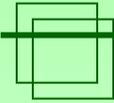
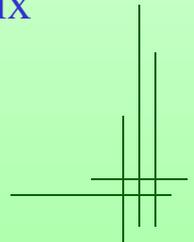


Кабельные системы

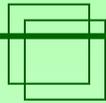


Литература по данной лекции:

- <http://www.nag.ru/goodies/book/ch7-2.html>
- <http://www.osp.ru/>
- <http://www.citforum.ru/nets/sw500/cables.shtml>
- <http://www.citforum.ru/nets/optic/optic1.shtml>
- http://cs.mipt.ru/docs/comp/rus/internet/admin/basic_net_construct/main.pdf
- Боб Кенни. Возвращение к основам // LAN/Журнал сетевых решений. №10, 1999.
- Павел Бабаевский. Тестирование кабельных систем Категорий 5е и 6 // LAN/Журнал сетевых решений. №11, 1999.
- Александр Савчук. Проблемы технической защиты информации и электромагнитной совместимости для структурированных кабельных систем.



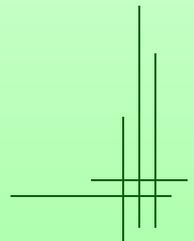
Витая пара



Витая пара - это изолированные проводники, попарно скрученные между собой некоторое число раз на определенном отрезке длины, что требуется для уменьшения перекрестных наводок между проводниками.

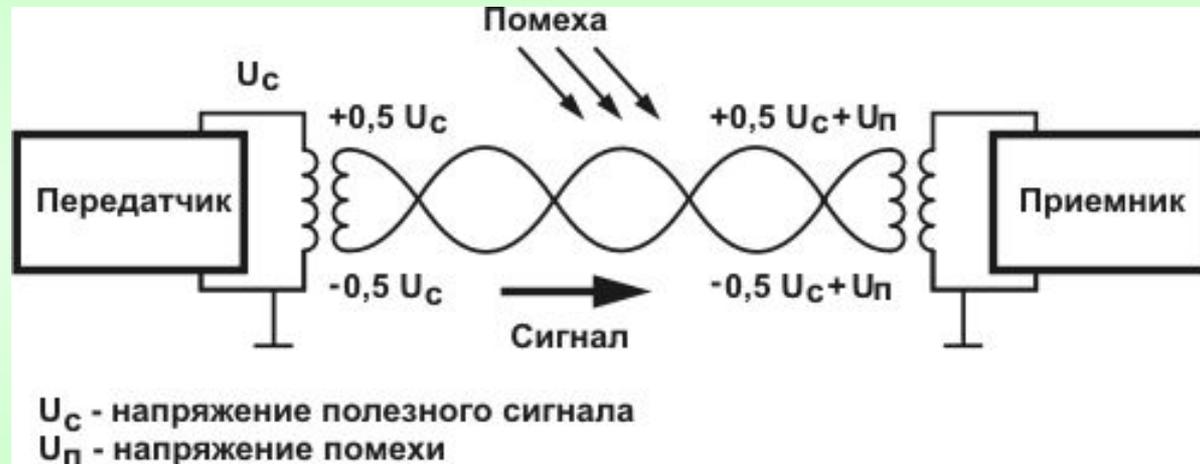
Параметры: диаметр жилы, шаг скрутки, диаметр изоляции, материал изоляции.

1990 год - стандартизована 3 категория витой пары. Шаг скрутки очень большой - неск. десятков сантиметров. Для кабелей 5 категории шаг скрутки разный для разных пар (напр. 13, 15, 20, 24 см.)

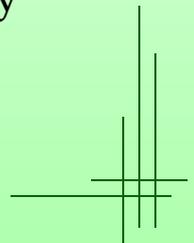


Витая пара, токовая развязка

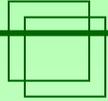
Симметричная цепь, помеха синфазна, во вторичные обмотки приемника сигнал шума не передается, потому как на выходном трансформаторе напряжение на обмотке равно U_c (защита от ЭМ помех).



Но! Гальваническая развязка токовой петлей не подразумевает передачу постоянной составляющей сигнала.

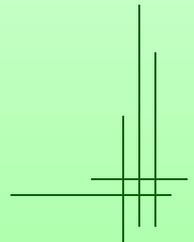


Витая пара, экранирование

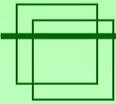


Экранирование применяется как для каждой витой пары, так и для всех пар вместе. Плетеные из медной проволоки экраны уменьшают низкочастотные помехи, а экраны из тонкой алюминиевой фольги гасят высокочастотную компоненту. Кроме этого, экран блокирует распространение в эфир ЭМВолн, генерируемых переменным электрическим сигналом в проводах.

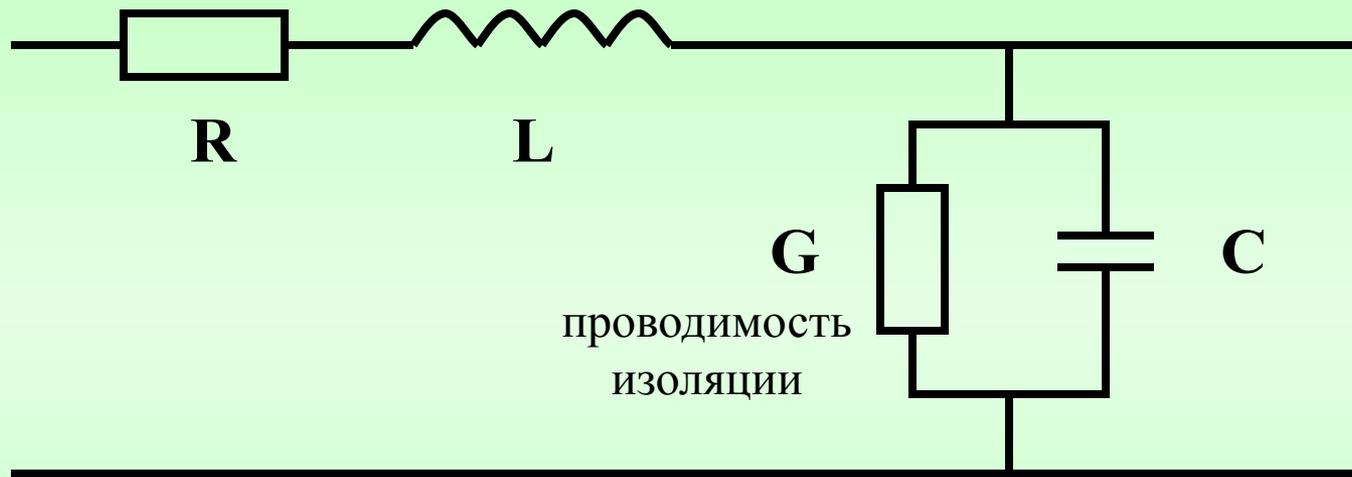
Но! Экранирование увеличивает емкость, а сл. затухание в кабеле, а также за счет отражения увеличивает перекрестные помехи между витыми парами.



