

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Университет «Дубна»

**Филиал «Протвино»  
Кафедра информационных  
технологий**

**Введение.**

**Теоретические основы передачи данных.**

Стар. препод.

Ковцова Ирина Олеговна

# Понятие канала связи

- Каналом связи (передачи сообщений, информации) называют совокупность технических средств, обеспечивающих передачу сообщений от источника к потребителю информации. Источником и потребителем информации может быть человек или устройство (компьютер, система управления и т.д.).
- Сообщение – это речь, музыка, изображение, постоянное или движущееся, команды управления, массивы данных, необходимые для работы различных систем и представленные в цифровой форме. В системах передачи данных предъявляются наиболее высокие требования к скорости работы и помехоустойчивости канала.

# Сигнал

- **Сигнал** — код (символ, знак), созданный и переданный в пространство (по каналу связи) одной системой, либо возникший в процессе взаимодействия нескольких систем. Смысл и значение сигнала проявляются в процессе его регистрации второй (принимающей) системой.
- **Сигнал** (в теории информации и связи) — материальный носитель информации, используемый для передачи сообщений в системе связи.
- Понятие *сигнал* позволяет абстрагироваться от конкретной физической величины, например тока, напряжения, акустической волны и рассматривать вне физического контекста явления связанные с кодированием информации и извлечением её из сигналов, которые обычно искажены шумами.
- В исследованиях сигнал часто представляется функцией времени, параметры которой могут нести нужную информацию. Способ записи этой функции, а также способ записи мешающих шумов называют *математической моделью сигнала*.

# Классификация сигналов

## По физической природе носителя информации:

- электрические;
- электромагнитные;
- оптические;
- акустические
- и др.;

## По способу задания сигнала:

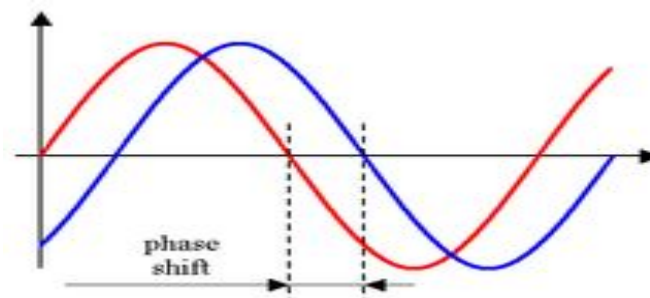
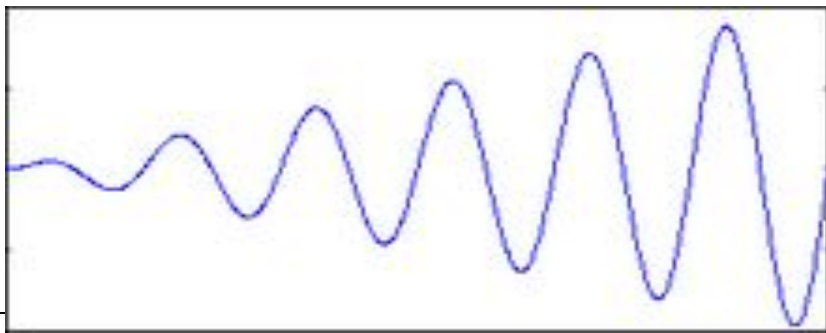
- регулярные (детерминированные, сигнал точно определен в любой момент времени ), заданные аналитической функцией;
- нерегулярные (случайные), принимающие произвольные значения в любой момент времени. Для описания таких сигналов используется аппарат теории вероятностей.

## В зависимости от функции, описывающей параметры сигнала, выделяют аналоговые, дискретные, квантованные и цифровые сигналы:

- непрерывные (аналоговые), описываемые непрерывной функцией;
- дискретные, описываемые функцией отсчётов, взятых в определённые моменты времени;
- квантованные по уровню;
- дискретные сигналы, квантованные по уровню (цифровые).

