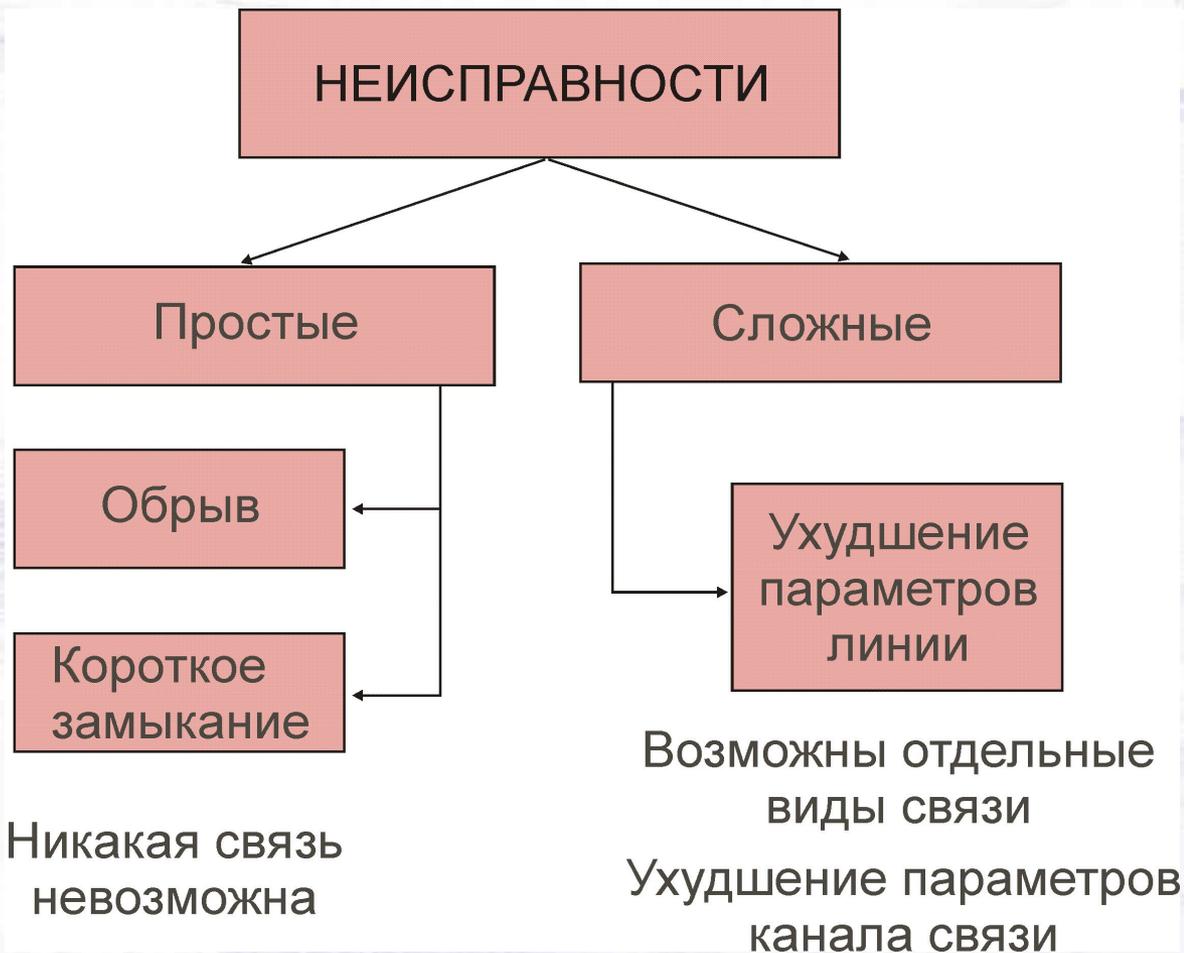


**Поиск повреждений в
магистральных кабелях
связи**

Неисправности



Простые неисправности

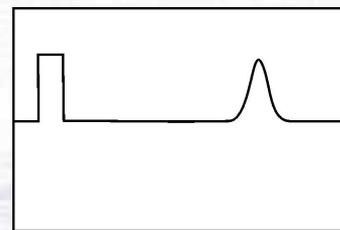


Простые неисправности – простые методы поиска

Обрыв

- Измерение емкости
- Рефлектометр
- Трассоискатель

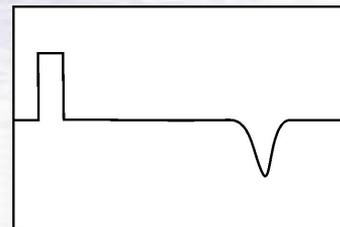
$$Lx = Cx / c$$



Короткое замыкание

- Мостовой метод
- Рефлектометр
- Трассоискатель

$$Lx = Rx / r$$



Сложные неисправности



Какие параметры канала связи влияют на его качество ?

Теорема Шеннона

Скорость V [бит/с] не может превышать значения:

$$V = W \times \log_2 \left(\frac{S}{N} + 1 \right)$$

Здесь

W - ширина используемой полосы частот [Гц],

S – уровень сигнала учитывающий затухание в линии [мВт],

N - уровень шума [мВт].

Сложные неисправности



Теорема Шеннона дает предел возможной скорости передачи

Различных технологии передачи информации

- Обеспечивают различную скорость
- Требуют различной полосы частот
- По разному реагируют на шум

Основная причина сложных неисправностей:
Слишком малое отношение сигнал/шум в рабочей полосе частот

Избыточность исправление ошибок



Различные технологии требуют различного отношения сигнал/шум.

Для приближения скорости передачи информации к пределу Шеннона используются:

- избыточные коды
- исправление ошибок
- Перемешивание (interleaving)

Избыточность исправление ошибок



На что это похоже?

Типичная система передачи с избыточностью и мягким принятием решения

1



Привет. Как дела?



Нормально



Пример без избыточности с необходимостью жесткого принятия решения

2



(4822) 41-29-91



Не расслышал, помедленнее!!



Сигнал и шумы одинаковые, а качество «связи» принципиально разное

Избыточность исправление ошибок



В чем разница?

- 1. Обмен текстовой информацией на родном языке**
- 2. Передача числовой информации.**

Почему качество «связи» разное при одном и том же канале?