Электрические характеристики



Упрощенная эквивалентная электрическая схема витой пары

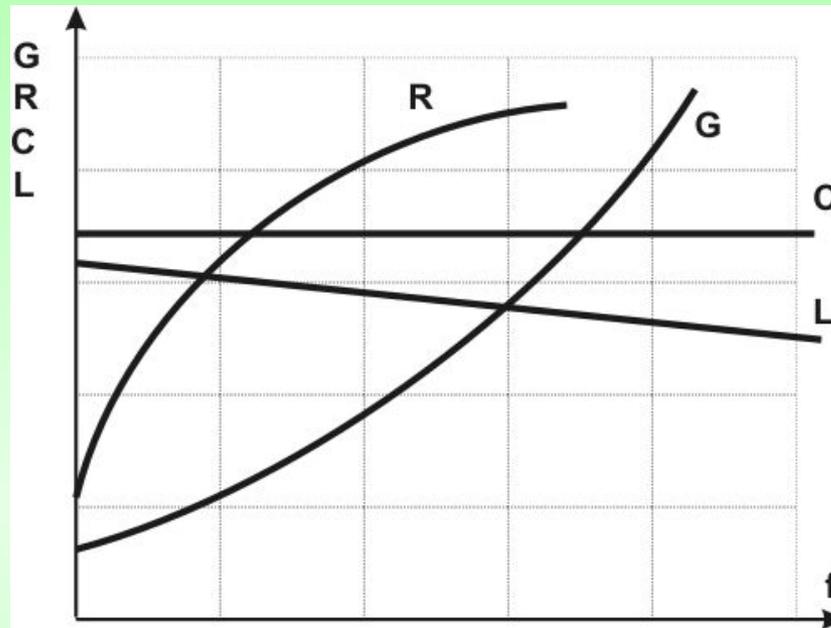


R , G определяют тепловые потери в меди и диэлектрике, L и C определяют частотные свойства кабеля.

R растет при увеличении частоты (ток идет в близости от другого проводника, а также вносит свою лепту скин-эффект, когда ток вытесняется на поверхность проводника).



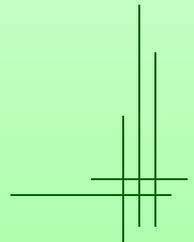
Электрические характеристики



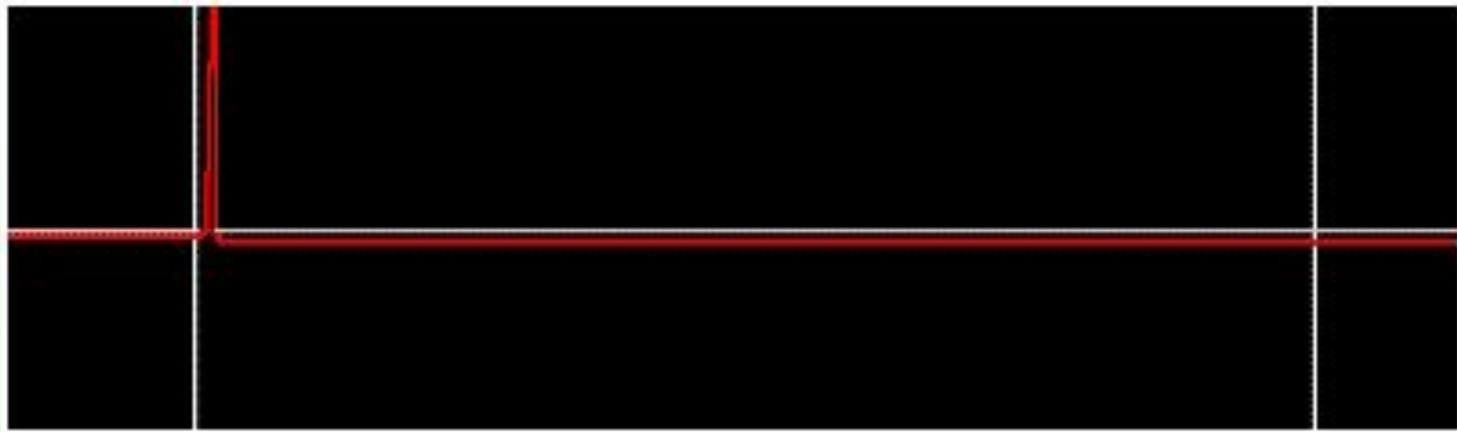
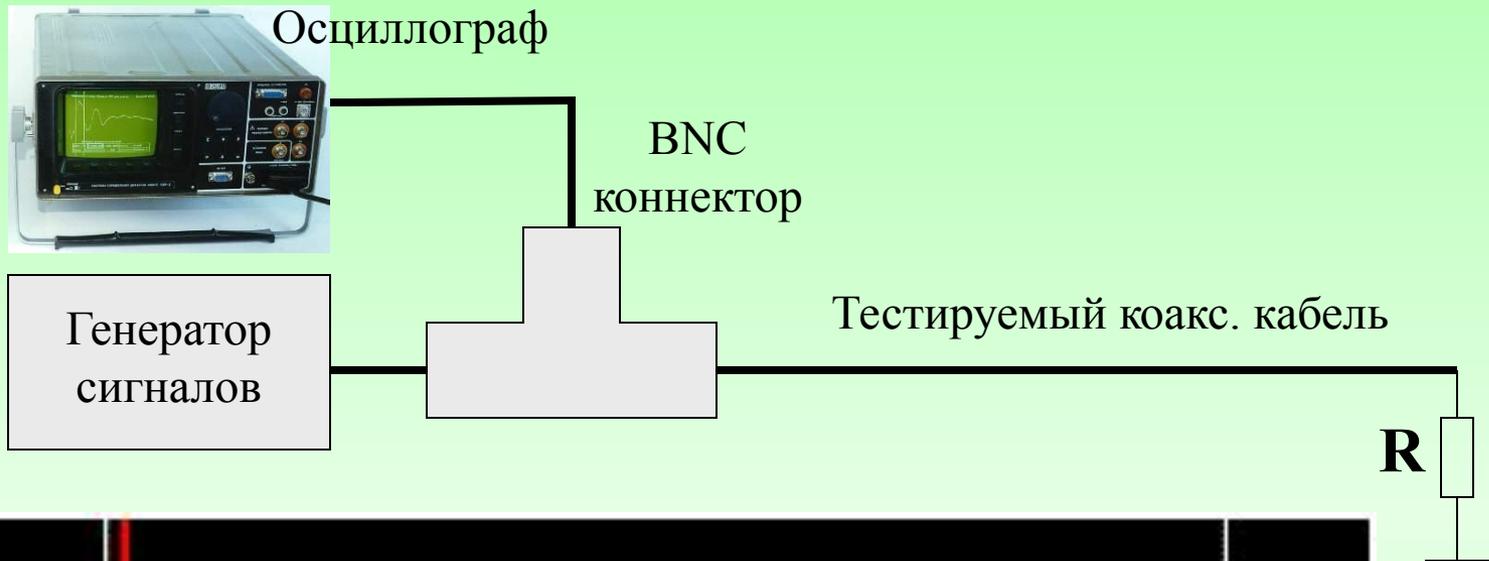
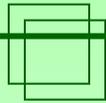
Волновое сопротивление $Z = ((R + j\omega L) / (G + j\omega C))^{1/2}$, для высоких частот формула для Z упрощается:

$$Z = (L/C)^{1/2}$$

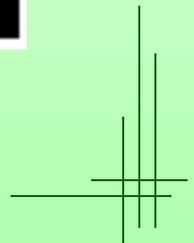
В рабочем диапазоне частот для витой пары $Z = 100 \pm 15\%$ Ом, для коаксиального кабеля - 50 Ом, для телевизионного кабеля - 75 Ом. Для определения Z достаточно измерить емкость отрезка кабеля, разомкнутого на конце, затем индуктивность этого же отрезка, но замкнутого на конце.



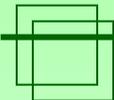
Сигнал в линиях связи



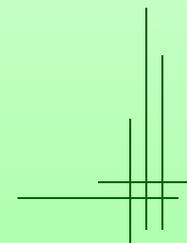
Правильно затерминированная линия: вся энергия импульса поглощается. Все неравномерности в волновом сопротивлении ухудшают сигнал.



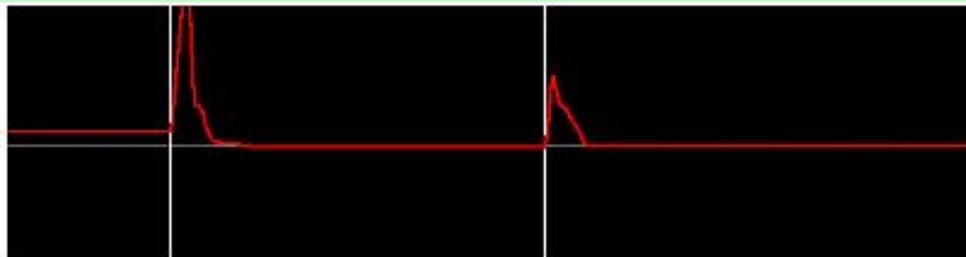
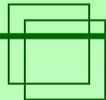
Рефлектометр



Импульсный рефлектометр РИ-10М



Сигнал в линиях связи



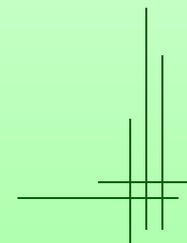
Обрыв кабеля (коаксиал)



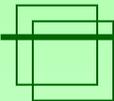
Замыкание (коаксиал)



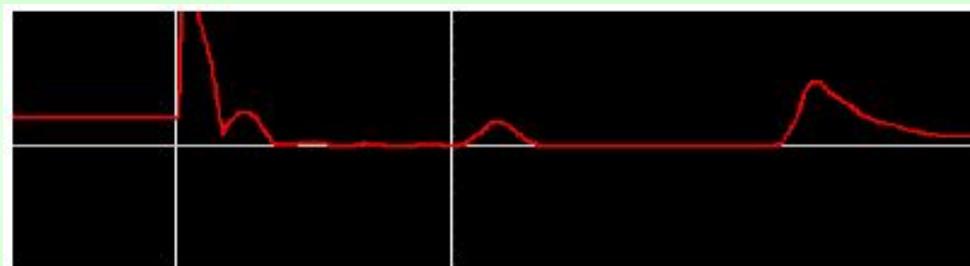
Соединение (муфта) (коаксиал)



