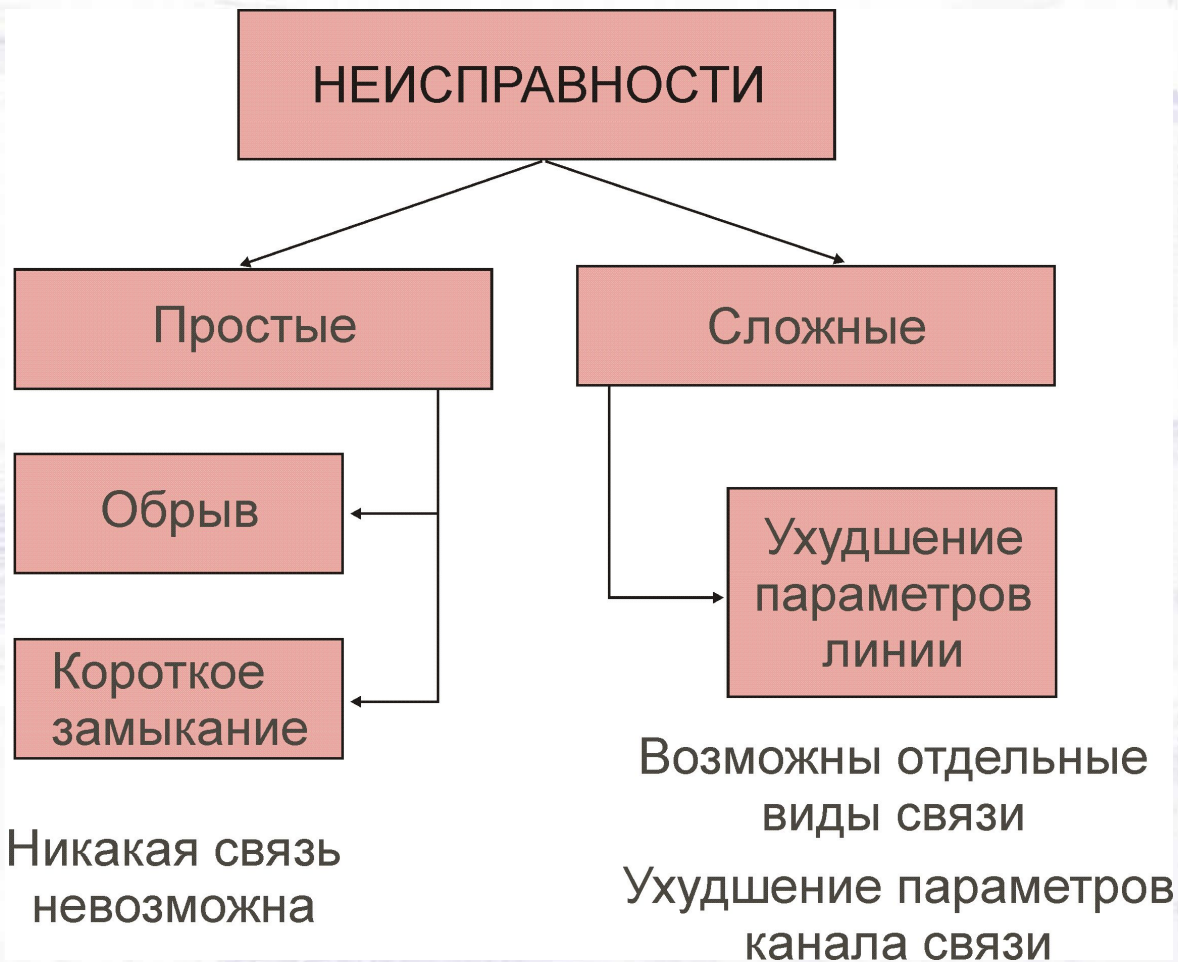


**Поиск повреждений в  
магистральных кабелях  
связи**

# Неисправности



# Простые неисправности

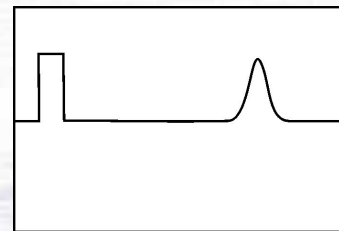


## Простые неисправности – простые методы поиска

### Обрыв

- Измерение емкости
- Рефлектометр
- Трассоискатель

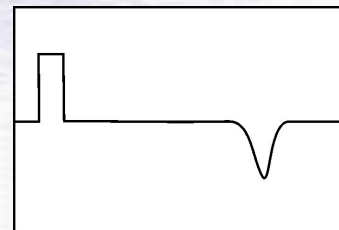
$$Lx = Cx / c$$



### 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

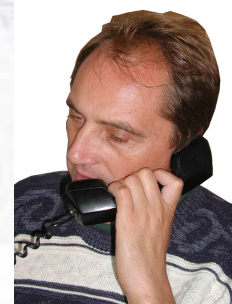
1



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



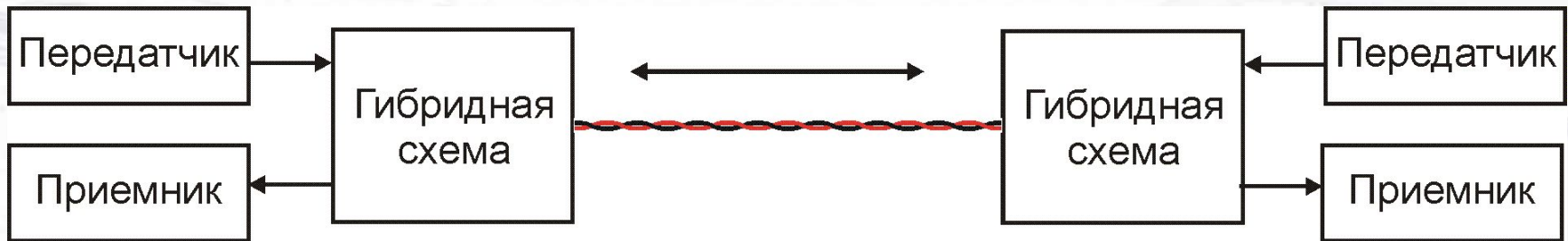
|                                                                 | <b>К-60П<br/>аналоговая</b> | <b>ИКМ</b>              | <b>HDSL</b>             | <b>SHDSL</b>    |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|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