- 1. Обмен с большой избыточностью и исправлением ошибок. Избыточность – в словаре, грамматике и пр. правилах. Не все сочетания букв образуют слово. Слова расставляют не как попало, а по правилам. Есть устоявшиеся штампы.**
- 2. Обмен с малой избыточностью. Цифры могут быть какие угодно. В шумах разобрать очень трудно.**

От аналоговой к цифровой



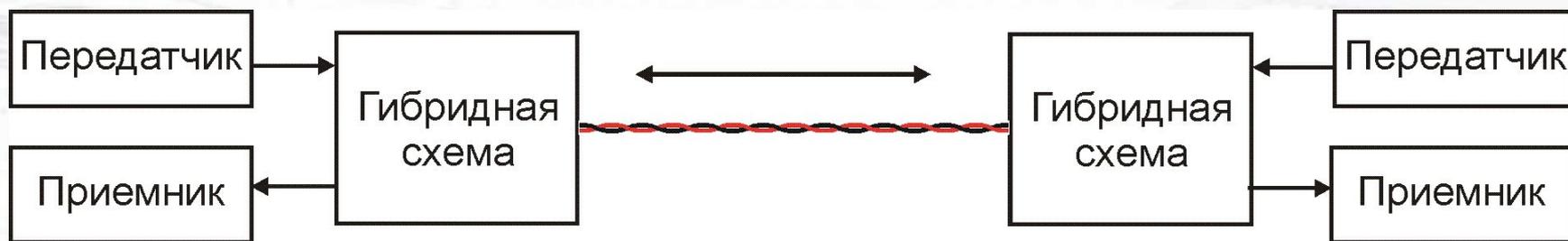
	К-60П аналоговая	ИКМ	HDSL	SHDSL
Длина регенерационного участка (кабель 1,2 мм) [км].	20	7	7,5	20
Диапазон частот [кГц]	252	1024	512	400
Кодирование	ЧРК	АМІ или HDB3	2В1Q или CAP	ТС-PAM16
Скорость [кб/сек]	-	2048	2048	192-2320
Избыточность в линейном коде	-	нет	нет	есть

SHDSL



Технология SHDSL

SHDSL



- **Передатчик** – выдает кодированный в TC-PAM сигнал с управляемым уровнем (обычно 13,5 дБм)
- **Приемник** – осуществляет усиление, фильтрацию, подавление межсимвольной интерференции (эквалайзер), декодирование
- **Гибридная схема** – преобразует четырехпроводную схему в двухпроводную и обеспечивает согласование с линией связи

Стандарты:

ITU-T Recommendation G.991.2.

ETSI TS 101 524

ТС-РАМ

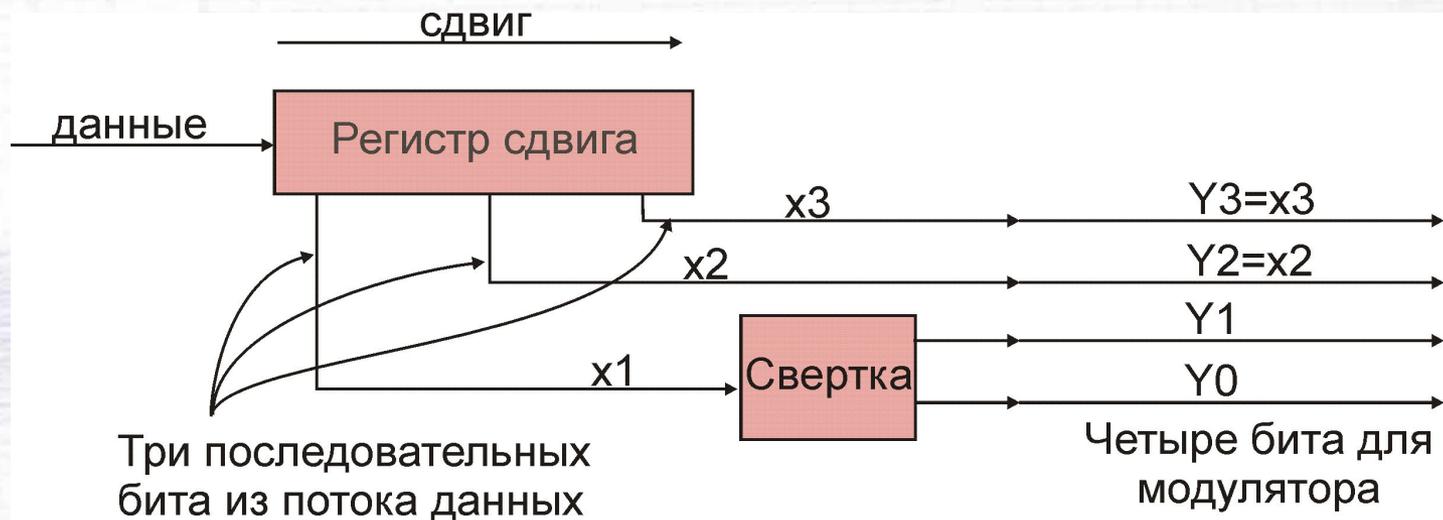


**Линейное кодирование ТС-РАМ =
решеточное избыточное кодирование (Trellis Coded) +
амплитудно-импульсная модуляция (РАМ)**

ТС-РАМ



Принцип кодирования



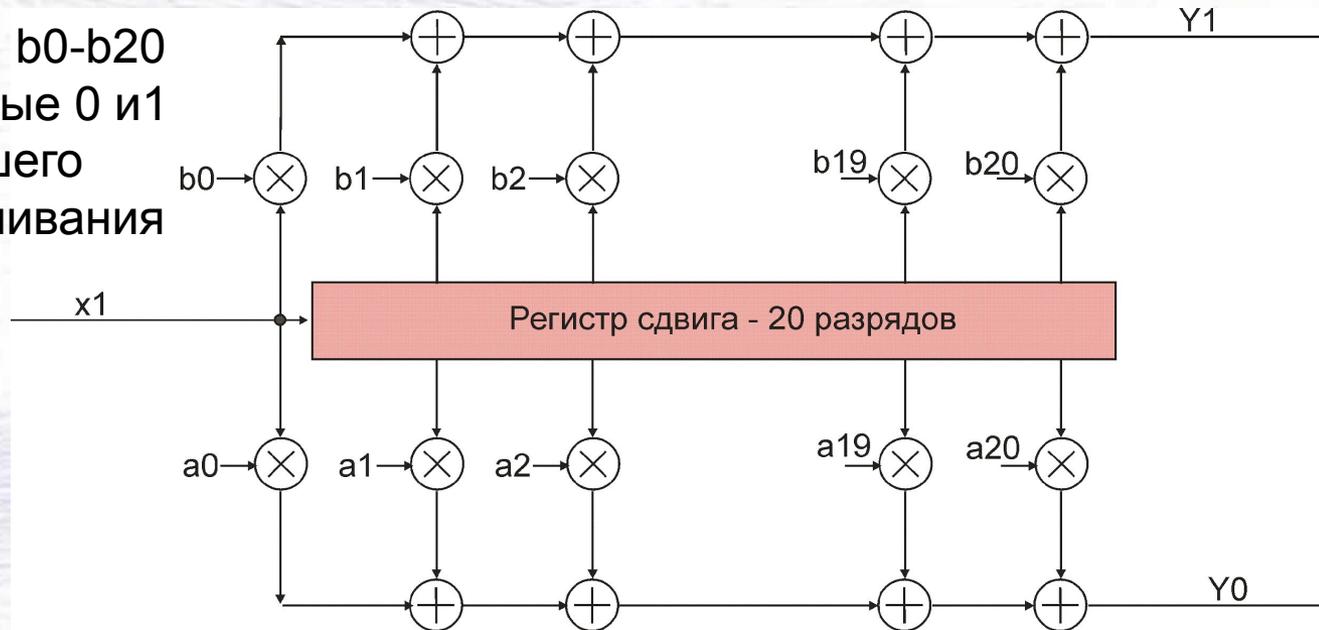
Избыточность:
Из каждых трех бит делается четыре