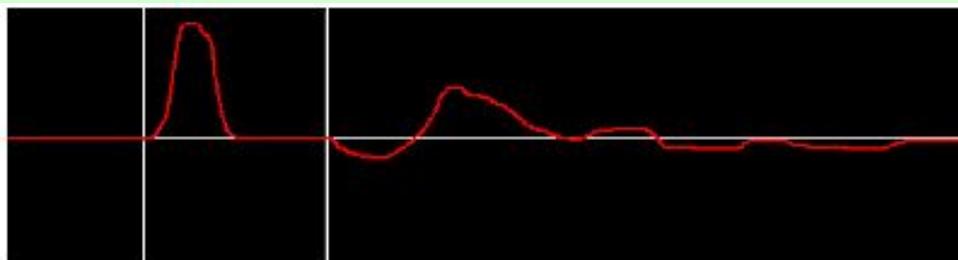
Сигнал в линиях связи



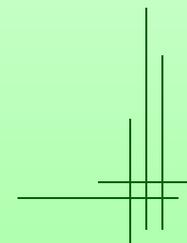
Несколько правильно затерминированных отводов (коаксиал)



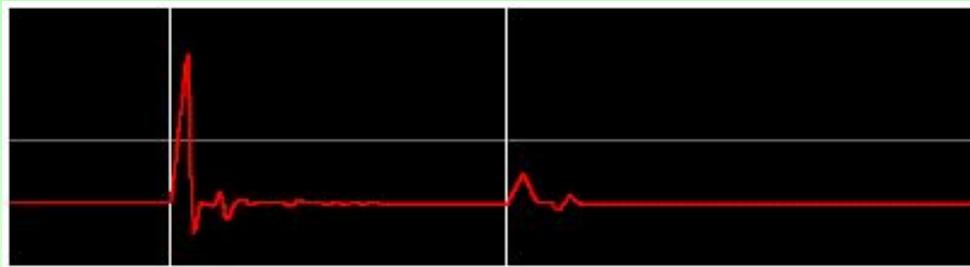
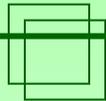
Дефект кабеля, а затем обрыв (витая пара)



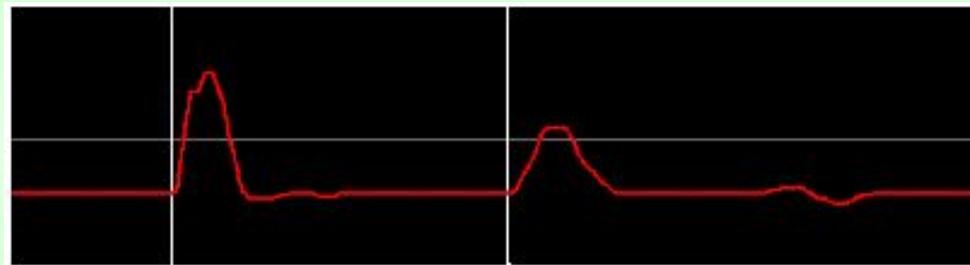
Вторая половина кабеля мокрая (витая пара)



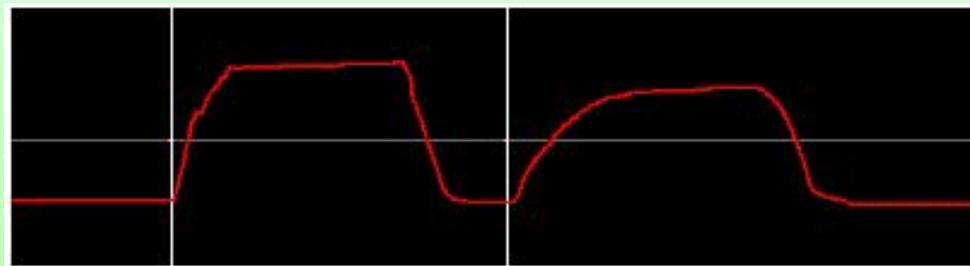
Сигнал в линиях связи



Испытание кабеля импульсом в 2 наносекунды (витая пара)

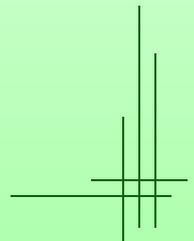


Тот же кабель, но испытание импульсом в 10 наносекунд



Тот же кабель, но испытание импульсом в 100 наносекунд

Высокие частоты не пропускаются кабелем



Погонное затухание



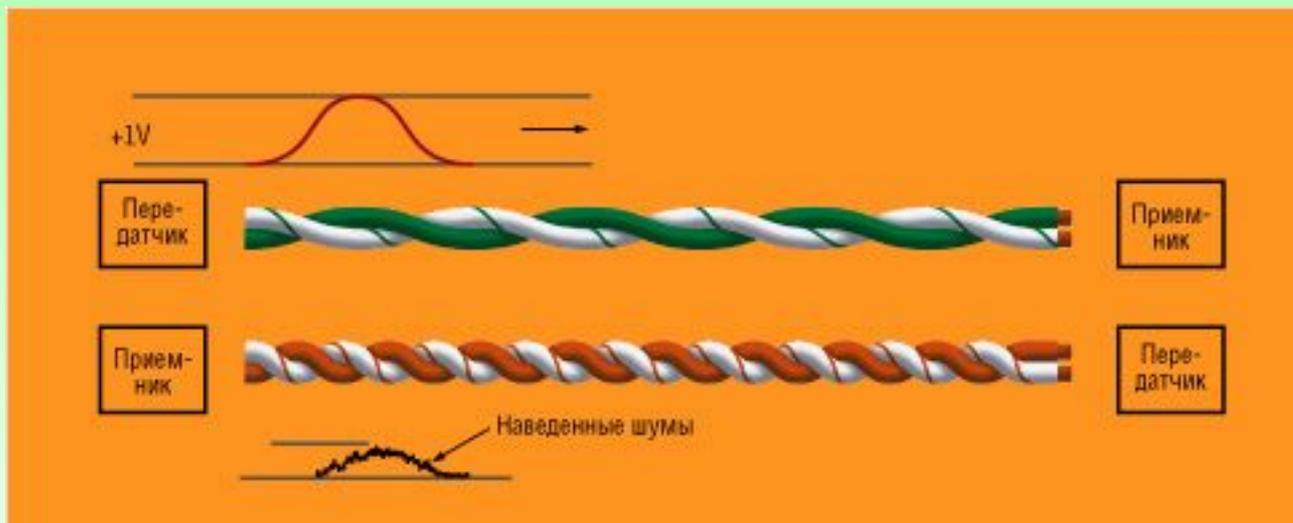
Погонное затухание (attenuation) - потеря мощности сигнала, выражаемая в децибелах (дБ, dB):

$$dB = 10 * \log_{10}(P_{\text{ВХ}} / P_{\text{ВЫХ}})$$

Затухание в кабеле зависит от таких факторов, как размер и состав проводника (Al, Cu, Ag), материала изоляции, рабочей частоты (диапазона частот) и длины кабеля.

