходить ее. К тому же проложить один кабель (реже два разнонаправленных) гораздо проще, чем 8, 16 или 32. Значительно дешевле обойдется также поиск повреждений и ремонт кабеля.**

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

- 
- 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 10 нс этот временной сдвиг не должен превышать 5–10 нс. Таковую величину сдвига дает разница в длинах кабелей в 1–2 метра. При длине кабеля 1000 метров это составляет 0,1–0,2%.

- 
- В некоторых высокоскоростных локальных сетях все-таки используют параллельную передачу по 2–4 кабелям, 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 сети Fast Ethernet.

# ТИПЫ КАБЕЛЕЙ

---

- ▣ электрические (медные) кабели на основе *витых пар* проводов (twisted pair), которые делятся на экранированные (shielded twisted pair, STP) и неэкранированные (unshielded twisted pair, UTP);
- ▣ электрические (медные) *коаксиальные кабели* (coaxial cable);
- ▣ *оптоволоконные кабели* (fibre optic).

- 
- **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.**

# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КАБЕЛЕЙ

- ▣ **Полоса пропускания** кабеля (частотный диапазон сигналов, пропускаемых кабелем) и **затухание сигнала** в кабеле. Два этих параметра тесно связаны между собой, так как 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. **Затухание** измеряется в децибелах и пропорционально длине кабеля.
- ▣ **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.
- ▣ **Скорость распространения сигнала** по кабелю или, обратный параметр – **задержка сигнала** на метр длины кабеля. 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.
- ▣ 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.

# СТАНДАРТЫ НА КАБЕЛИ

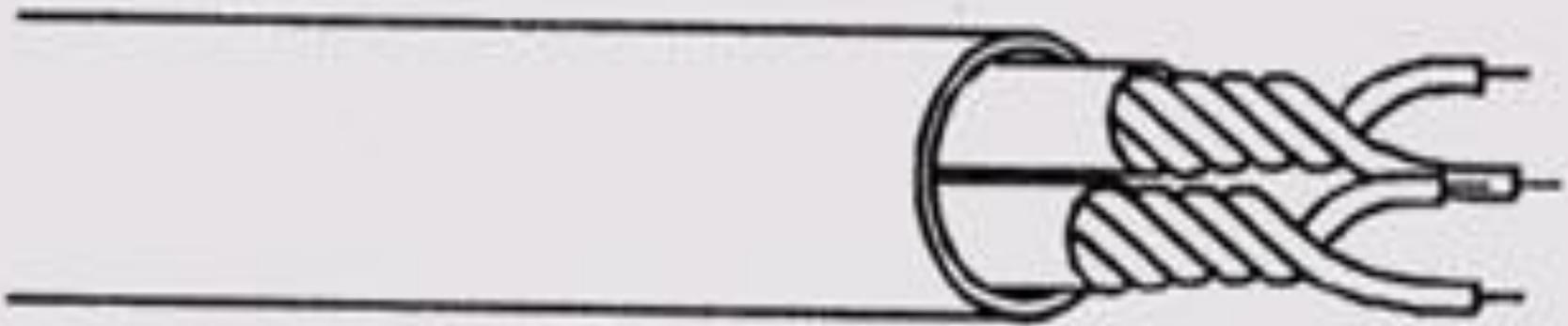
- **EIA/TIA 568** (Commercial Building Telecommunications Cabling Standard) – американский;
- **ISO/IEC IS 11801** (Generic cabling for customer premises) – международный;
- **CENELEC EN 50173** (Generic cabling systems) – европейский.

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

# 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 или четыре *витые пары*



- 
- **Неэкранированные витые пары** характеризуются слабой защищенностью от внешних электромагнитных помех, а также слабой защищенностью от подслушивания с целью, например, промышленного шпионажа. Перехват передаваемой информации возможен как с помощью контактного метода (посредством двух иголок, воткнутых в кабель), так и с помощью бесконтактного метода, сводящегося к радиоперехвату излучаемых кабелем электромагнитных полей. Для устранения этих недостатков применяется экранирование.

- 
- **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 (crosstalk - перекрестные наводки). Естественно, экранированная витая пара гораздо дороже, чем неэкранированная, а при ее использовании необходимо применять и специальные экранированные разъемы, поэтому встречается она значительно реже, чем неэкранированная витая пара.

- 
- **Основные достоинства неэкранированных витых пар - простота монтажа разъемов на концах кабеля, а также простота 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 становится понятным, 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 100 Мбит/с и ведутся работы по повышению скорости**

# СТАНДАРТ EIA/TIA 568

Согласно стандарту EIA/TIA 568, существуют пять категорий кабелей на основе неэкранированной витой пары (UTP):

- Кабель категории 1 — это обычный телефонный кабель (пары проводов не витые), по которому можно передавать только речь, но не данные. Данный тип кабеля имеет большой разброс параметров (волнового сопротивления, полосы пропускания, перекрестных наводок).
- 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.
- 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. Сейчас он имеет наибольшее распространение.
- 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 разработан для работы в сетях по стандарту IEEE 802.5.
- Кабель категории 5 - самый совершенный кабель в настоящее время, 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.