ТС-РАМ



Свертка - крутой замес:

$a_0 - a_{20}$, $b_0 - b_{20}$
волшебные 0 и 1
для лучшего
перемешивания



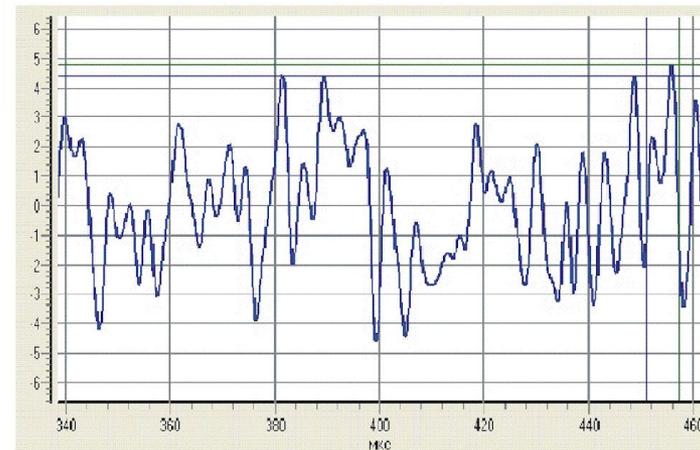
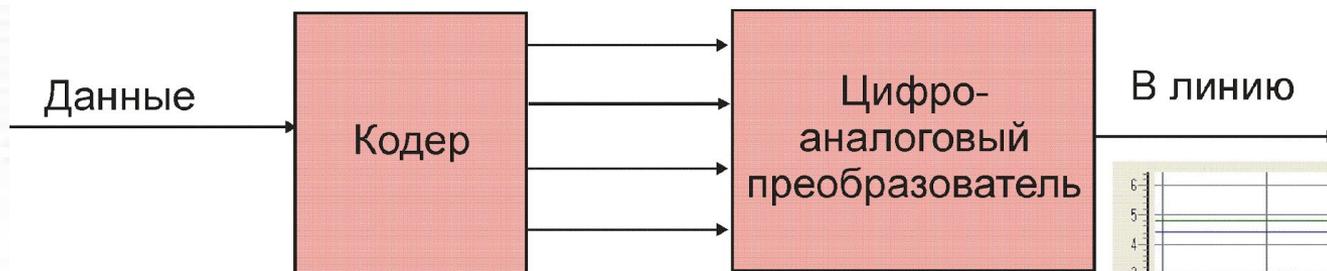
Выходное слово определенным зависит от текущего бита и 20-ти предыдущих!!

ТС-РАМ



Формирование импульсов

Четыре (для ТС-РАМ16) бита состояния



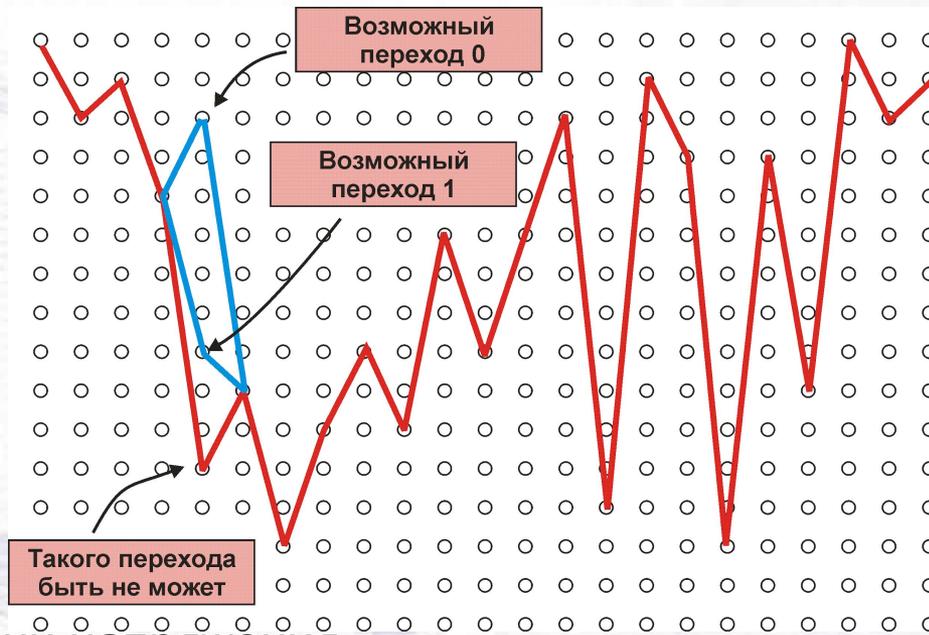
1	1	0	0	1/16
1	1	0	1	3/16
1	1	1	0	5/16
1	1	1	1	7/16
1	0	0	0	9/16
1	0	0	1	11/16
1	0	1	0	13/16
1	0	1	1	15/16

ТС-РАМ



Зачем избыточность и перемешивание?

- Избыточность приводит к тому что не все переходы имеют право на жизнь.
- Перемешивание направлено на максимальное разделение правильных переходов



Кружочки – состояния или уровни напряжения

Красная линия – зарегистрированная приемником последовательность уровней

Один из переходов содержит ошибку. Такой переход невозможен.

Возможны два других (показаны синим) варианта

Какой бы из вариантов выбрали Вы?

Декодер Витерби поступит также и исправит ошибку по критерию максимального правдоподобия



Итак

- Приемник анализирует не конкретное напряжение на линию, а последовательность из 23 тактовых интервалов.
- Строит таблицу переходов.
- Восстанавливает данные принимая мягкое решение на основе критерия максимального правдоподобия.

ТС-РАМ



Что в итоге дает использование ТС-РАМ?

- **Возможность работы с предельными значениями отношения сигнал/шум (типично 18 дБ).**
- **Работа на длинных линиях.**



Линии связи и отношение сигнал/шум



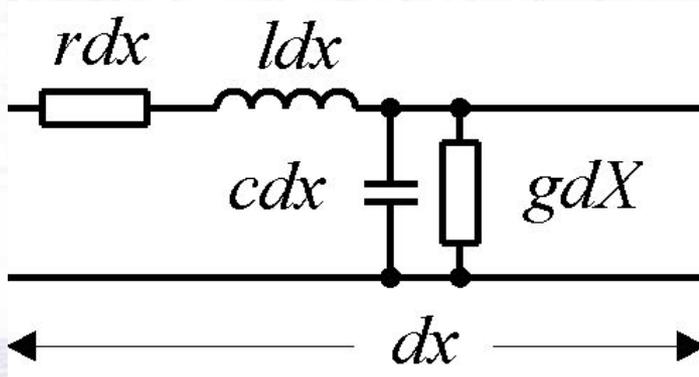
Что происходит с сигналом при передаче по линии связи?

