

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:

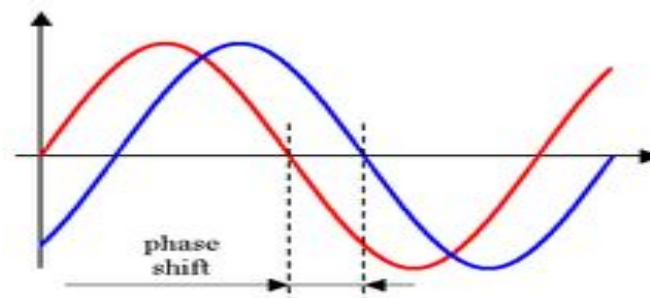
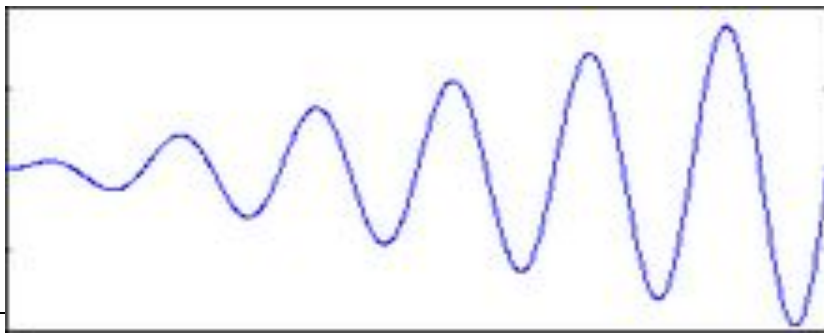
- регулярные (детерминированные, сигнал точно определен в любой момент времени), заданные аналитической функцией;
- нерегулярные (случайные), принимающие произвольные значения в любой момент времени. Для описания таких сигналов используется аппарат теории вероятностей.

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).

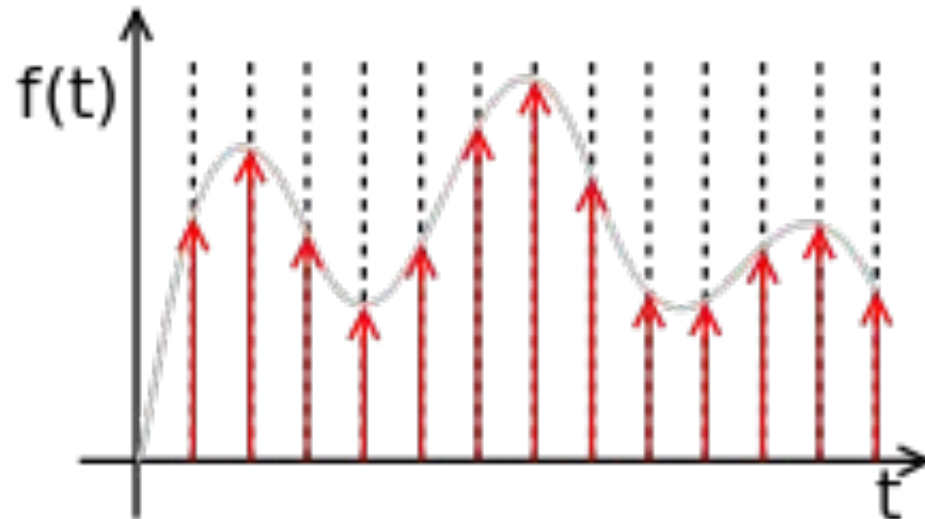
Аналоговый сигнал (АС)

- 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.



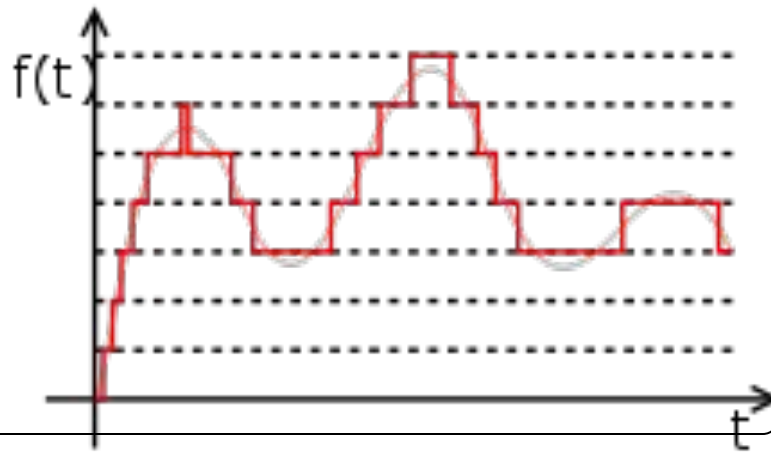
Дискретный сигнал

- 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, Δt называется *интервалом дискретизации*.
- Сами же значения сигнала $x(t)$ в моменты измерения, то есть $x_i = x(t_i)$, называются *отсчётами*.