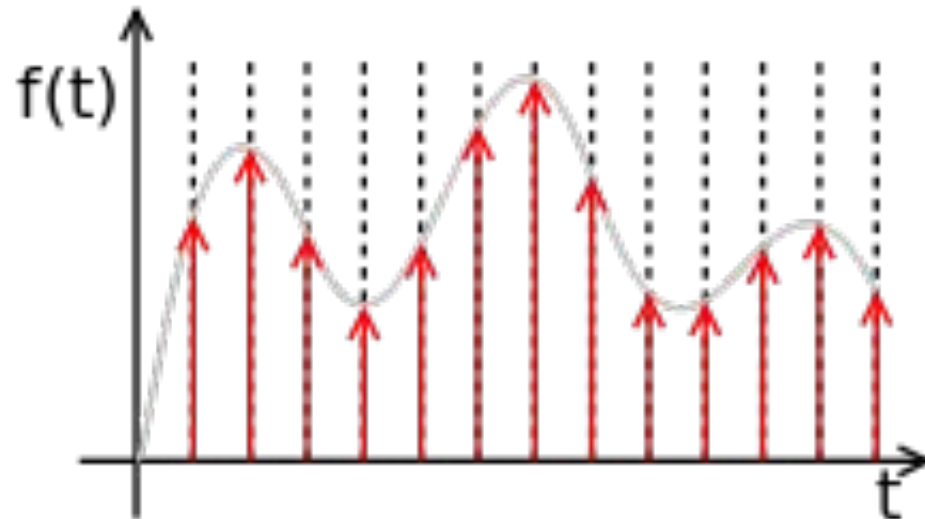
# Аналоговый сигнал (АС)

- Большинство сигналов имеют аналоговую природу, то есть изменяются непрерывно во времени и могут принимать любые значения на некотором интервале.
- Аналоговые сигналы описываются некоторой математической функцией времени:
- $s(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)$
- Аналоговые сигналы используются в телефонии, радиовещании, телевидении.
- Ввести такой сигнал в цифровую систему для обработки невозможно, так как на любом интервале времени он может иметь бесконечное множество значений, и для точного (без погрешности) представления его значения требуются числа бесконечной разрядности.
- Поэтому очень часто необходимо преобразовывать аналоговый сигнал так, чтобы можно было представить его последовательностью чисел заданной разрядности.



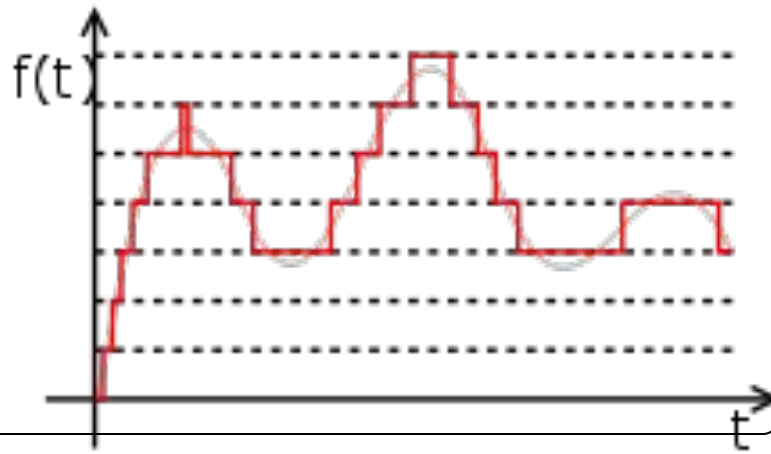
# Дискретный сигнал

- Дискретизация аналогового сигнала состоит в том, что сигнал представляется в виде последовательности значений, взятых в дискретные моменты времени  $t_i$  (где  $i$  — индекс).
- Обычно промежутки времени между последовательными отсчётами ( $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ ) постоянны;
- в таком случае,  $\Delta t$  называется *интервалом дискретизации*.
- Сами же значения сигнала  $x(t)$  в моменты измерения, то есть  $x_i = x(t_i)$ , называются *отсчётами*.