Витая пара



Стандартная модель линии

Удельные (в расчете на 1 метр)



r Сопротивление

l Индуктивность

c Емкость

g проводимость изоляции

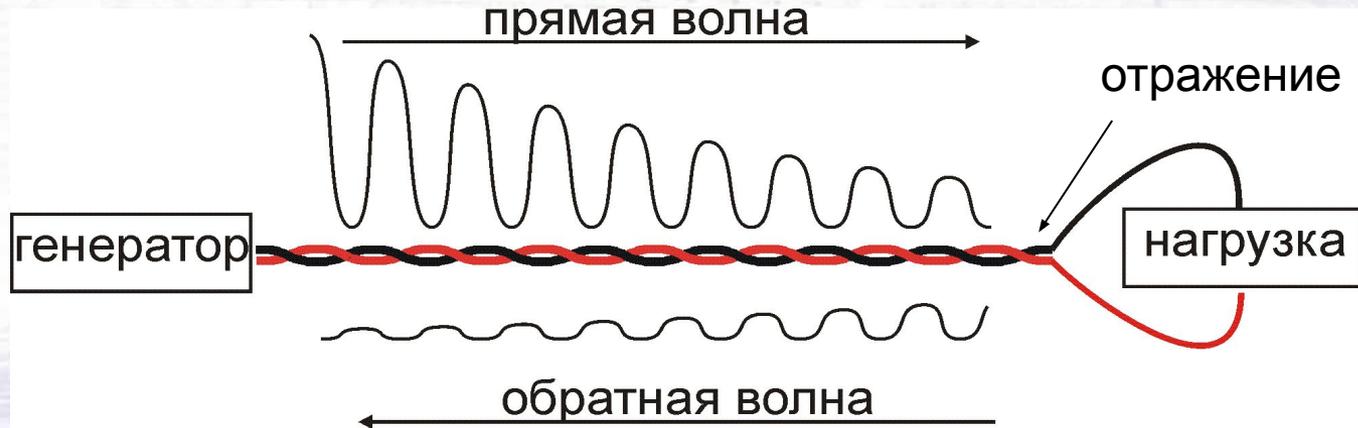
$$\begin{cases} \frac{\partial V}{\partial x} = -l \times \frac{\partial I}{\partial t} - r \times I \\ \frac{\partial I}{\partial x} = -c \times \frac{\partial V}{\partial t} - g \times V \end{cases}$$

Телеграфное уравнение для
напряжения $V(x, t)$
и тока $I(x, t)$

Витая пара



Решение уравнения обычно ищется в виде двух волн
– прямой (+) и возвратной (-)



Для тока

$$I = (I_- \exp(\gamma x) + I_+ \exp(-\gamma x)) \times \exp(j\omega t)$$

Для напряжения

$$V = (V_- \exp(\gamma x) + V_+ \exp(-\gamma x)) \times \exp(j\omega t)$$

Процессы в однородном кабеле полностью описываются постоянной распространения γ и коэффициентами отражения

Витая пара



Постоянная распространения зависит от первичных параметров кабеля:

$$\gamma = \sqrt{(r + j\omega l) \times (g + j\omega c)} = \alpha + j\beta$$

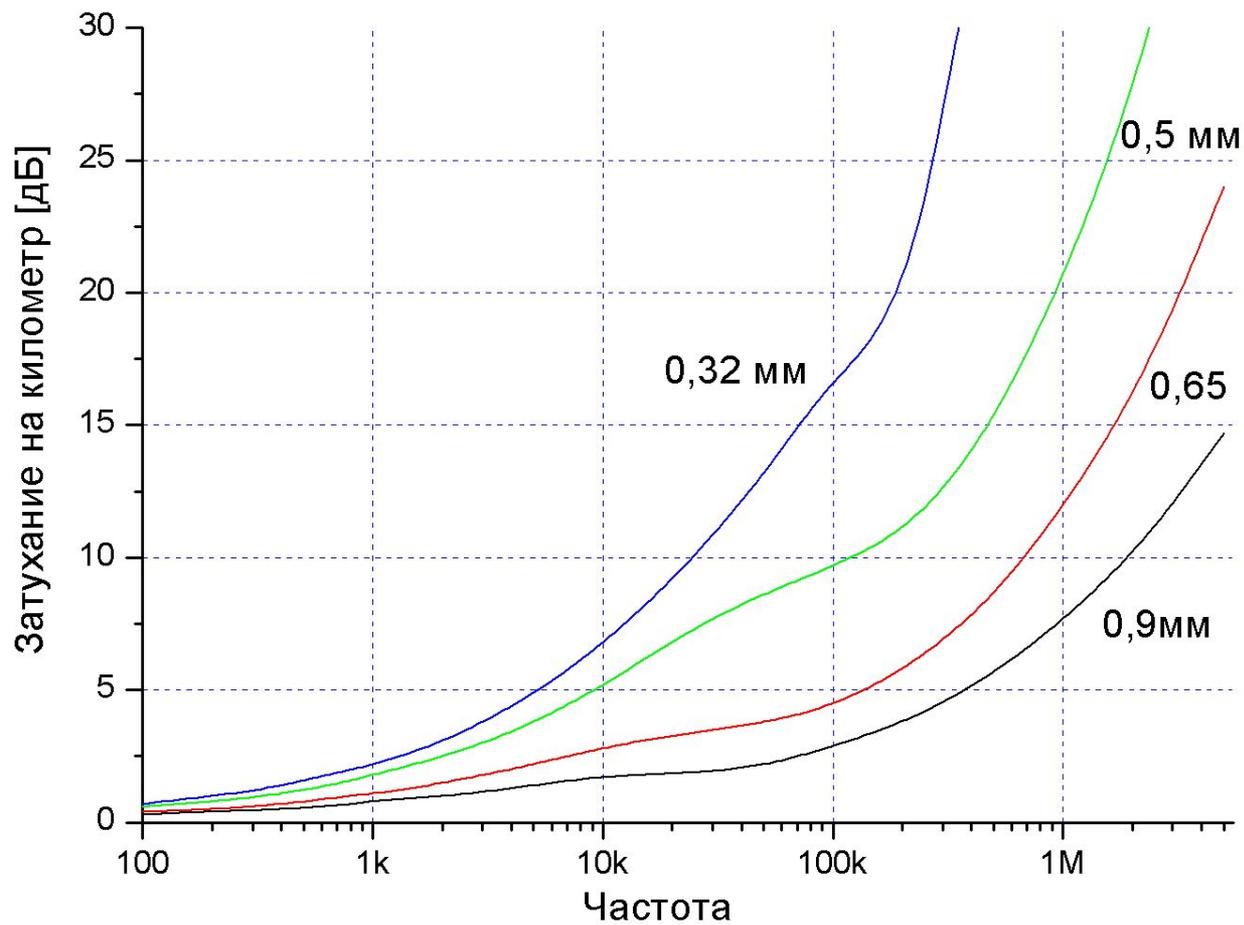
α Коэффициент затухания в Неп/м, (1 Неп= 8,69 дБ)

β Коэффициент фазы в рад/м

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \left(rg - lc\omega^2 + \sqrt{(r^2 + l^2\omega^2)(g^2 + c^2\omega^2)} \right)}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} \left(-rg + lc\omega^2 + \sqrt{(r^2 + l^2\omega^2)(g^2 + c^2\omega^2)} \right)}$$

Витая пара



Витая пара



Отражение

На краях линии и на неоднородностях возникают отражения волны.