# 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

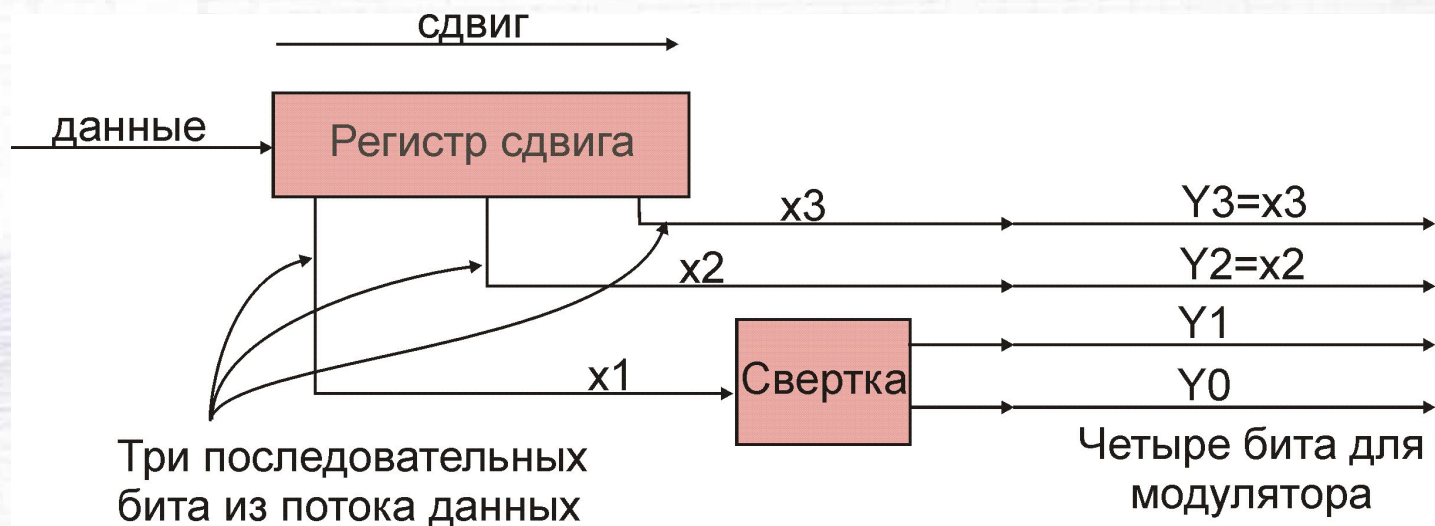


**Линейное кодирование ТС-РАМ =  
решеточное избыточное кодирование (Trellis Coded) +  
амплитудно-импульсная модуляция (РАМ)**

# ТС-РАМ



## Принцип кодирования



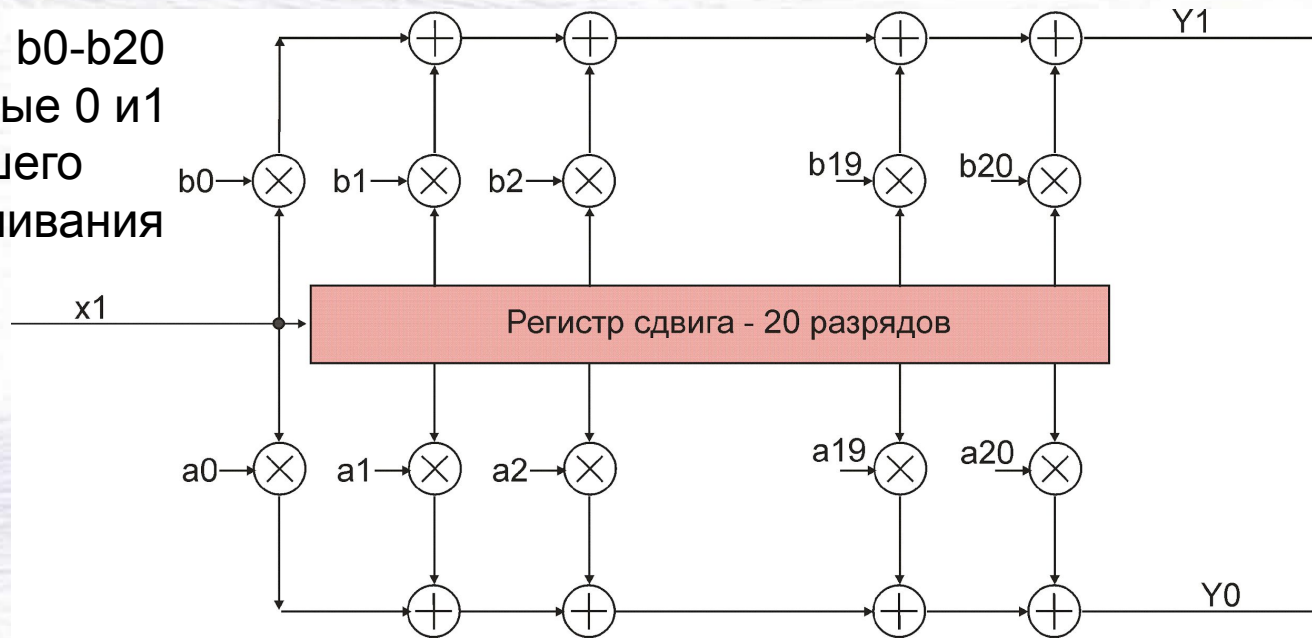
Избыточность:  
Из каждых трех бит делается четыре