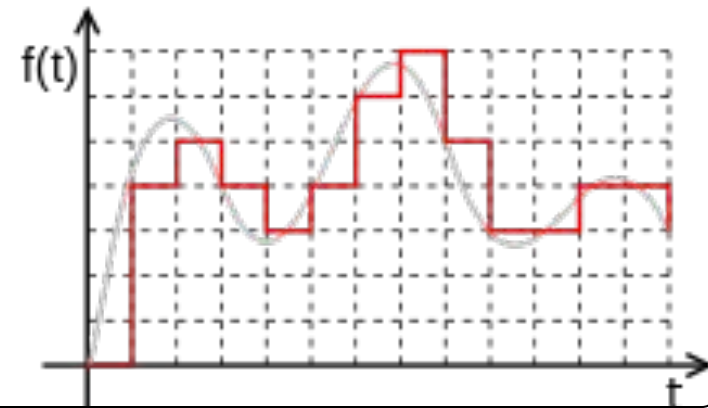
# Квантованный сигнал

- При квантовании вся область значений сигнала разбивается на уровни, количество которых должно быть представлено в числах заданной разрядности.
- Расстояния между этими уровнями называется шагом квантования  $\Delta$ .
- Число этих уровней равно  $N$  (от 0 до  $N-1$ ). Каждому уровню присваивается некоторое число.
- Отсчёты сигнала сравниваются с уровнями квантования и в качестве сигнала выбирается число, соответствующее некоторому уровню квантования.
- Каждый уровень квантования кодируется двоичным числом с  $n$  разрядами. Число уровней квантования  $N$  и число разрядов  $n$  двоичных чисел, кодирующих эти уровни, связаны соотношением  $n \geq \log_2(N)$ .



# Цифровой сигнал

- Для того, чтобы представить аналоговый сигнал последовательностью чисел конечной разрядности, его следует сначала превратить в дискретный сигнал, а затем подвергнуть квантованию.
- Квантование является частным случаем дискретизации, когда дискретизация происходит по одинаковой величине, называемой квантом.
- В результате сигнал будет представлен таким образом, что на каждом заданном промежутке времени известно приближённое (квантованное) значение сигнала, которое можно записать целым числом.
- Последовательность таких чисел и будет являться цифровым сигналом.





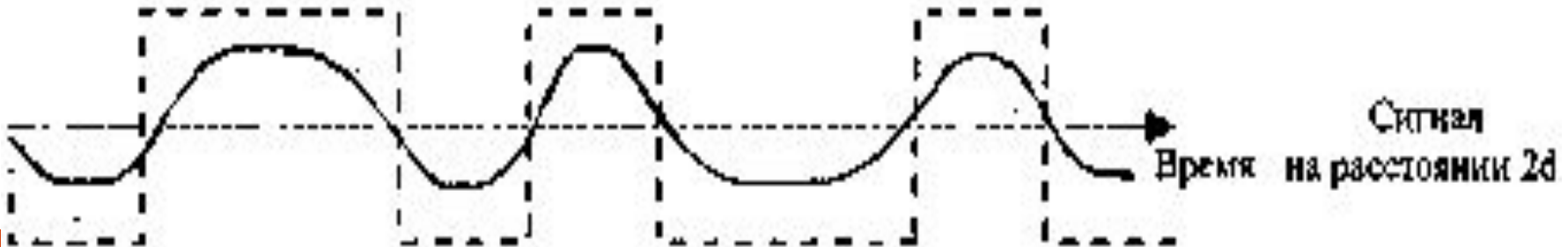
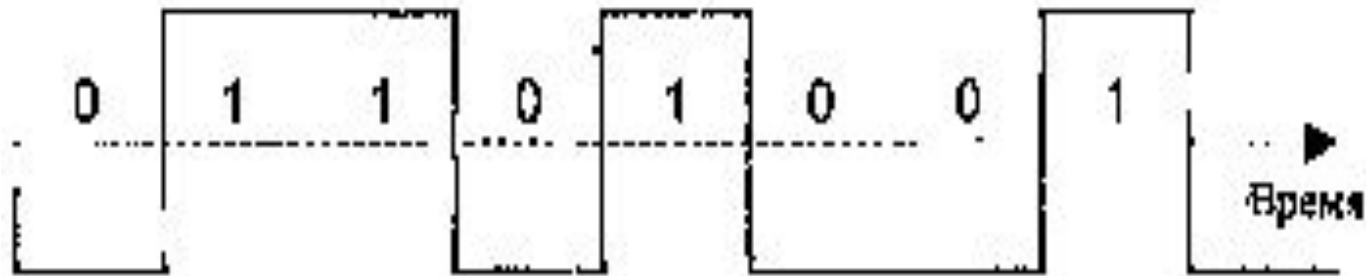
# Ослабление сигнала

- **Ослабление сигнала** происходит из-за расширения луча в процессе распространения сигнала, уменьшающего поток энергии через единицу площади, поглощения и рассеяния энергии молекулами воздуха, облаками, дождем.
- Параметры сигнала отличаются от расчетных и изменяются случайным образом из-за несовершенства аппаратуры и нестабильности характеристик элементов системы, что приводит к изменениям ширины частотной полосы сигнала, ухудшению синхронизации и, как следствие, к ослаблению сигнала.