Коэффициент отражения связан с импедансом нагрузки и «волновым сопротивлением» кабеля:

$$\rho = \frac{Z_{нагр} - Z_0}{Z_{нагр} + Z_0}$$

Волновое сопротивление:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{r + j\omega l}{g + j\omega c}}$$

Витая пара



Волновое сопротивление:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{r + j\omega l}{g + j\omega c}}$$

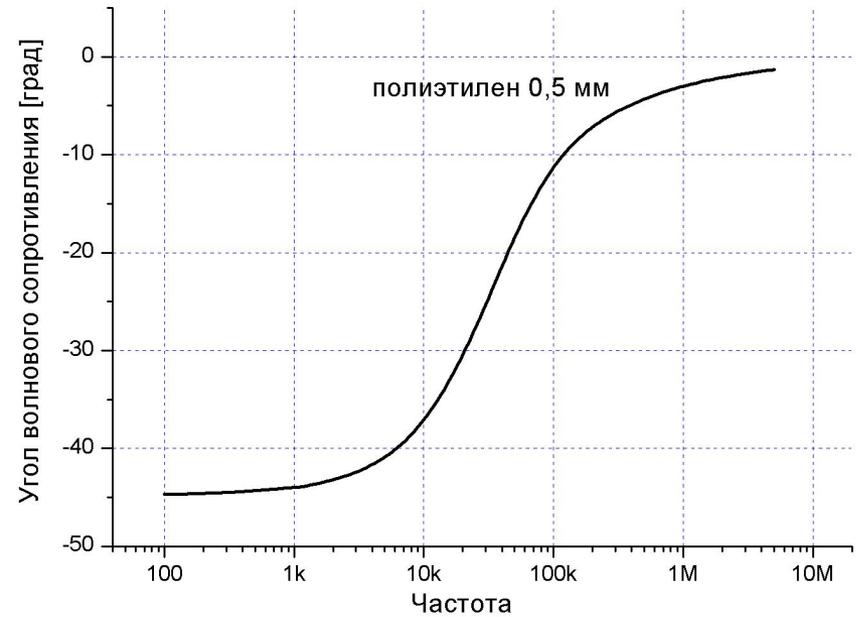
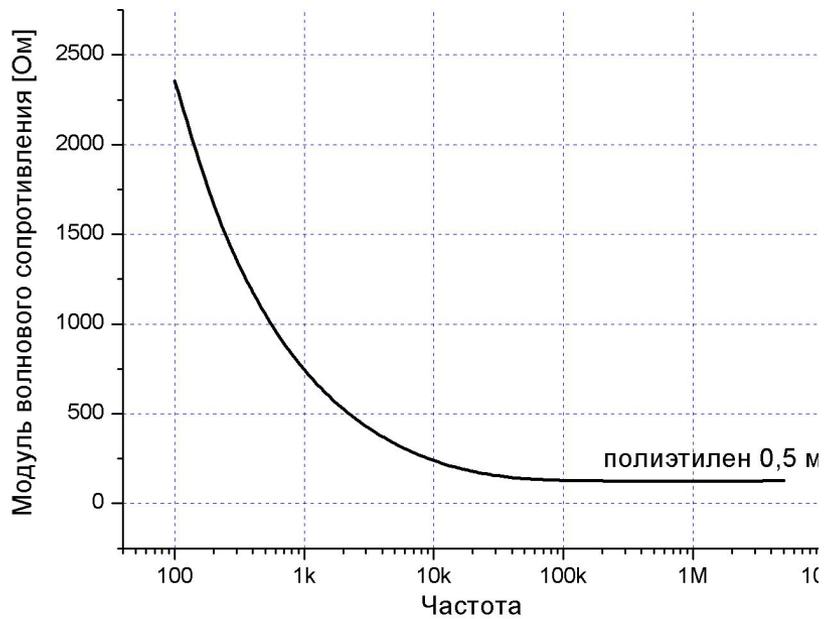
$$|Z_0| = \sqrt{\frac{(r^2 + l^2\omega^2)}{(g^2 + c^2\omega^2)}}$$

$$\text{Угол } Z_0 = \frac{1}{2} \left(\text{arctg} \frac{l\omega}{r} - \text{arctg} \frac{c\omega}{g} \right)$$

Витая пара



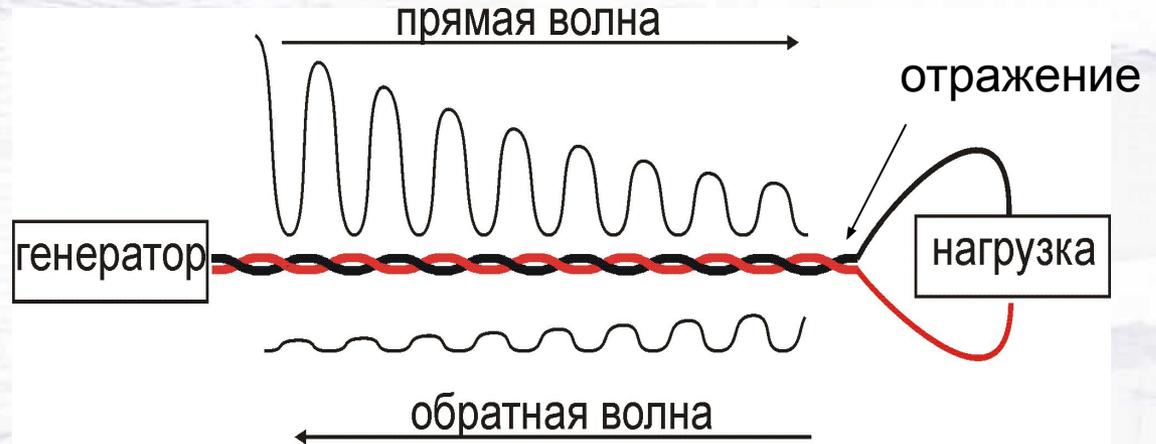
Волновое сопротивление



Витая пара



Отражение



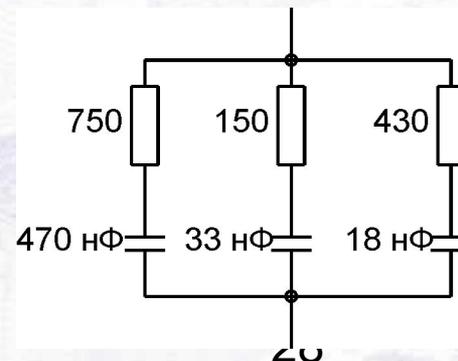
$$\rho = \frac{Z_{нагр} - Z_0}{Z_{нагр} + Z_0}$$

Отражение отсутствует только при согласованной нагрузке

Обычно выбирают в качестве нагрузки просто резистор. Для разного диапазона он разный.