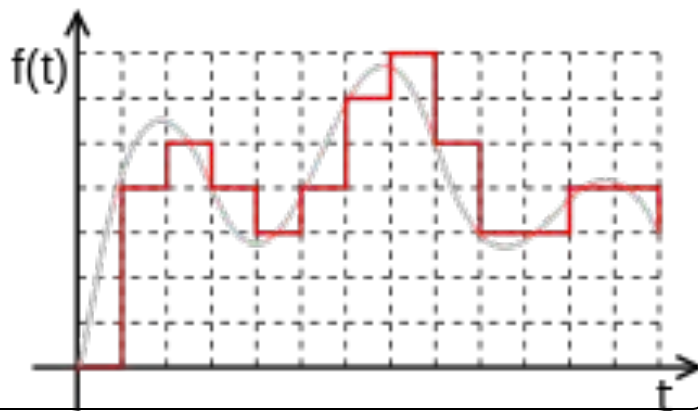
Квантованный сигнал

- 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 Δ .
- 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.



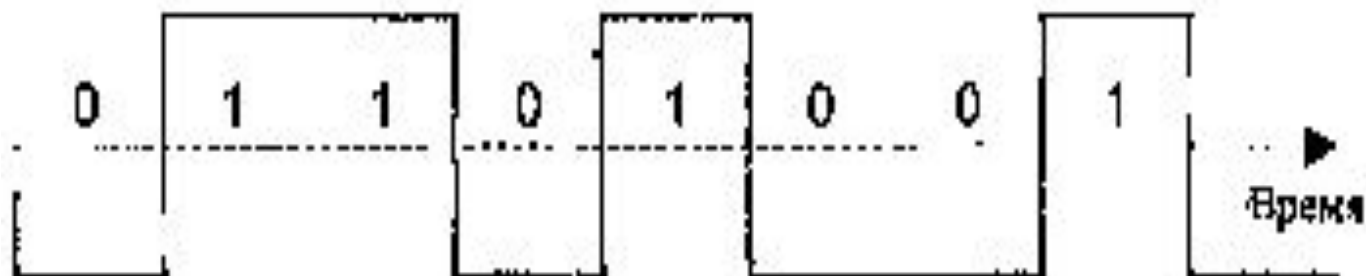
Ослабление сигнала

- **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



Передаваемый
сигнал



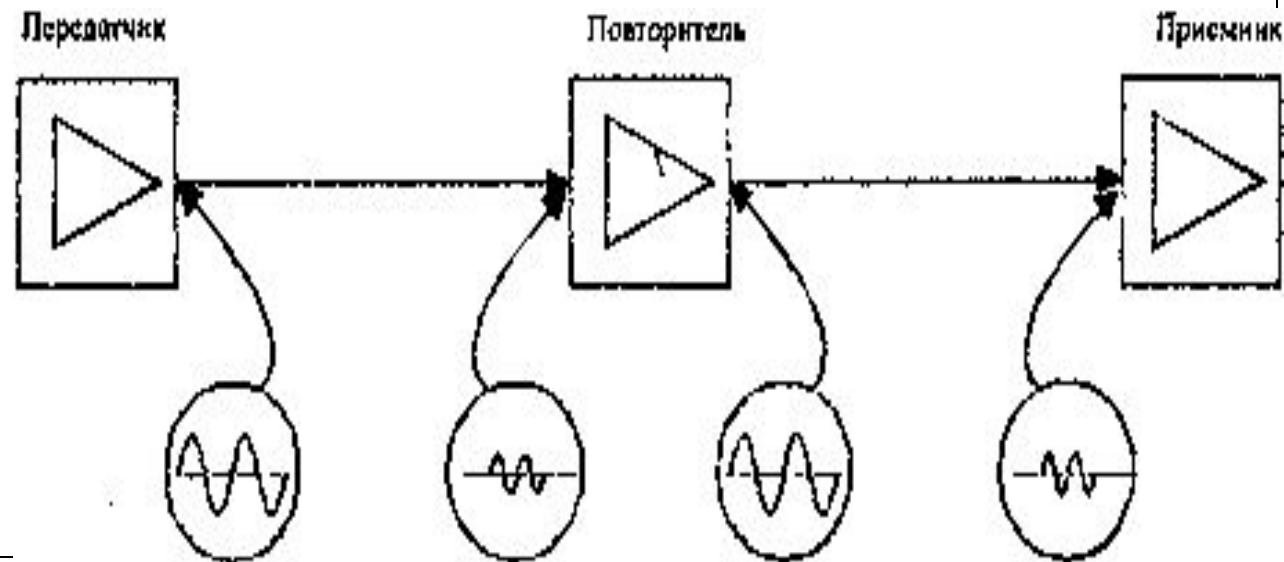
Сигнал
на расстоянии d



Сигнал
на расстоянии $2d$

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.

