

Определение РТС

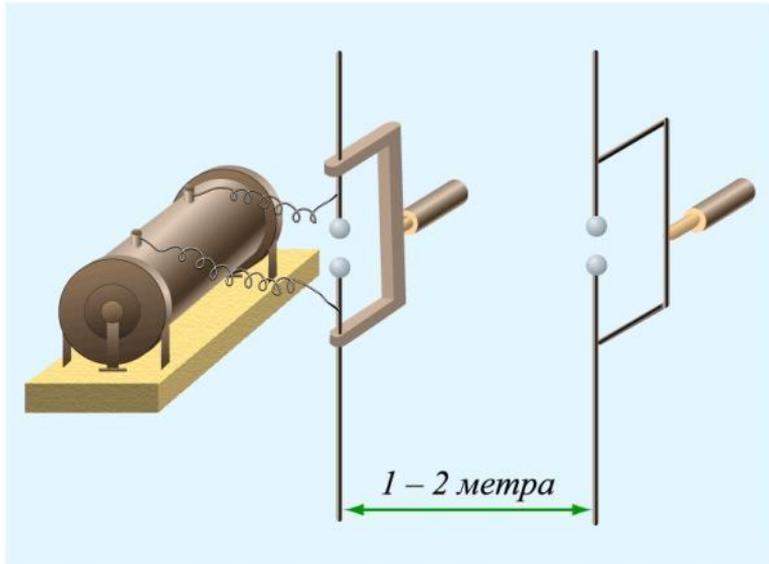
Радиотехнические системы (РТС) – это совокупность электронных устройств, осуществляющих передачу, извлечение или разрушение информации с помощью радиоволн.

В общем случае, РТС включает в свой состав **радиопередающее** и **радиоприёмное** устройства.

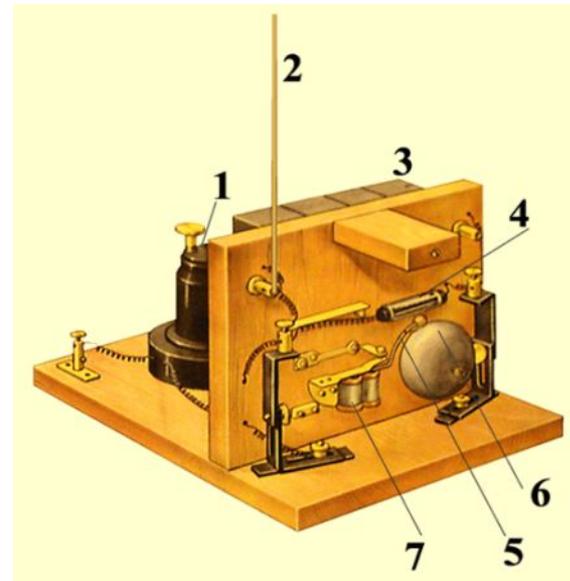
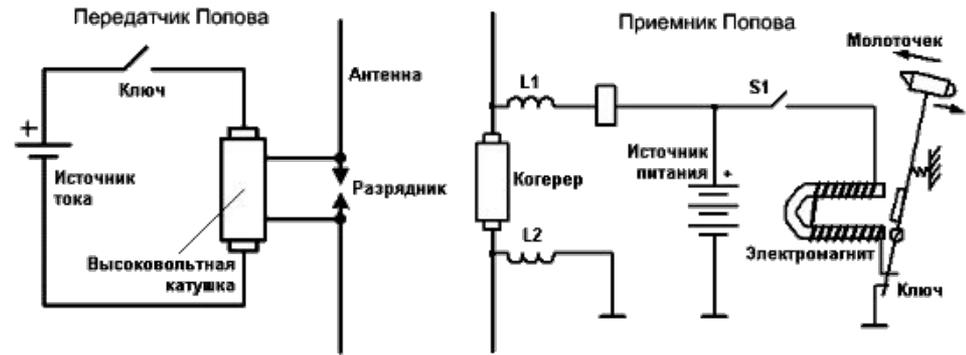
Характерным признаком РТС является использование радиосигнала в качестве носителя информации.