ТЧ	600 Ом
SHDSL	135 Ом
ИКМ60	120 Ом
Еще выше	100 Ом

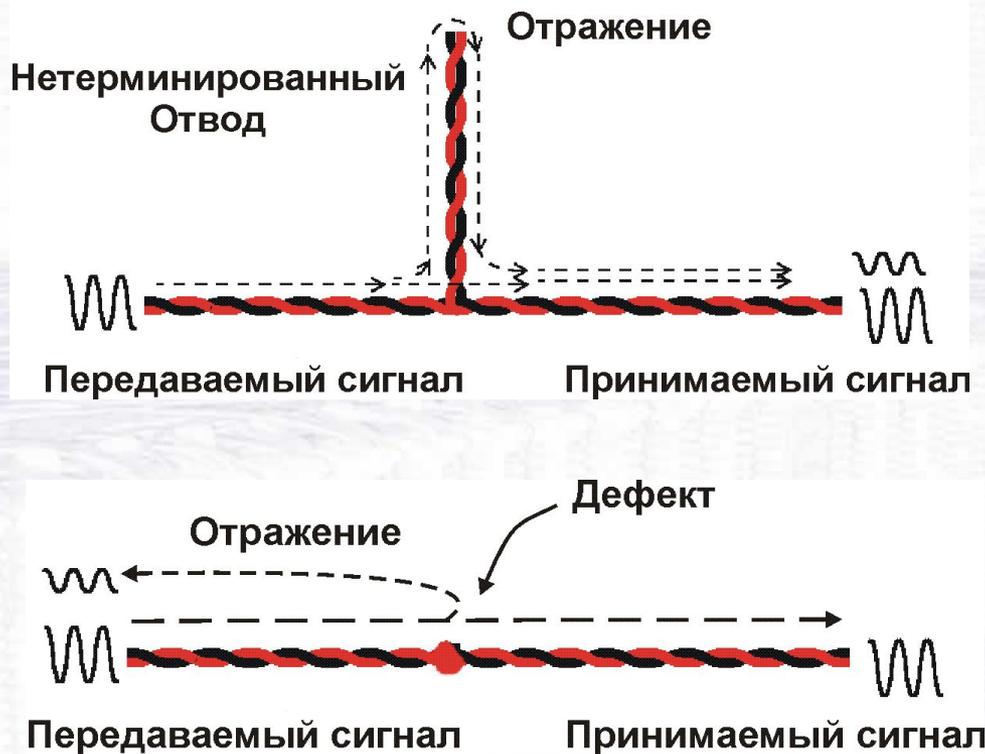
Более правильное согласование



Витая пара



Отражения возникают не только от концов кабеля, но и от различного рода неоднородностей.
Контроль отражений чрезвычайно важен.



На длинных кабелях
возможны стоячие волны
и прочие чудеса.

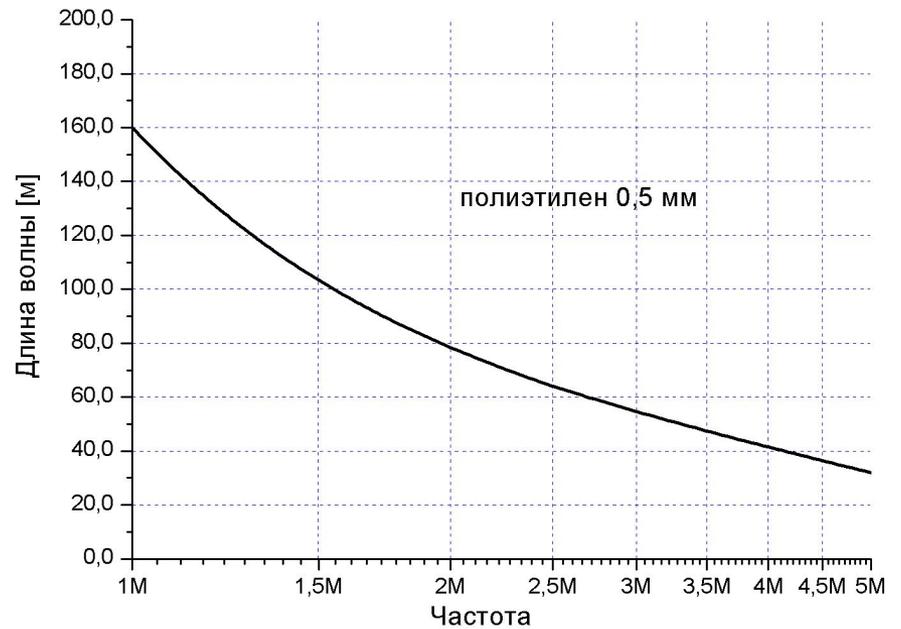
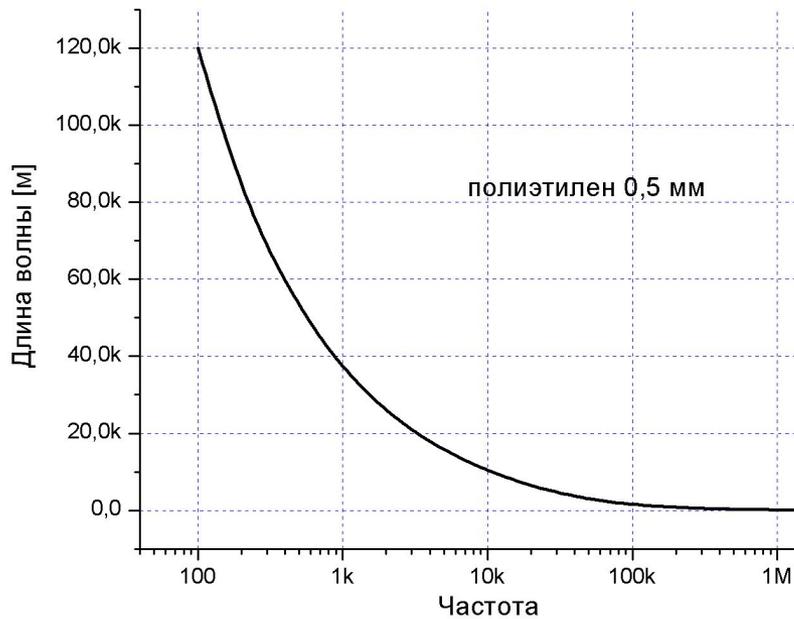
Современная аппаратура
имеет встроенные механизмы
эхо-подавления, но это борьба
со следствием а не с причиной.