Затухание ,ослабление мощности сигнала	
дБ	процент потерь
3	50%
6	75%
10	90%
15	97%
20	99%

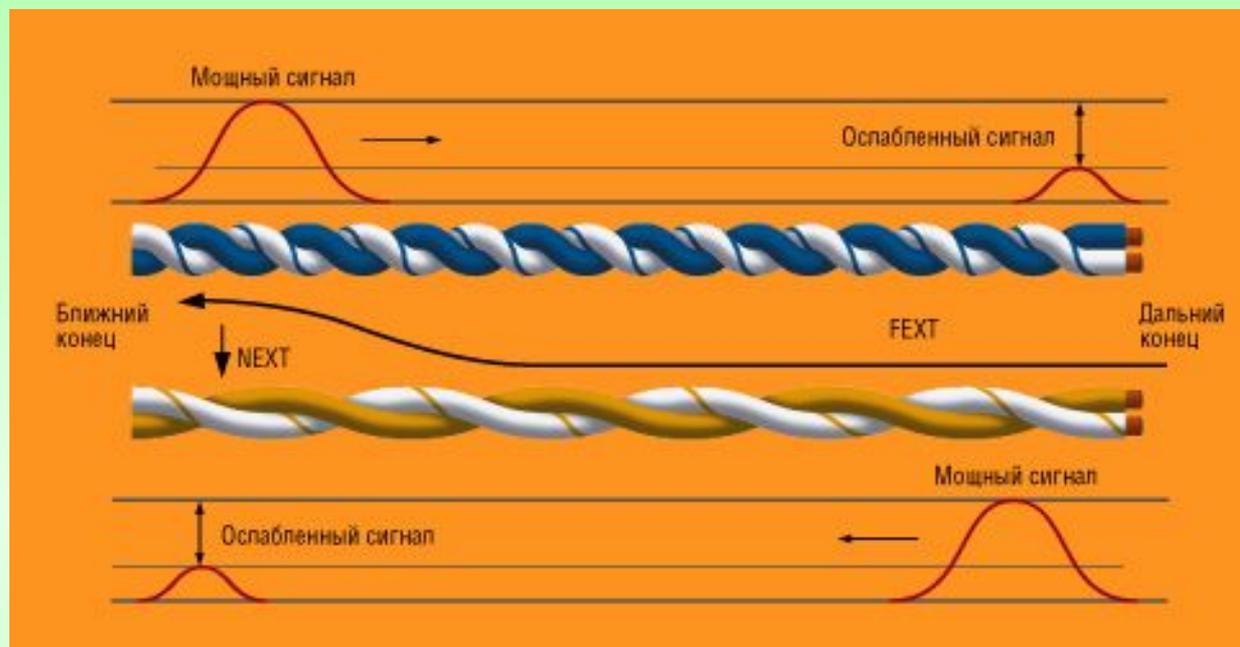
Перекрестные помехи



Переходное затухание (перекрестные помехи) характеризует помехи от активного сигнала, наведенные в соседней витой паре; выражается в децибелах (дБ, dB):
$$dB = 20 * \log_{10}(U_{вх} / U_{наведен.})$$

Переходное затухание, dB	Напряжение в активной паре, В	Наведенное напряжение в соседней паре, В
3	1	0.7
6	1	0.5
10	1	0.3
20	1	0.1

Виды переходного затухания



PS NEXT

Переходное затухание на ближнем конце (NEXT, Near End Cross Talks).

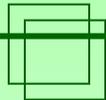
Сигнал имеет наибольшую мощность сразу же после момента передачи данных, поэтому именно на ближнем конце он производит наибольшие наводки в соседней витой паре.

Суммарное переходное затухание (PS NEXT, Power Sum NEXT).

Некоторые сетевые архитектуры задействуют сразу несколько пар при передаче в одном направлении, поэтому PS NEXT важно контролировать после прокладки СКС.



Виды переходного затухания



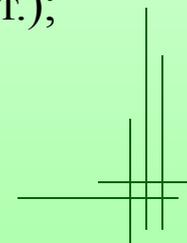
Переходное затухание на дальнем конце (FEXT, Far End Cross Talks).

С одной стороны кабеля сигнал пускают в линию, с другой на неактивной паре измеряют наводки. Также этот параметр актуален для систем, использующих несколько витых пар при передаче одновременно, например, Gigabit Ethernet. FEXT характеризует последствия полнодуплексных операций, когда сигналы генерируются одновременно на ближнем и дальнем концах.