Но не каждый источник радиоволн можно отнести к РТС.

Опыты Герца



Радио Попова



Не все источники радиоволн являются радиотехническими системами или ее частью



Классификация РТС

По назначению РТС подразделяются на:

- РТС передачи информации (РТСПИ);
- РТС извлечения информации (радиолокация, радионавигация);
- РТС разрушения информации.

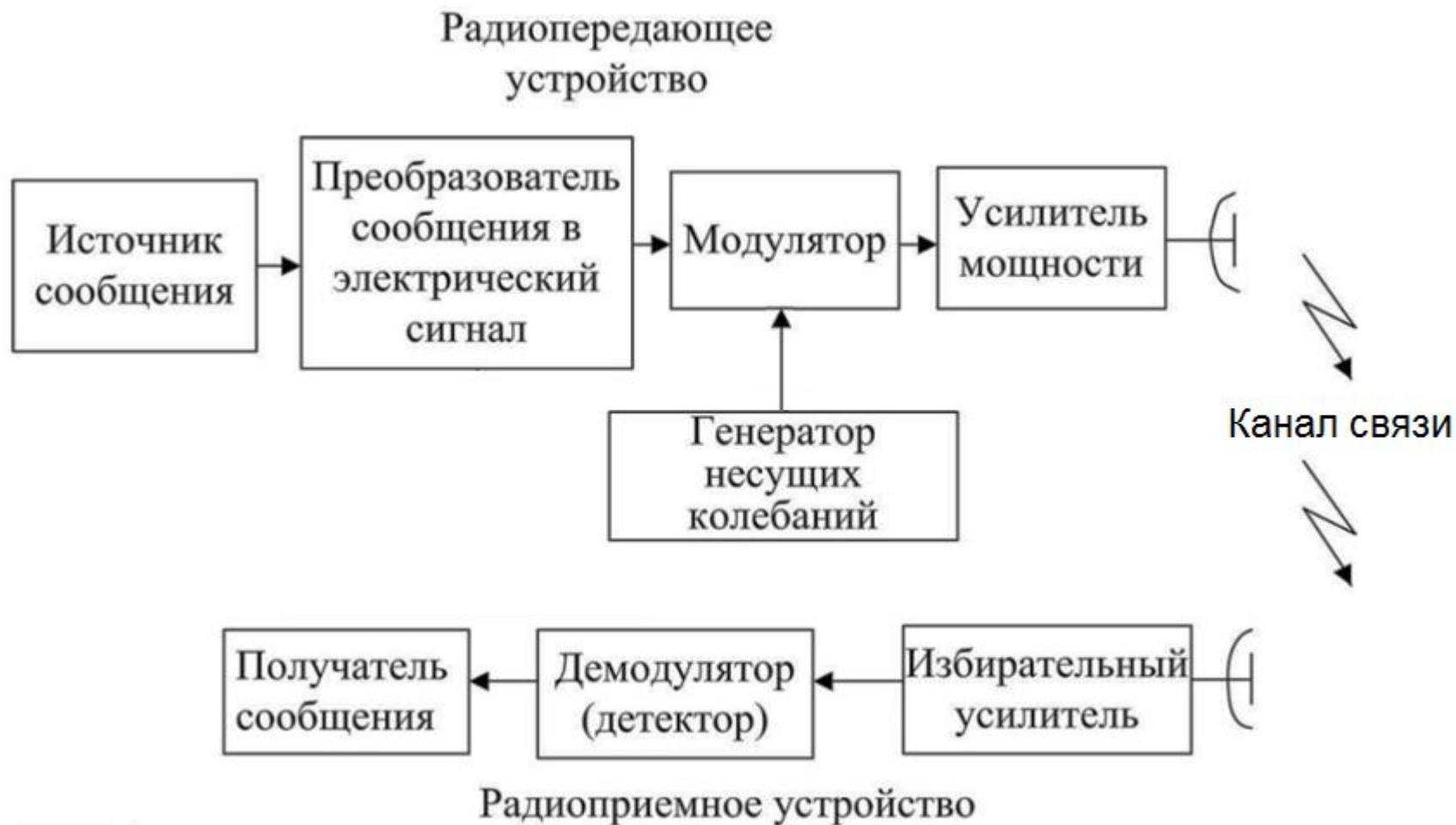
По виду применяемых сигналов радиосистемы различают:

- непрерывные;
- импульсные;
- цифровые.

По используемым частотам (частотному диапазону).

Использование того или иного диапазона радиочастот для систем различного назначения регламентировано Международной комиссией распределения радиочастот (МКРР), так же как и ширина спектра частот.

Структура радиотехнической системы



Информация и Сигнал

Под *информацией* понимают совокупность сведений о каких-либо событиях, явлениях или предметах, предназначенных для передачи, приёма, обработки, преобразования, хранения.

К.Э. Шеннон – основатель теории информации образно её определил так: «Информация – послание, которое уменьшает неопределённость».

Сигнал – это некоторый **физический процесс**, параметры которого изменяются в соответствии с передаваемым сообщением. Пример – электрический сигнал, радиосигнал как частный случай электромагнитного сигнала, акустический сигнал, оптический и т.д.

Сигнал – это материальный носитель информации.

Обычно сигнал, независимо от его физической природы, представляют как некоторую **функцию времени $x(t)$** . Такое представление есть общепринятая математическая абстракция физического сигнала.

Типы сигналов

Детерминированный, или регулярный – это сигнал, закон изменения которого известен и известны все его параметры.

Квазидетерминированный – это сигнал, закон изменения которого известен, но один или несколько параметров является случайной величиной.

Пример: $x(t) = A \sin(\omega t + \phi)$, где амплитуда A и ϕ – случайная величина.

Случайным называют сигнал, мгновенные значения которого не известны, а могут быть лишь предсказаны с некоторой вероятностью.

Кроме этого все сигналы могут быть **непрерывными** (аналоговыми) и **дискретными** (цифровыми или импульсными).

Параметры сигналов

Энергия сигнала $x(t)$ за интервал времени $(-T/2, T/2)$:

$$E = \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt$$

Именно такая энергия выделяется в резисторе с сопротивлением 1 Ом, если на его зажимах действует напряжение $x(t)$ [В] за время T .

Средняя мощность сигнала за время T :

$$P = \frac{1}{T} E = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt = \overline{|x(t)|^2}$$

Мгновенная мощность:

$$P_x(t) = |x(t)|^2$$

Параметры сигналов

Спектральная плотность энергии и мощности

Спектральная плотность сигнала характеризует распределение энергии или мощности сигнала по диапазону частот.

Спектральная плотность энергии определяется следующим образом:

$$\psi_x(f) = |X(f)|^2$$

где $X(f)$ – Фурье-образ сигнала $x(t)$.

Спектральная плотность мощности (СПМ) определяется через выражение:

$$G_x(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} |X(f)|^2$$

СПМ имеет размерность мощности, делённой на частоту, то есть энергии:

$$\text{Вт/Гц} = \text{Вт} \cdot \text{с} = \text{Дж}$$

Памятка

Прямое и обратное преобразование Фурье

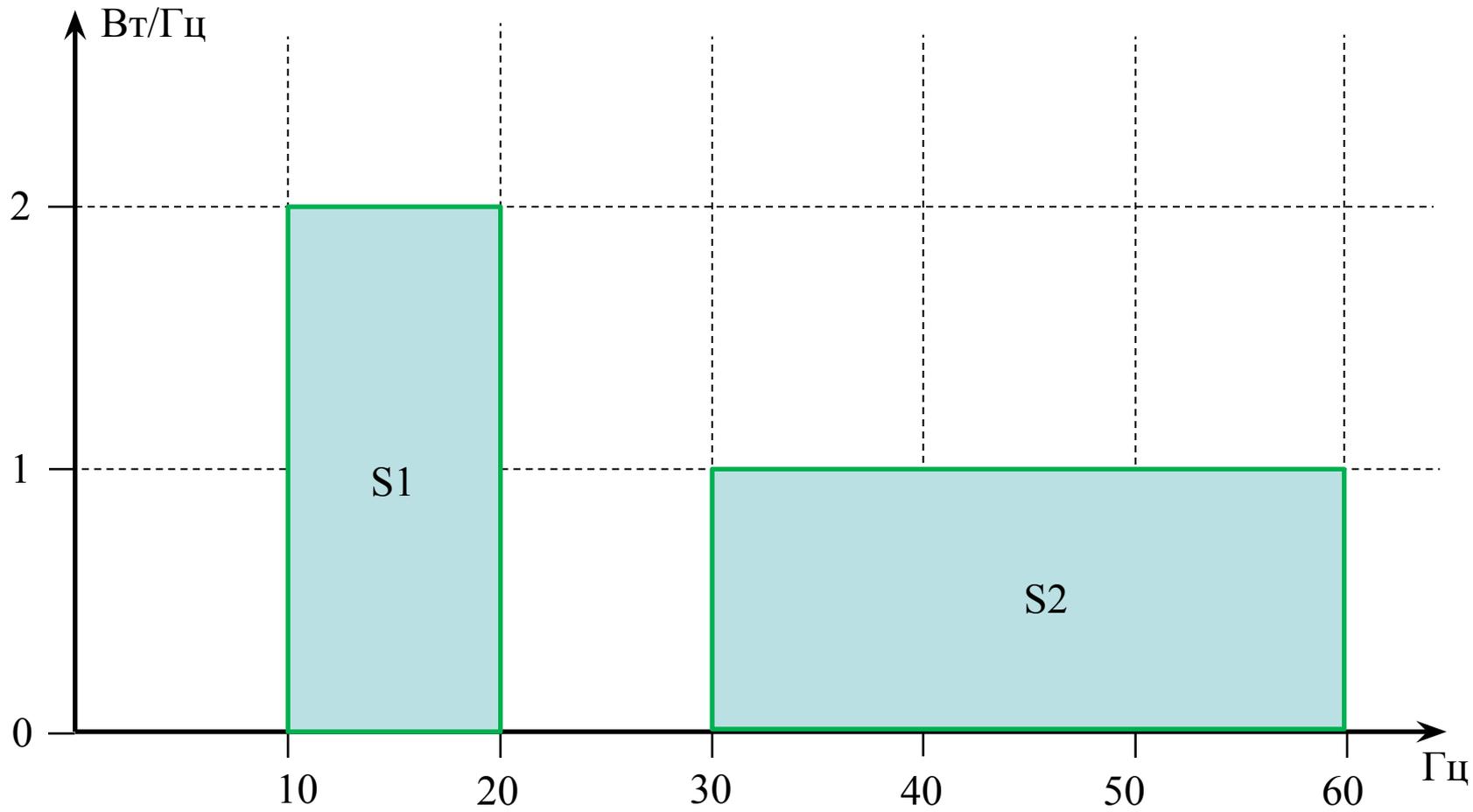
$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt = \Phi[x(t)]$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{j2\pi ft} dt = \Phi^{-1}[X(f)]$$