# Затухание сигнала

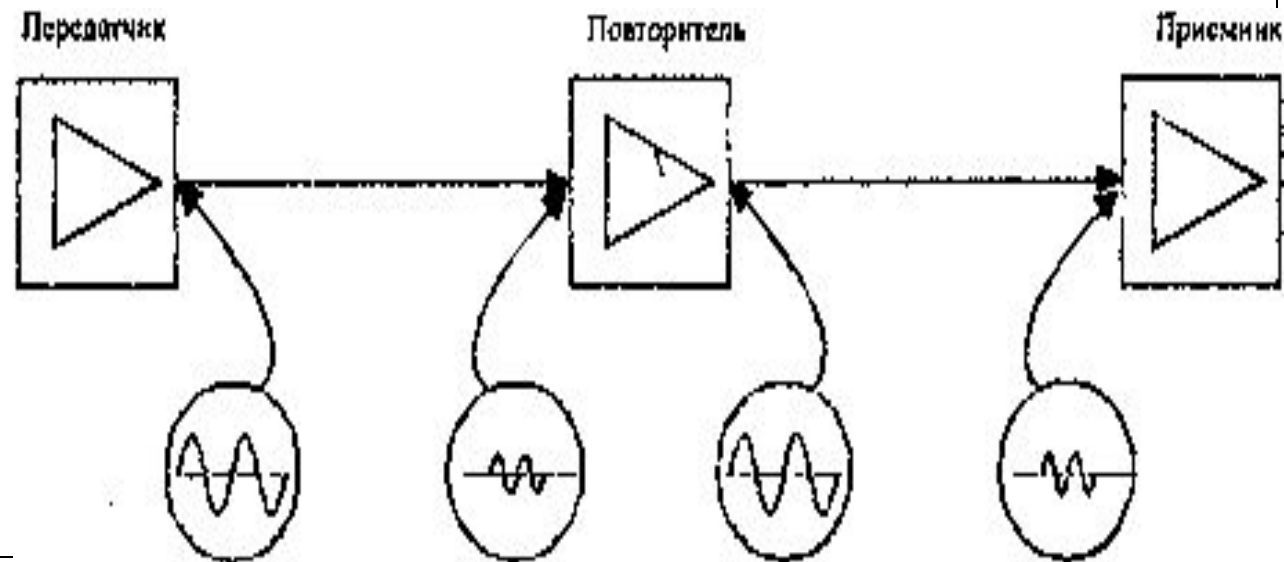
- Когда сигнал проходит вдоль канала связи, его амплитуда уменьшается, поскольку физическая среда сопротивляется потоку электрической или электромагнитной энергии.
- **Этот эффект известен как затухание сигнала.**
- При передаче электрических сигналов некоторые материалы, такие, как медь, являются более эффективными проводниками, чем другие. Однако все проводники содержат примеси, которые сопротивляются движению образующих электрический ток электронов.
- Сопротивление проводников вызывает преобразование некоторой части электрической энергии сигнала в тепловую энергию по мере продвижения сигнала по кабелю, что ведет к постоянному снижению уровня электрического сигнала.
- Свет также затухает при прохождении сквозь стекло. Электромагнитная энергия (свет) поглощается из-за естественного сопротивления стекла.
- **Затухание сигнала** выражается потерей мощности сигнала на единицу длины кабеля, обычно в децибелах на километр (дБ/км).

# Затухание сигнала



# Повторители сигнала

- Для затухания устанавливается предел для максимальной длины канала связи.
- Это делается для того, чтобы гарантировать, что прибывающий на приемник сигнал обладает достаточной амплитудой для надежного распознавания и корректной интерпретации.
- Если канал превышает эту максимальную длину, на его протяжении для восстановления приемлемого уровня сигнала должны использоваться усилители или повторители (repeater).



# Полоса пропускания канала

- Количество информации, которую канал может передать за данный период времени, определяется его способностью обработать скорость изменения сигнала, то есть его частоту.
- Аналоговый сигнал меняет частоту от минимальной до максимальной, и их разница составляет **ширину спектра частот сигнала**.
- **Полоса пропускания (bandwidth)** аналогового канала представляет собой разницу между максимальной и минимальной частотами, которые могут быть надежно переданы каналом.
- **Полоса пропускания** — диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика (АЧХ — зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты) акустического, радиотехнического, оптического или механического устройства достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы.