# ТС-РАМ



## Свертка - крутой замес:

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



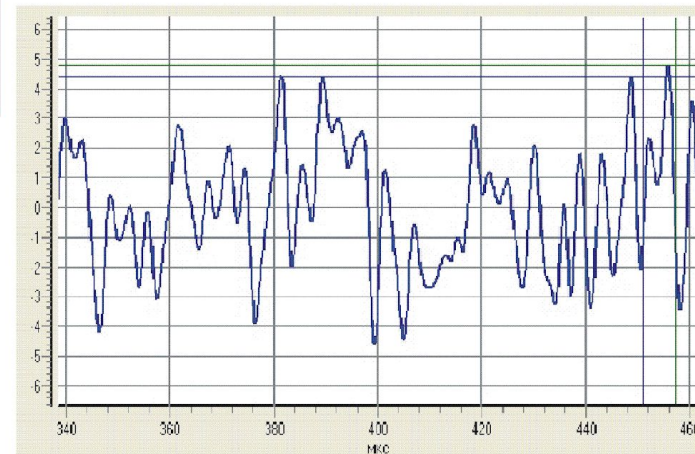
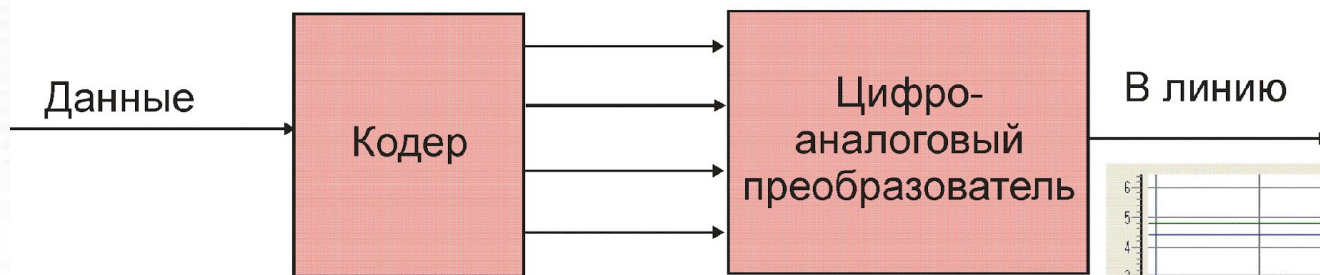
**Выходное слово определенным зависит от текущего бита и 20-ти предыдущих!!**

# ТС-РАМ



## Формирование импульсов

Четыре (для ТС-РАМ16) бита состояния



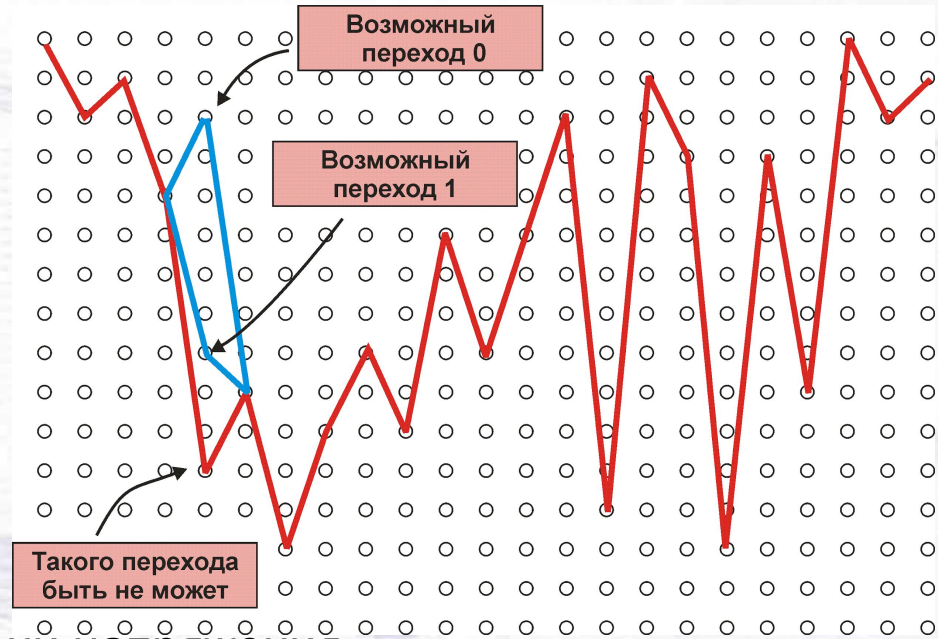
|   |   |   |   |       |
|---|---|---|---|-------|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1/16  |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 3/16  |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 5/16  |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 7/16  |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 9/16  |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 11/16 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 13/16 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 15/16 |



# 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**



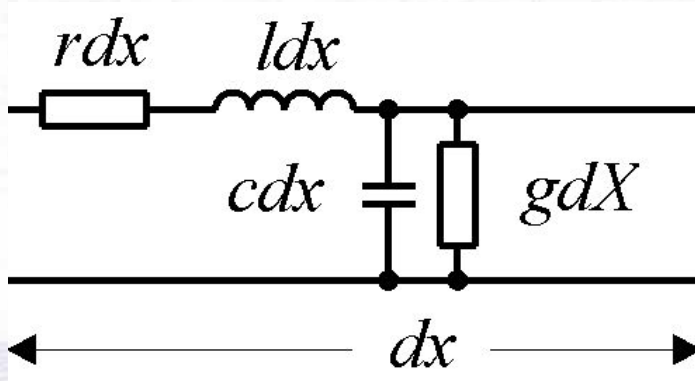
**Что происходит с сигналом при передаче по линии связи?**

# Витая пара



## Стандартная модель линии

Удельные (в расчете на 1 метр)