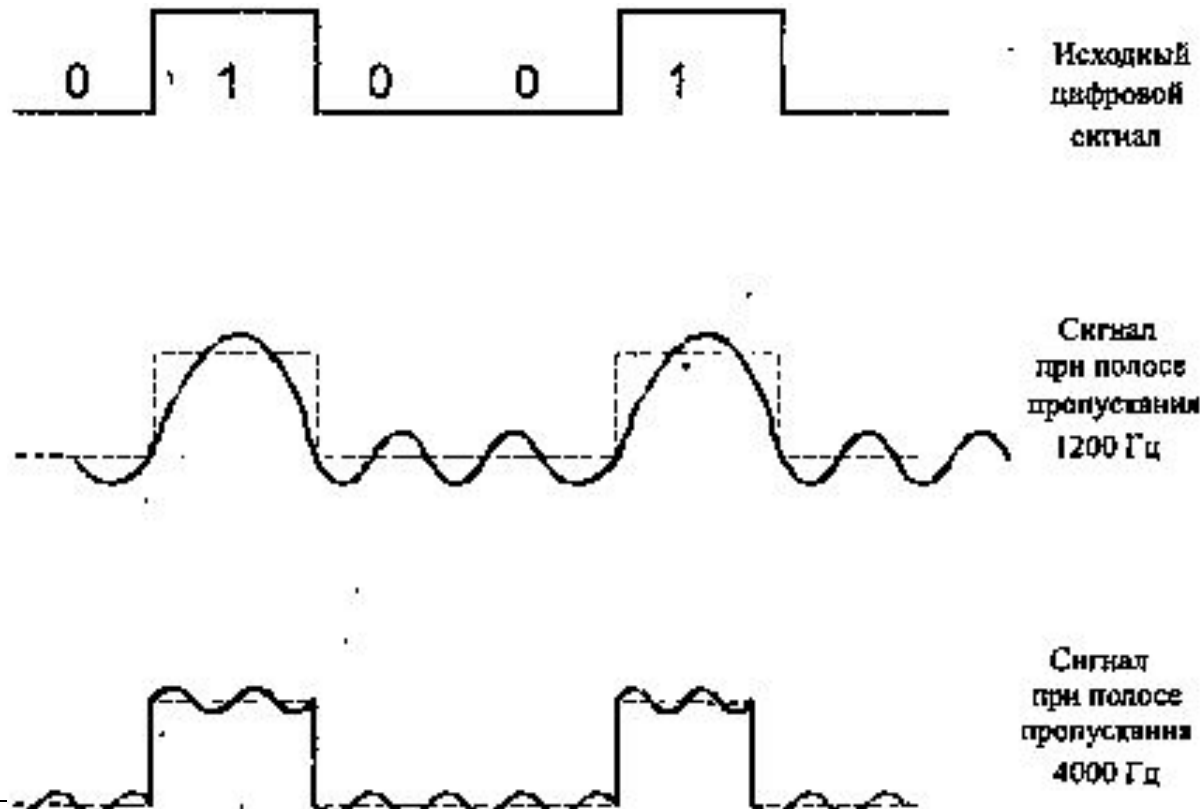
Полоса пропускания канала

- 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

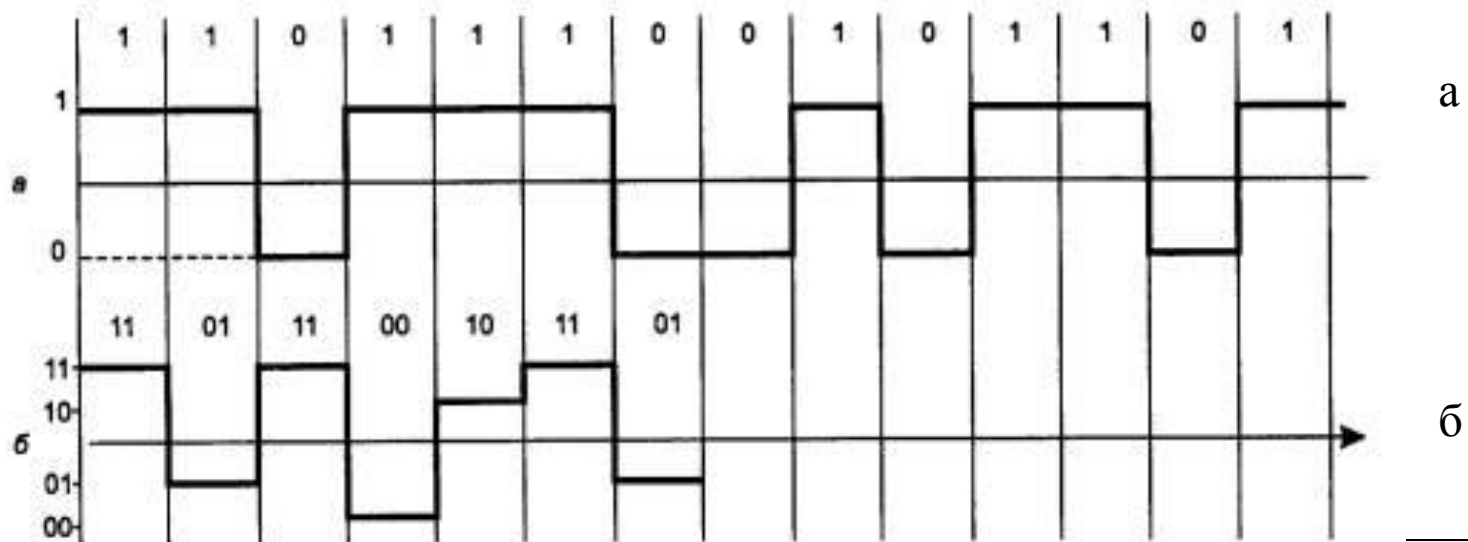


Влияние полосы пропускания на цифровые сигналы

- 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

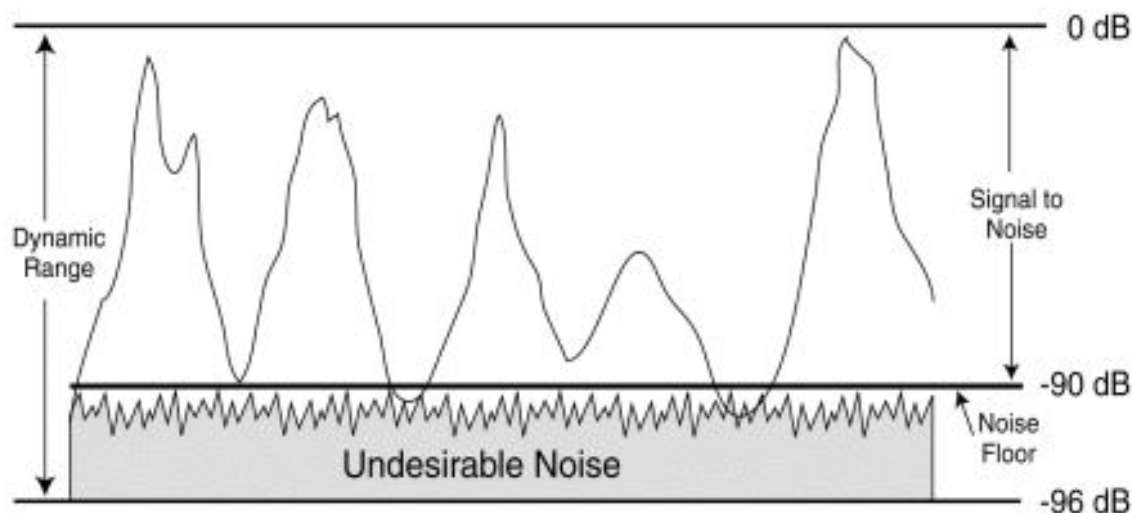
- Если сигнал имеет 2 различных состояния, то пропускная способность равна удвоенному значению ширины полосы пропускания линии связи (а).
- Если же передатчик использует более чем 2 устойчивых состояния сигнала для кодирования данных, то пропускная способность линии повышается, так как за один такт работы 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.