# ПОЛНОЕ ВОЛНОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

---

- 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 частоты 1 МГц до максимальной частоты кабеля. Как видим, требования не очень жесткие: величина волнового сопротивления может находиться в диапазоне от 85 до 115 Ом. Здесь же отметим, что волновое сопротивление экранированной витой пары STP должно быть по стандарту равно  $150 \text{ Ом} \pm 15\%$ . Для согласования импедансов кабеля и оборудования в случае их несовпадения применяют согласующие трансформаторы (Balun). Встречается также

# МАКСИМАЛЬНОЕ ЗАТУХАНИЕ СИГНАЛА

- ▣ Второй важнейший параметр, задаваемый стандартом, - это максимальное затухание сигнала, передаваемого по кабелю, на разных частотах. В таблице приведены предельные значения величины затухания для кабелей категорий 3, 4 и 5 для расстояния 1000 футов (305 метров) при нормальной температуре окружающей среды 20°C.

# МАКСИМАЛЬНОЕ ЗАТУХАНИЕ В КАБЕЛЯХ

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

---

**□ Из таблицы видно, что величины затухания на частотах, близких к предельным, для всех кабелей очень значительны, то есть даже на небольших расстояниях сигнал ослабляется в десятки и сотни раз, что предъявляет высокие**

# ВЕЛИЧИНА ПЕРЕКРЕСТНОЙ НАВОДКИ НА БЛИЖНЕМ КОНЦЕ

- Еще один специфический параметр, определяемый стандартом - это величина так называемой перекрестной наводки на ближнем конце (NEXT -г End Crosstalk). Он характеризует влияние разных проводов в кабе-руг на друга. В таблице представлены значения допустимой перекрестной наводки на ближнем конце для кабелей категорий 3, 4 и 5 на точных частотах сигнала. Естественно, более качественные кабели обеспечивают меньшую величину перекрестной наводки

# ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ ПЕРЕКРЕСТНЫХ НАВОДОК

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
32,5	-	-	-35
100,0	-	—	-32

- 
- 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.
  - Для присоединения витых пар используются разъемы (коннекторы) типа 5, похожие на всем известные разъемы, используемые в телефонах (R J-11), но несколько большие по размеру (поэтому они не входят в телефонную розетку). Разъемы RJ-45 имеют восемь контактов вместо четырех в случае RJ-11. Присоединяются разъемы к кабелю с помощью специальных обжимных инструментов. При этом золоченые игольчатые контакты разъема прокалывают изоляцию каждого провода, входят между его жилами и обеспечивают надежное и качественное соединение. Надо учитывать, что при установке разъемов стандартом допускается расплетение витой пары кабеля на длину не более одного сантиметра.
  - Чаще всего витые пары используются для передачи данных в одном направлении, то есть в топологиях типа «звезда» или «кольцо». Топология «шина» обычно ориентируется на коаксиальный кабель. Поэтому внешние терминаторы, согласующие неподключенные концы кабеля, для витых пар практически никогда не применяются.

- 
- Кабели выпускаются с двумя типами внешних оболочек:
  - кабель в поливинилхлоридной (ПВХ, PVC) оболочке дешевле и предназначен для работы кабеля 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 кабель в тефлоновой оболочке - plenum. Термин plenum обозначает здесь не собрание руководства какой-то партии, а пространство под фальшполом и над подвесным потолком, где очень 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

# СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА

- Еще один важный параметр любого кабеля, который жестко не определяется стандартом, но может существенно повлиять на работоспособность сети, - это скорость распространения сигнала в кабеле, то есть задержка распространения сигнала в кабеле в расчете на единицу длины.
- 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:
- $t_3 = l / (3 \cdot 10^{10} \cdot NVP)$ ,**
- где  $t_3$  - величина задержки на метр длины кабеля в наносекундах. Например, если  $NVP = 0,65$  (65% от скорости света), то задержка  $t$  будет равна 5,13 нс/м. Типичная величина задержки большинства современных кабелей составляет около 5 нс/м.

# ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ КАБЕЛЕЙ

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

- ❑ В таблице приведены величины **NVP** и задержек на метр длины (в ундах) для некоторых типов кабеля двух самых известных срирм-дителей **AT&T** и **Belden**.
- ❑ Стоит также отметить, что каждый из проводов, входящих в кабель витых пар, как правило, имеет свой цвет изоляции, что существенно упрощает монтаж разъемов, особенно в том случае, когда концы кабеля находятся в разных комнатах, и контроль с помощью приборов затруднен.
- ❑ Примером кабеля с экранированными витыми парами может служить **iTP IBM** типа **1**, который включает в себя две экранированные пары **AWG** типа **22**. Для этого в кабелях применяются специальные разъемы, они отличаются от разъемов для неэкранированной витой пары