$r$  Сопротивление

$l$  Индуктивность

$c$  Емкость

$g$  проводимость изоляции

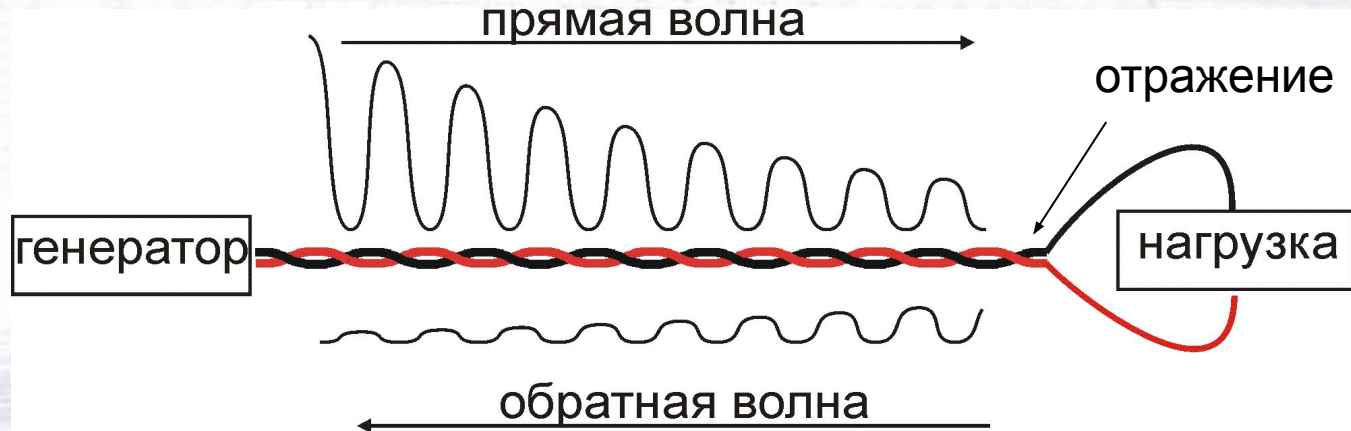
$$\begin{cases} \frac{\partial V}{\partial x} = -l \times \frac{\partial I}{\partial t} - r \times I \\ \frac{\partial I}{\partial x} = -c \times \frac{\partial V}{\partial t} - g \times V \end{cases}$$

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  $\gamma$  и коэффициентами отражения

# Витая пара



Постоянная распространения зависит от первичных параметров кабеля:

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

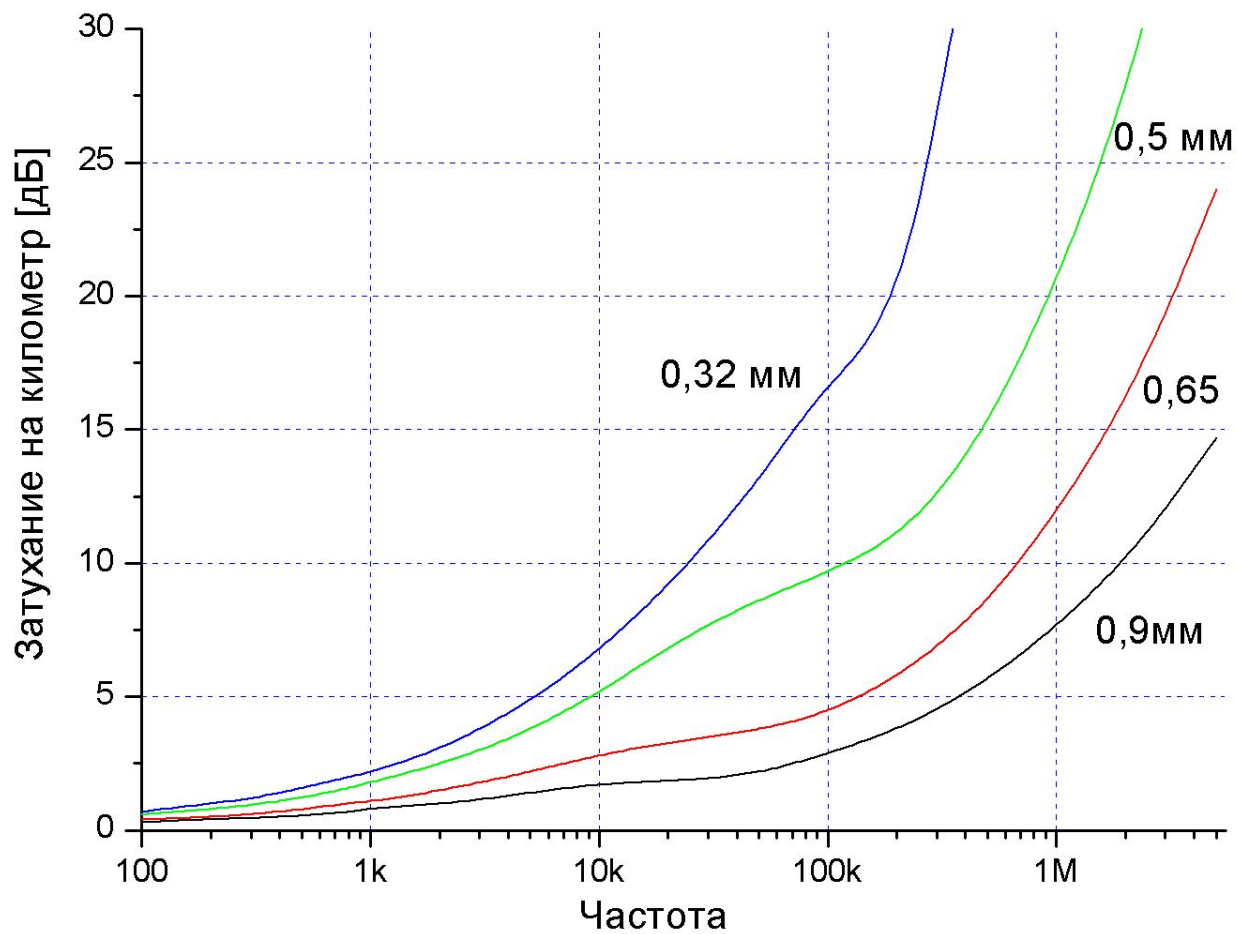
$\alpha$  Коэффициент затухания в Неп/м, (1 Неп= 8,69 дБ)