Витая пара



Отражения и стоячие волны

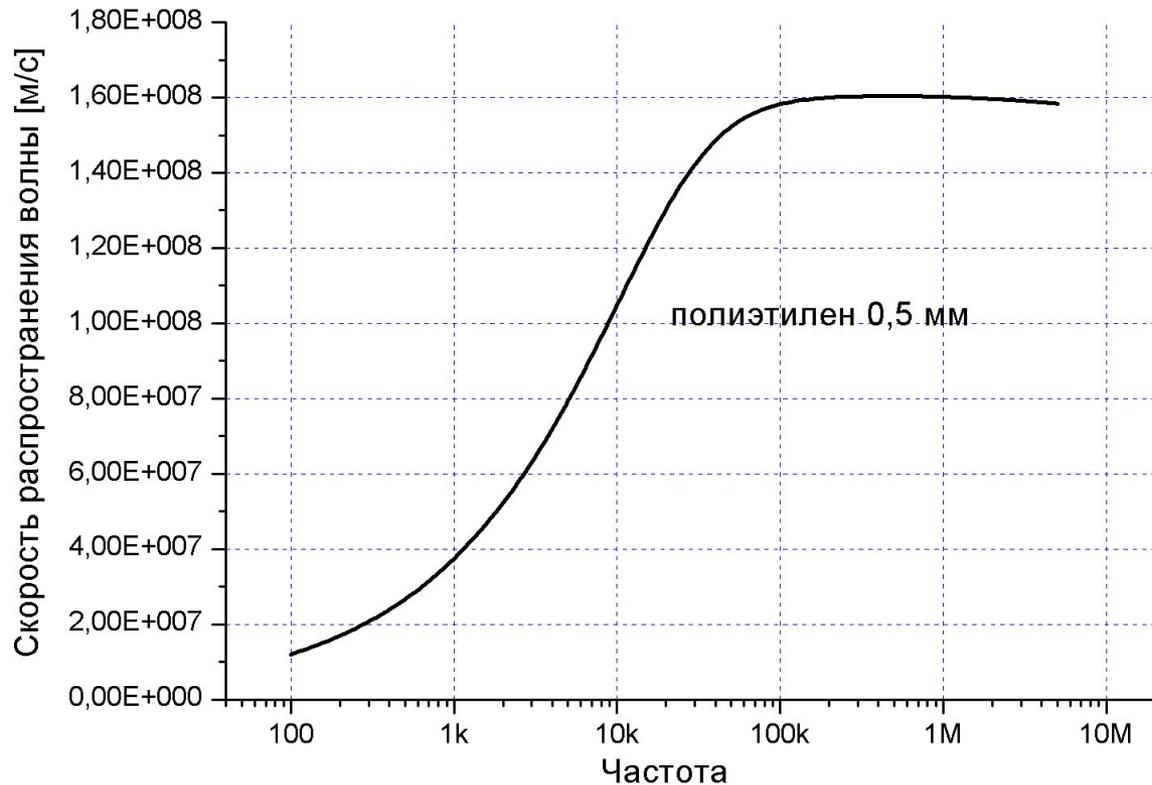
Длина волны



Витая пара



Волновая скорость распространения и дисперсия.
Сигналы с разной частотой распространяются с разной скоростью!!!





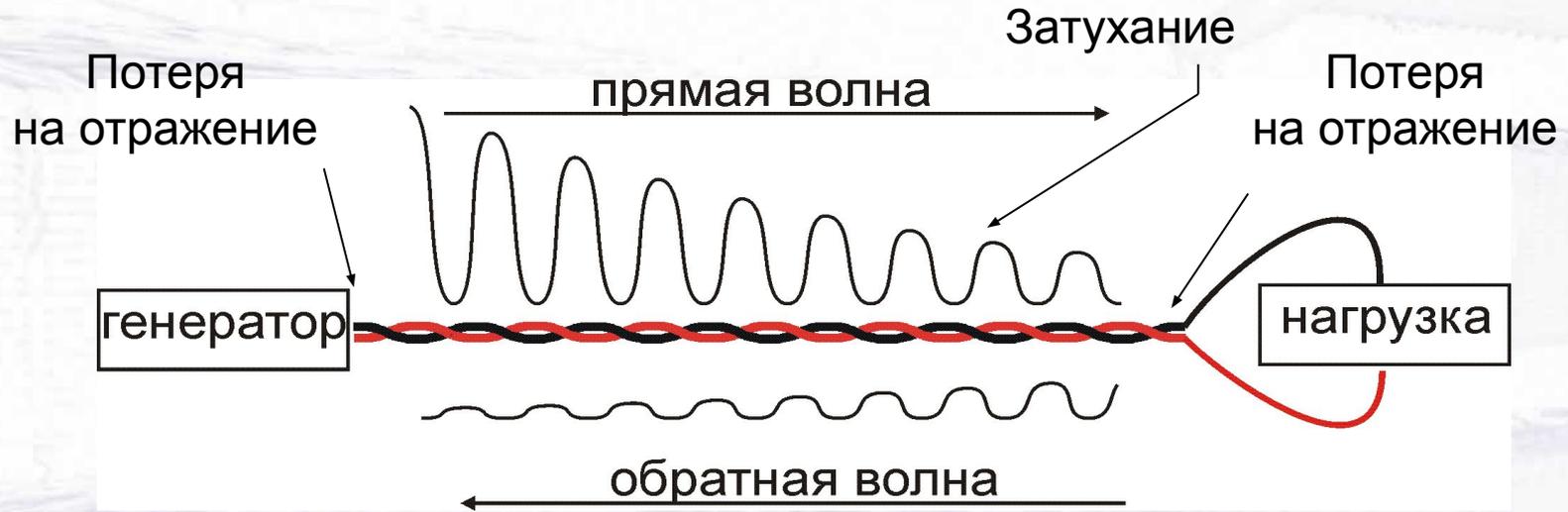
Витая пара

Вот такая витая пара.

Основные свойства влияющие на качество связи.