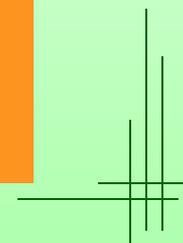
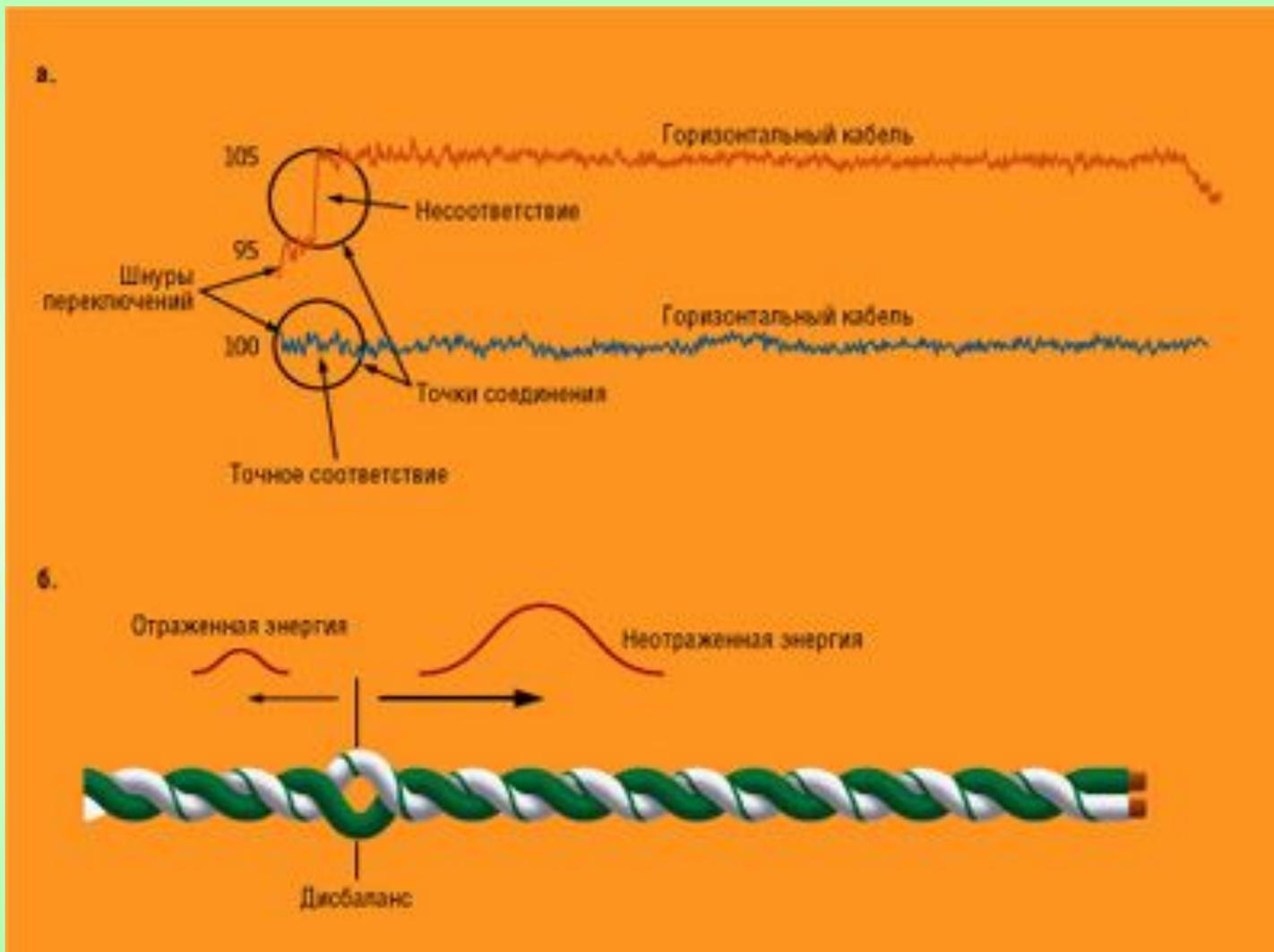
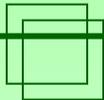
Возратные помехи (Return Loss, см. рисунок на след. слайде).

Любое отклонение от импеданса кабельной сети по длине кабеля приведет к тому, что часть сигнала отразится назад к источнику данных (т.е. уменьшится энергия сигнала в прямом направлении). Изменение импеданса может быть вызвано множеством причин:

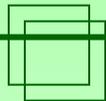
- несоблюдение технологии в процессе изготовления (расстояние между проводниками, нарушение свойств изолирующего материала);
- несоответствие компонентов (кабель 5 категории, розетка - для 3 кат.);
- неправильная укладка СКС (несоблюдение норм на радиус изгиба, монтажа разъемов на кабель).



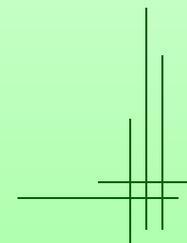
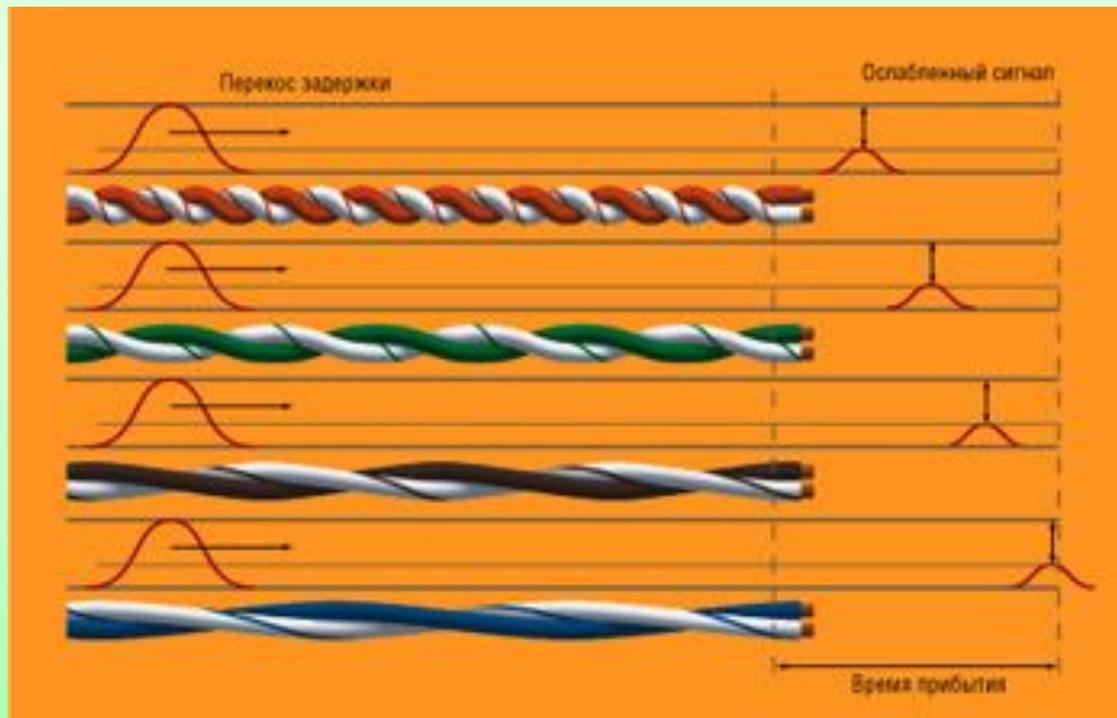
Импеданс, возвратные помехи