$\beta$  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:

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

Волновое сопротивление:

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

# Витая пара



Волновое сопротивление:

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

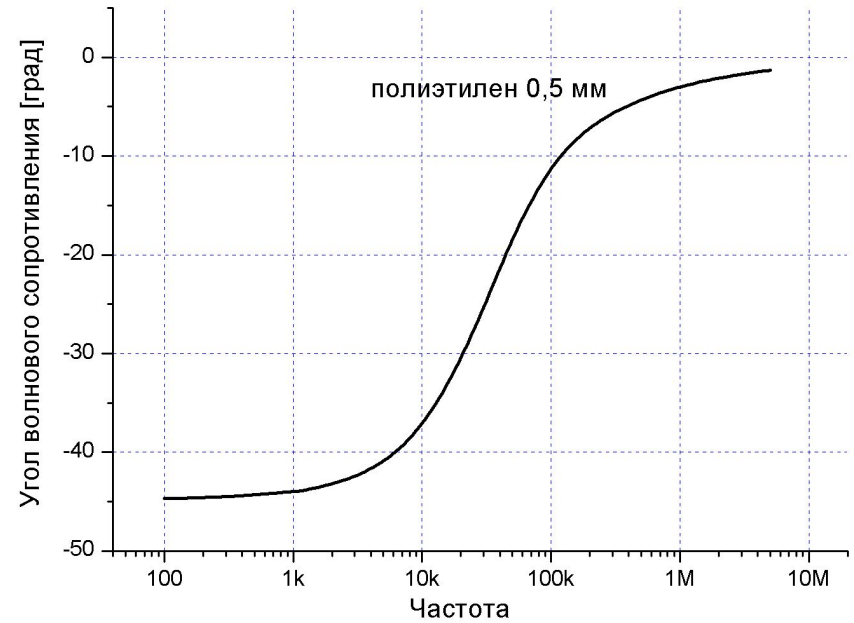
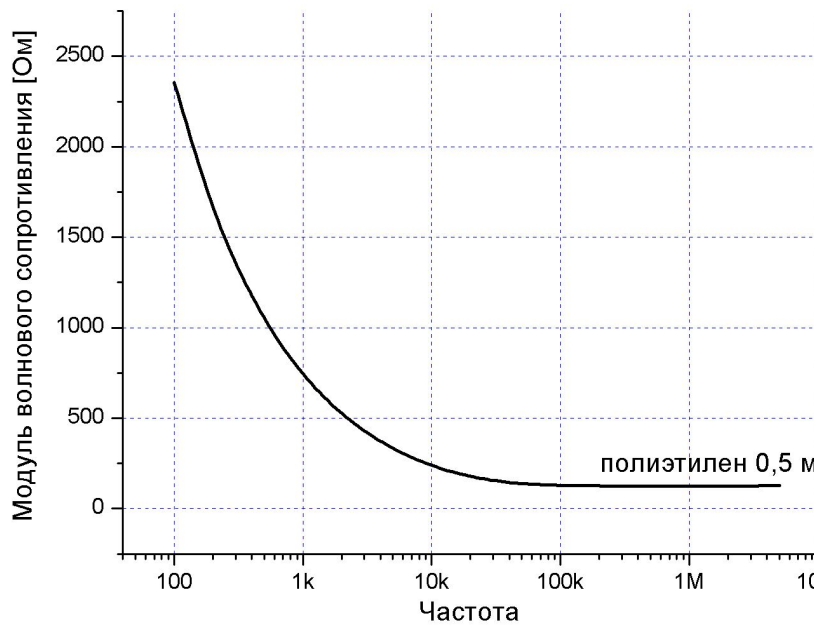
$$|Z_0| = \sqrt{\frac{(r^2 + l^2\omega^2)}{(g^2 + c^2\omega^2)}}$$

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

# Витая пара



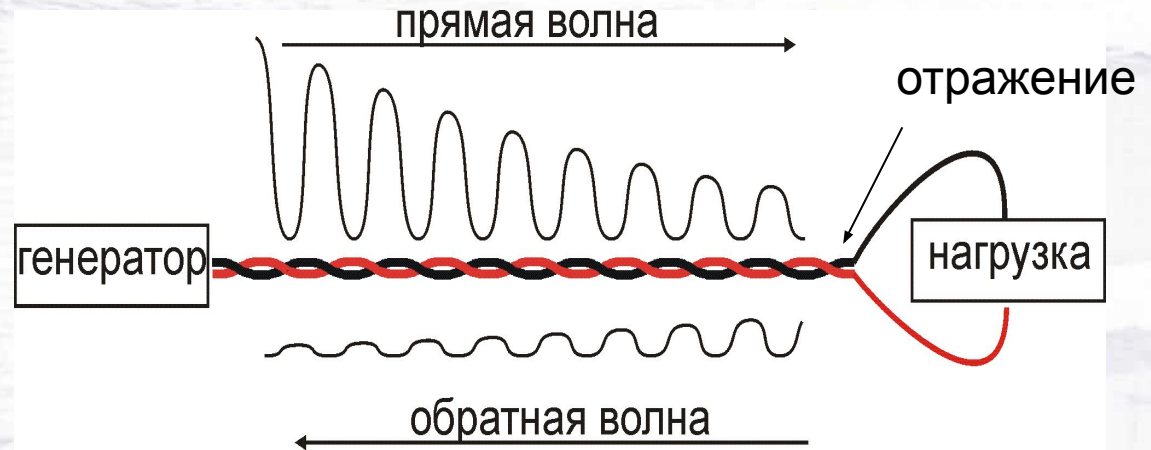
## Волновое сопротивление



# Витая пара



## Отражение



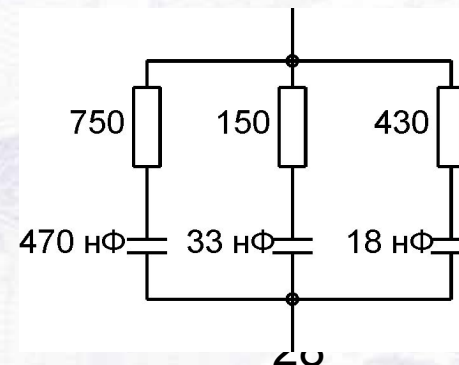
$$\rho = \frac{Z_{нагр} - Z_0}{Z_{нагр} + Z_0}$$