- **Затухание сигнала, зависящее от частоты, диаметра жилы и расстояния.**
- **Возможность множественных отражений, увеличивающая затухание и приводящая к выбиванию некоторых частот из спектра передаваемого сигнала.**
- **Дисперсия приводящая к межсимвольной интерференции.**

Передача сигнала



Дополнительное ослабление сигнала за счет излучения
Обобщенный параметр – рабочее затухание IL (Insertion Loss)

$$IL = 10 \times \log \frac{P_{RX_SIGNAL}}{P_{TX_SIGNAL}}$$

P_{TX_SIGNAL} Мощность передаваемого сигнала

P_{RX_SIGNAL}

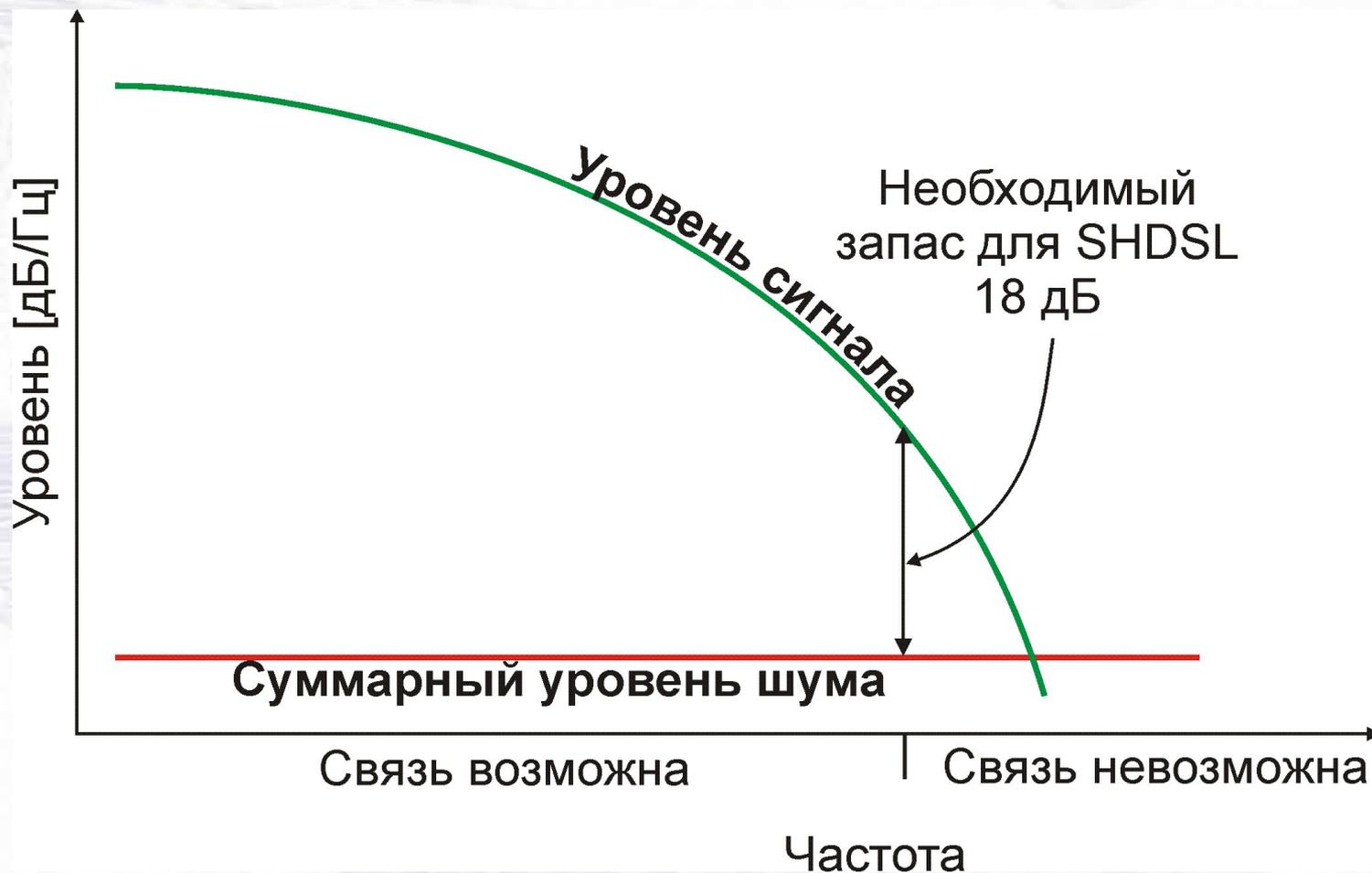
Мощность принятого сигнала

Шум



- Шум от других пар в том же кабеле.
- Шум, возникающий от своего родного сигнала за счет отражений от неоднородностей линии.
- Шум в кабеле от внешних источников.
- Собственный тепловой шум в шлейфе (обычно пренебрежимо мал).

Отношение сигнал/шум



Измерения



**Что делать если связь отсутствует
или она неустойчива, а простых
неисправностей нет?**

Главная причина – низкое отношение сигнал/шум SNR

Измерения



Как оценить отношение сигнал/шум?

**Воспользоваться специализированным
комплексом оборудования**

Рекламная пауза



ДЕЛЬТА-ПРО DSL

Генератор ДЕЛЬТА

Все рассмотренные измерения можно провести прибором ДЕЛЬТА-ПРО DSL в комплекте с Генератором ДЕЛЬТА



Измерения



Как найти причину низкого отношения сигнал/шум?

- **Слишком высокое затухание линии (низкий уровень сигнала)**
- **Слишком высокий уровень шумов**

Измерения



Повышенное затухание в линии

Причина	Метод поиска места	Прибор
Плохой контакт в муфте	Мост, рефлектометр	ИРК-ПРО Гамма, ИРК-ПРО Альфа, ДЕЛЬТА-ПРО DSL
Утечка	Мост, рефлектометр	Все модели ИРК, ДЕЛЬТА-ПРО DSL
Неоднородность кабеля, отводы	Рефлектометр, измерения емкости	ИРК-ПРО Гамма, ИРК-ПРО Альфа, ДЕЛЬТА-ПРО DSL
Разбитость пар	Рефлектометр, измерения емкости	ИРК-ПРО Гамма, ИРК-ПРО Альфа, ДЕЛЬТА-ПРО DSL
Несогласованность	Измерение затухания асимметрии, возвратных потерь	ДЕЛЬТА-ПРО DSL



Измерения

Повышенный уровень шумов

Причина	Метод поиска места	Прибор
Плохой контакт в муфте	Мост, рефлектометр	ИРК-ПРО Гамма, ИРК-ПРО Альфа, ДЕЛЬТА-ПРО DSL
Утечка	Мост, рефлектометр	Все модели ИРК, ДЕЛЬТА-ПРО DSL
Разбитость пар	Рефлектометр, измерения емкости	ИРК-ПРО Гамма, ИРК-ПРО Альфа, ДЕЛЬТА-ПРО DSL

Рекламная пауза



Принципиально новый прибор ИРК-ПРО ГАММА с возможностью наращивания измерительных функций.

- **Ударопрочный корпус**
- **Полноцветный TFT дисплей с высоким разрешением 640x480**
- **USB и IrDA порты для связи с компьютером**
- **Возможность наращивания функций, путем обновления программного обеспечения самим пользователем**



Рекламная пауза

ИРК-ПРО ГАММА

Главное меню прибор

-  Рефлектометр
-  DSP Рефлектометр
-  Мостовые измерения
-  БД Список кабелей
-  Настройки
-  Связь с ПК