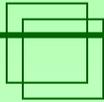
Переко́с заде́ржки



Переко́с заде́ржки (Skew) характеризует рассинхронизацию сигналов (например, из-за разного шага скрутки, а, сл., разной длины провода), идущих по разным витым парам внутри одного кабеля. Этот параметр важен для сетевых архитектур со скоростями передачи более 100 Мбит/с (каждый метр расхождений в длине витых пар - примерно 3нс расхождения по времени).

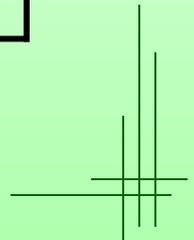


Характеристика 100BaseT

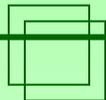


Для сети Fast Ethernet (100BaseT) характерна следующая зависимость скорости передачи от качества СКС. Увеличение числа ошибок при передаче данных до одного процента приводит к снижению пропускной способности на 80%.

Процент повторных передач	Потенциальная пропускная способность, Мбит/с
0	100
1%	20
2%	4
3%	0.8
4%	0.16
5%	0.032



Сравнит. показатели УТР

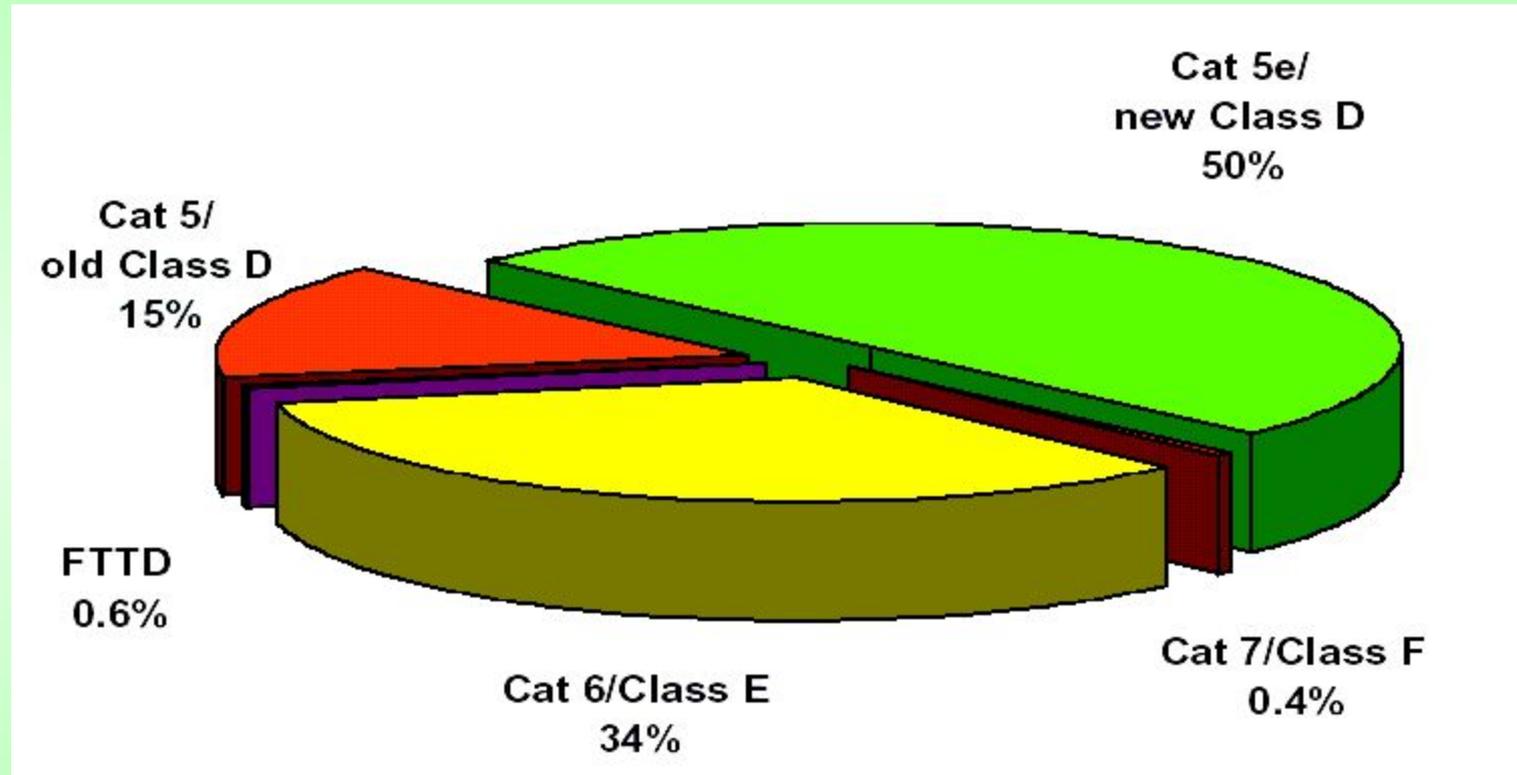
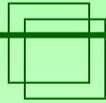