## 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 |

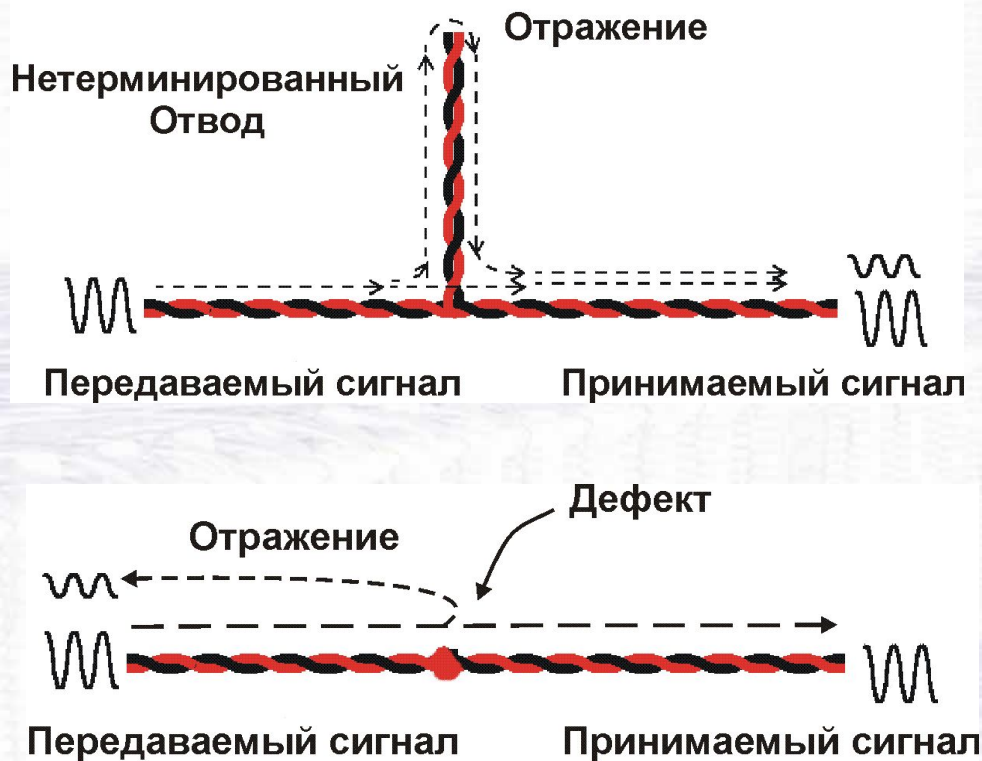
## Более правильное согласование



# 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.

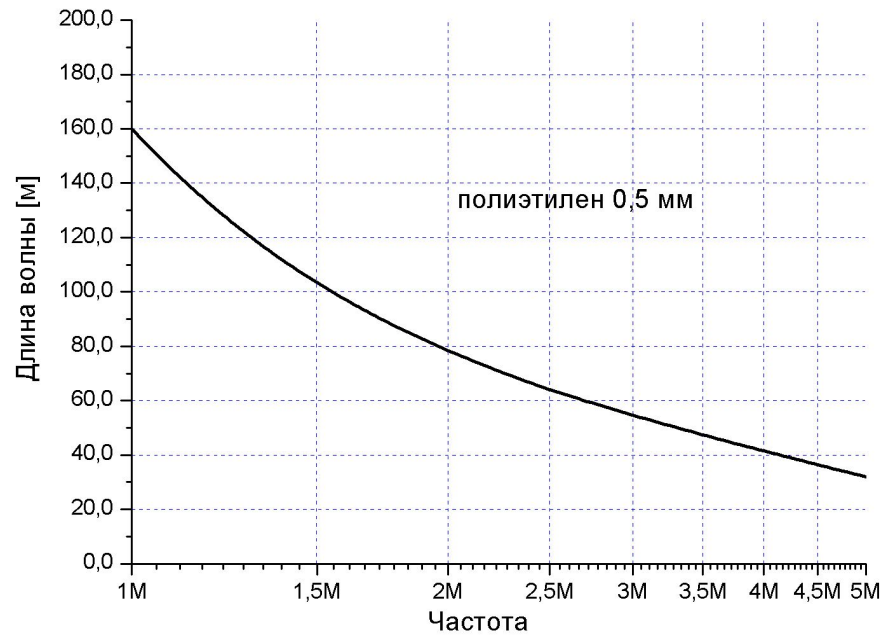
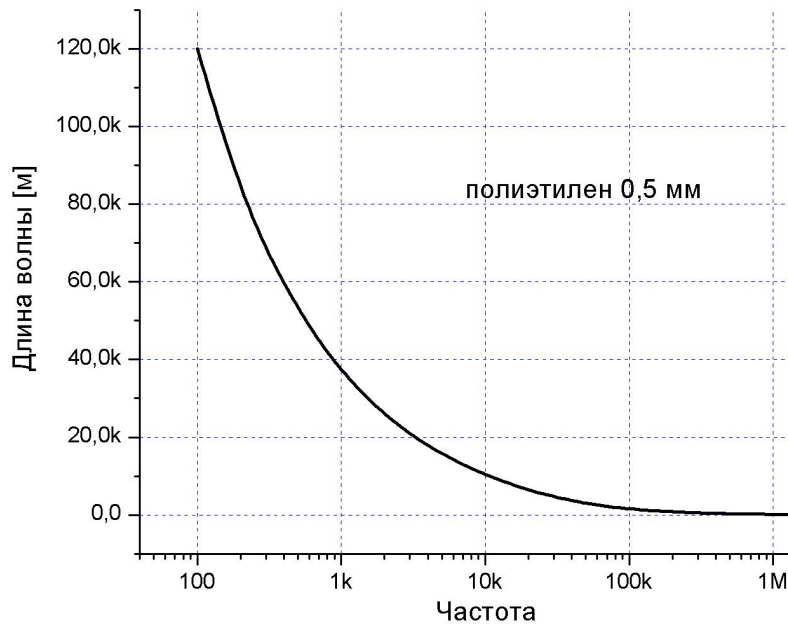
Современная аппаратура  
имеет встроенные механизмы  
эхо-подавления, но это борьба  
со следствием а не с причиной.