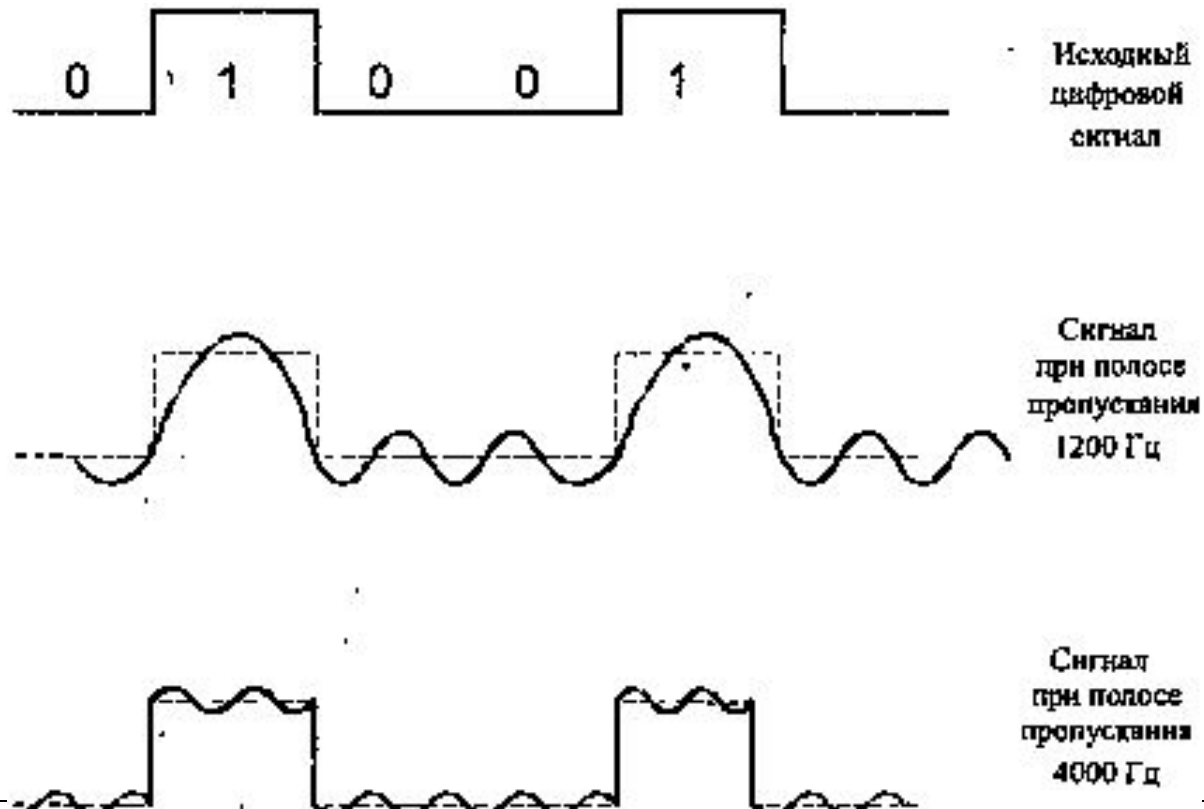
# Полоса пропускания канала

- Обычно это частоты (максимальная и минимальная), на которых сигнал теряет половину своей мощности по сравнению с уровнями частот в середине диапазона или с уровнями частот на входе канала;
- Эти частоты обозначаются как точки 3 дБ. В последнем случае полоса пропускания известна как полоса пропускания 3 дБ.