Час- тота [МГц]	Cat. 3		Cat. 5		Cat. 5e		Cat. 6		Cat. 7	
	Att. [dB]	NEXT [dB]								
1	2.6	41.0	2.1	62.0	2.1	65.0	2.1	66.0	2.1	80.0
4	5.6	32.0	4.3	53.0	4.3	56.0	3.8	66.0	3.9	80.0
10	9.7	26.0	6.6	47.0	6.6	50.0	6.0	60.0	6.0	80.0
20			9.2	42.0	9.2	45.0	8.5	55.5	8.5	80.0
62,5			17.1	35.0	17.1	38.0	15.5	48.1	15.0	75.0
100			22.0	32.0	22.0	35.0	19.9	45.0	19.0	71.0
155							25.3	42.2	24.0	68.0
200							29.2	40.5	27.0	66.0
300									33.0	64.0
600									50.0	60.0

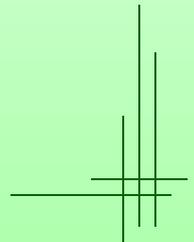
Att. (attenuation) - погонное затухание

NEXT - переходное затухание на ближнем конце

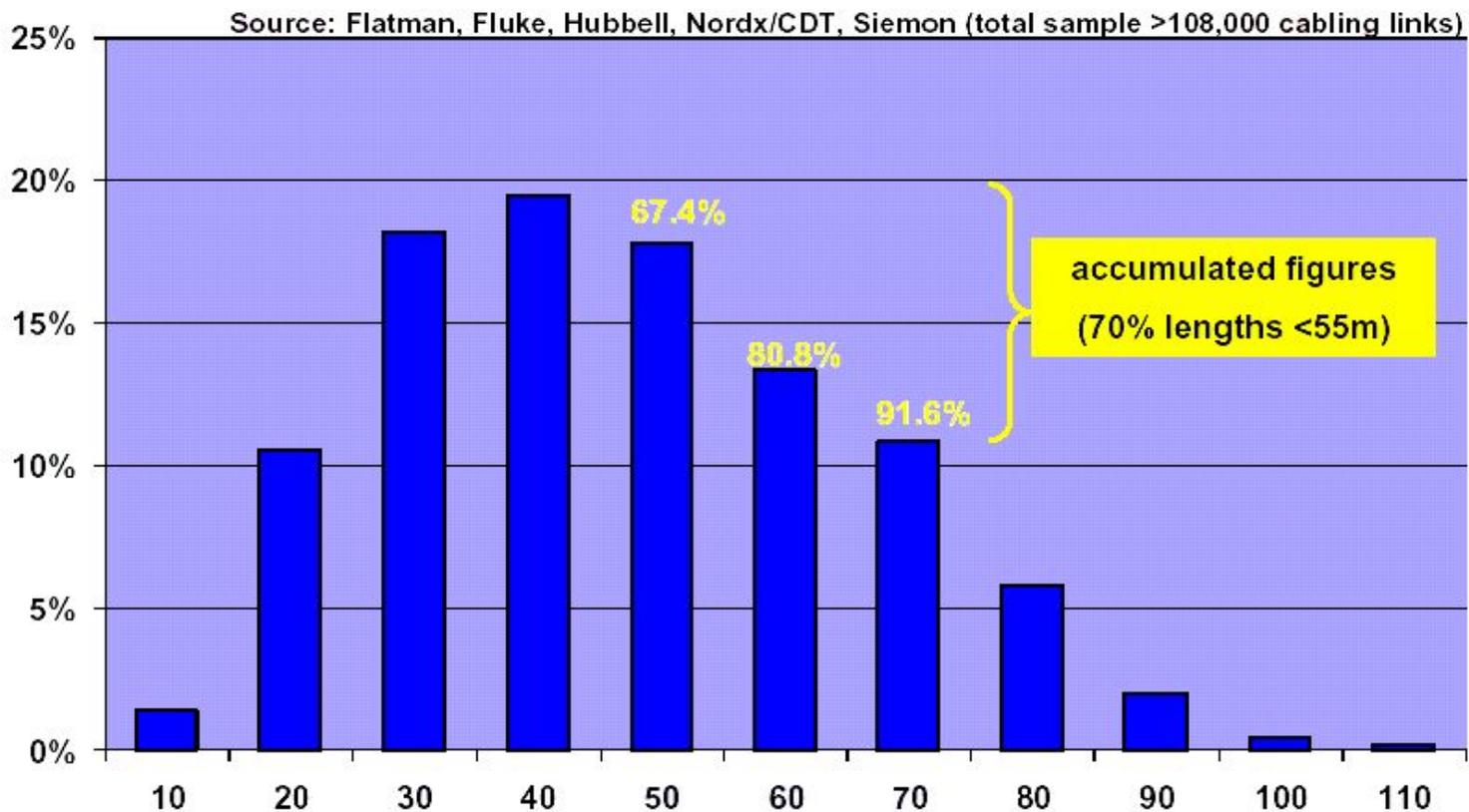
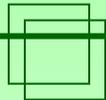
Распространенность UTP



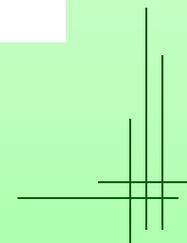
Распространенность разных категорий витой пары.
Источник: журнал LAN Technologies (Jan. 2003)



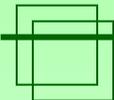
Длина проводов УТР



Длина проводных сегментов в сетях, построенных на витой паре.
70% кабелей имеют длину менее 55 метров.



Ошибки при монтаже СКС



При монтаже СКС следует избегать следующего:

- перекручивания кабеля во время протягивания или монтажа;
- растягивания кабельных пучков под действием собственного веса на кабельных подвесках;
- тугого затягивания провода кабельными хомутами;
- резких изгибов кабеля ($R_{\text{изгиба}} > 4 * \varnothing$ внешней оболочки витой пары).

Горизонтальные кабели должны использоваться в сочетании с коммутационным оборудованием и пэтч-кордами (или кроссировочными перемычками) той же, или более высокой, категории рабочих характеристик.

Следует помнить, что смонтированная кабельная система UTP классифицируется в соответствии с наихудшими рабочими характеристиками компонента линии!