# Витая пара



## Отражения и стоячие волны

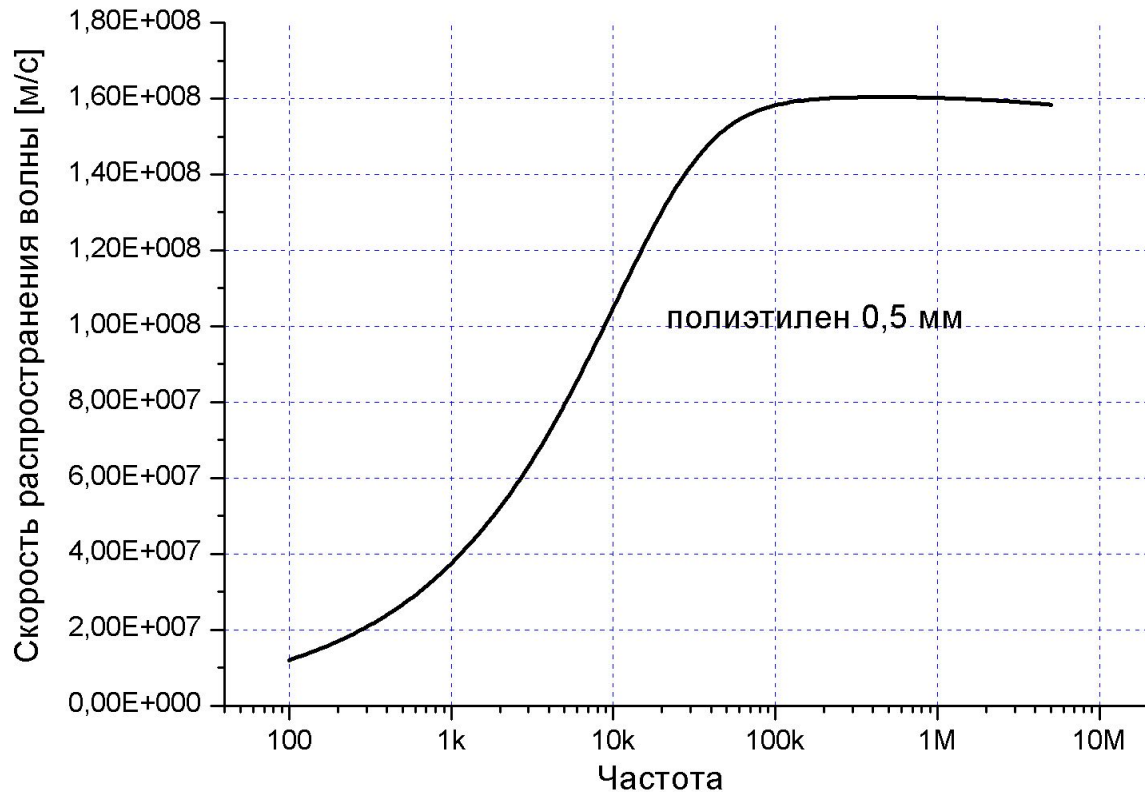
### Длина волны



# Витая пара



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





# Витая пара

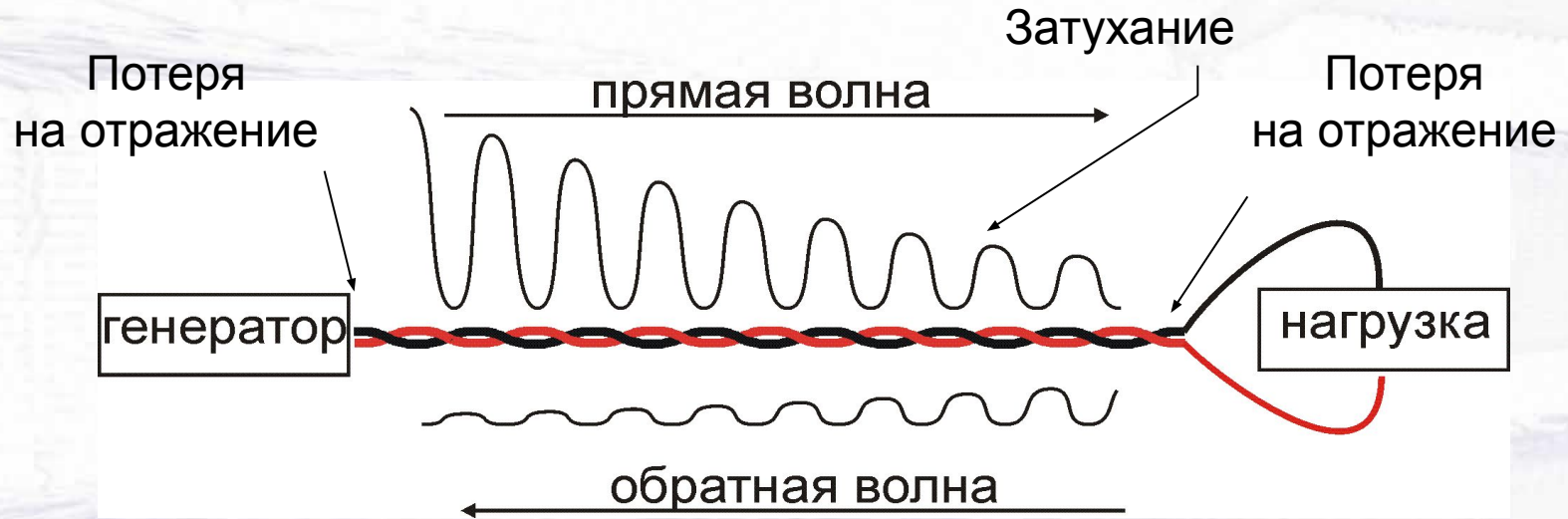
**Вот такая витая пара.**

**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

$P_{RX\_SIGNAL}$