# Полоса пропускания канала

- Цифровые сигналы составлены из большого набора частотных компонентов, однако получать можно лишь те частоты, которые находятся внутри полосы пропускания канала.
- Чем больше полоса пропускания канала, тем выше может быть скорость передачи данных и тем более высокочастотные компоненты сигнала могут передаваться, поэтому может быть получено и декодировано более точное представление переданного сигнала



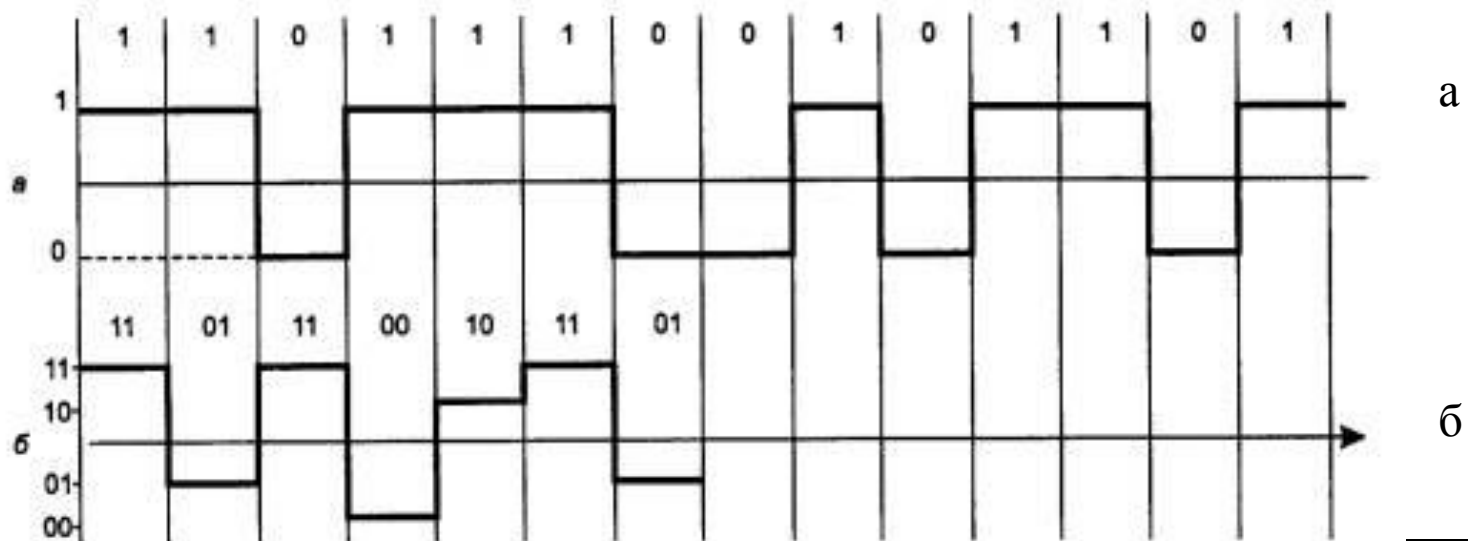
# Влияние полосы пропускания на цифровые сигналы

- Максимальная скорость передачи данных ( $C$ ) канала может быть определена из его полосы пропускания с использованием следующей формулы выведенной математиком Найквистом (Nyquist).
- $C = 2 B \log_2 M$ ,
  - где  $C$  - максимальная пропускная способность линии в битах в секунду
  - где  $B$  - полоса пропускания в герцах;
  - $M$  количество уровней, использующихся для каждого элемента сигнала ( $M$  - количество различных состояний информационного параметра)
- В особом случае при использовании лишь двух уровней, "ВКЛЮЧЕНО" и "ВЫКЛЮЧЕНО" (двоичном):
  - $M = 2$  и  $C = 2 B$ .
- В качестве примера: максимальная скорость передачи данных, по Найквисту, для канала PSTN с полосой пропускания 3100 герц для двоичного сигнала будет следующей:  $2 \times 3100 = 6200$  bps. В реальности достижимая скорость передачи данных снижается из-за наличия в канале шума.



# Влияние полосы пропускания на цифровые сигналы

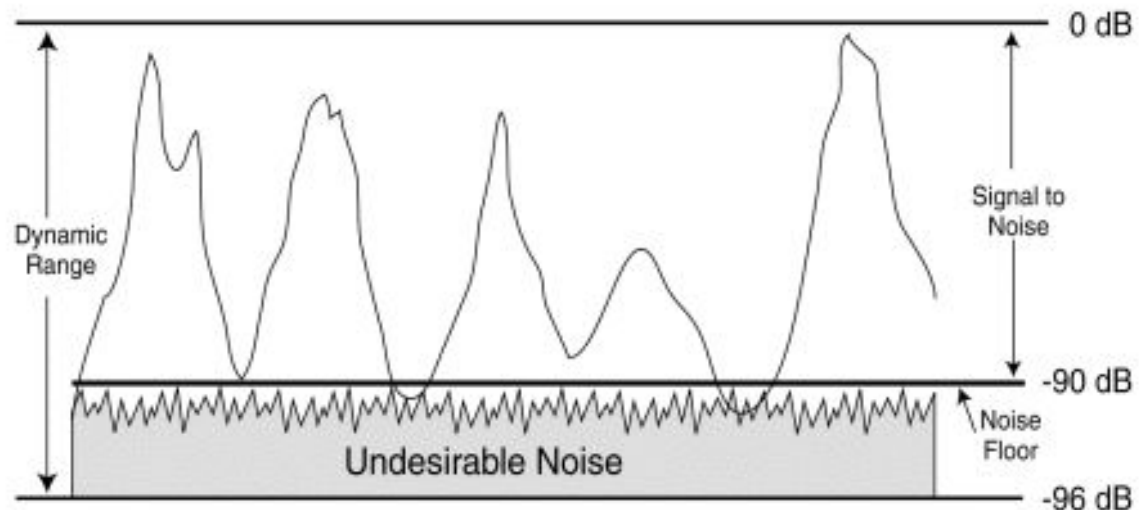
- Если сигнал имеет 2 различных состояния, то пропускная способность равна удвоенному значению ширины полосы пропускания линии связи (а).
- Если же передатчик использует более чем 2 устойчивых состояния сигнала для кодирования данных, то пропускная способность линии повышается, так как за один такт работы передатчик передает несколько бит исходных данных, например 2 бита при наличии четырех различных состояний сигнала (б).



# Помехи

- Источниками внешних помех являются электрические разряды в атмосфере, линии электропередачи, электрооборудование промышленности и транспорта, бытовые электроприборы, излучение радиостанций, атмосферы, галактики. Тепловое движение электронов в проводящих элементах создает собственные шумы приемника.
- Суммарным результатом мешающих воздействий в цифровом канале связи является уменьшение отношения сигнал/шум и появление межсимвольных искажений.

Figure 23 - Dynamic Range and Signal-to-noise Ratio



# Шум

- При прохождении сигналов через канал связи атомы и молекулы в среде передачи вибрируют и излучают случайные электромагнитные волны в виде шума.
- Обычно сила передаваемого сигнала велика по сравнению с шумовым сигналом.
- Однако по мере продвижения и затухания сигнала его уровень может сравняться с уровнем шума. Когда полезный сигнал незначительно превышает фоновый шум, приемник не может отделить данные от шума и возникают ошибки связи.
- Важным параметром канала является отношение мощности полученного сигнала ( $S$ ) к мощности шумового сигнала ( $N$ ). Отношение  $S/N$  называется **отношением сигнал/шум** и выражается обычно в децибелах, сокращенно дБ.
  - $S/N = 10 \log_{10} (S/N)$  дБ,
  - где  $S$ - мощность сигнала в ваттах;
  - $N$ - мощность шума в ваттах.

# Шум

- Высокое значение отношения сигнала к шуму означает, что мощность полезного сигнала высока по сравнению с уровнем шума, что ведет к хорошему качеству восприятия сигнала.
- Теоретическую максимальную скорость передачи данных для реального канала можно вычислить, используя **закон Шеннона - Хартли** (Shannon - Hartley).
- **$C = B \log_2(1 + S/N)$  bps,**
  - где  $C$  - скорость передачи данных в битах в секунду;
  - $B$  - полоса пропускания канала в герцах;
  - $S$  - мощность сигнала в ваттах;
  - $N$  - мощность шума в ваттах.
- Из этой формулы можно видеть, что увеличение полосы пропускания или увеличение отношения сигнала к шуму позволяет увеличить скорость передачи данных и что сравнительно небольшое увеличение полосы пропускания эквивалентно гораздо большему увеличению отношения сигнала к шуму.

# Шум

- Каналы цифровой передачи используют широкие полосы пропускания и цифровые повторители или регенераторы для воссоздания сигналов через регулярные интервалы, поддерживая приемлемые отношения сигнала к шуму.
- Ослабленные сигналы, получаемые регенератором, распознаются, перенастраиваются и пересылаются как почти точные копии исходных цифровых сигналов.
- В сигнале нет накапливаемого шума даже при передаче на тысячи километров, при условии поддержания приемлемых отношений сигнала к шуму.