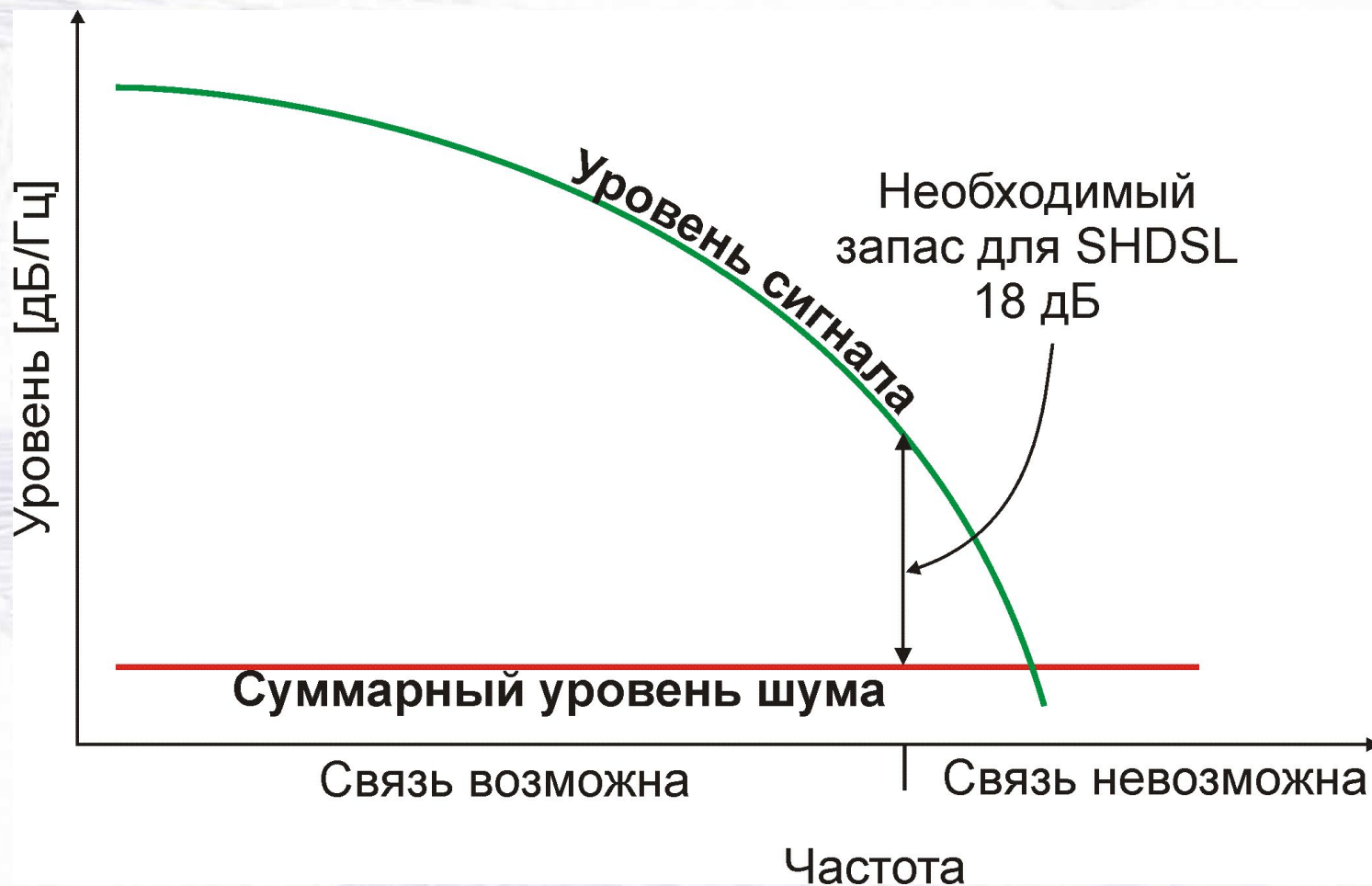
Мощность принятого сигнала

# 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**

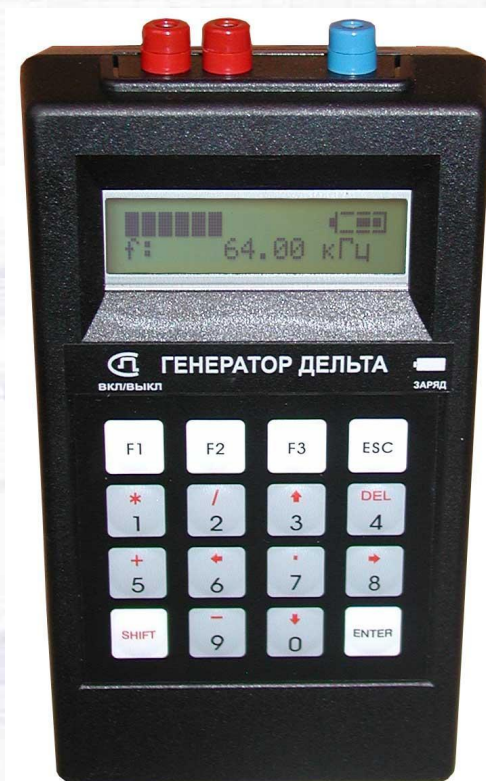
# Рекламная пауза



## 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
-  Список кабелей
-  Настройки
-  Связь с ПК