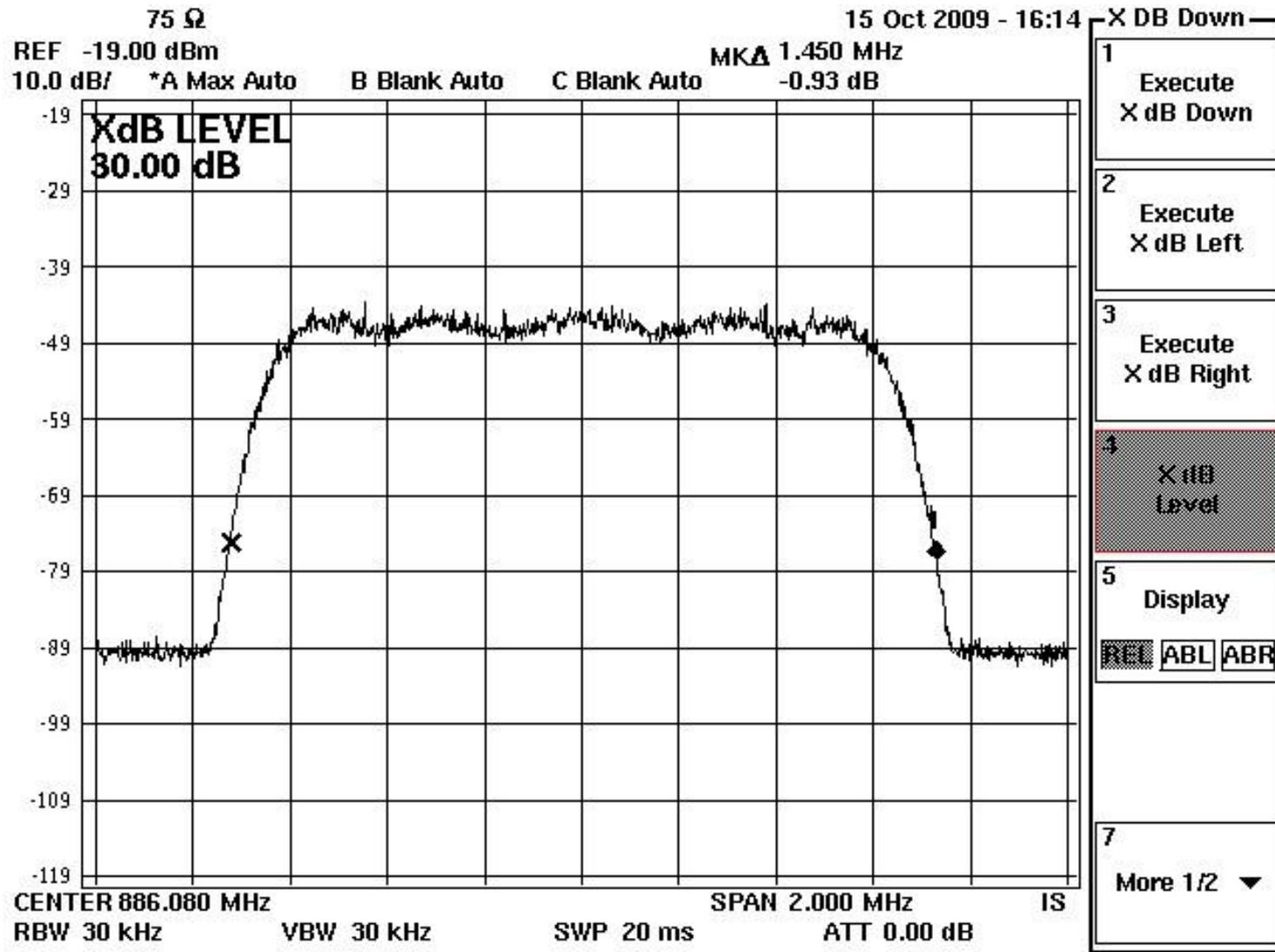
Функция $X(f)$ называется **Фурье-образом** сигнала $x(t)$. Она определена при положительных и отрицательных частотах.

Спектральная плотность мощности

Пример. Мощность какого сигнала больше?



Спектральная плотность реального сигнала, отображаемая на спектральном анализаторе



Канал связи

С сигналом в канале связи происходит:

- Ослабление.
- Задержка распространения (~ 3.3 мкс на 1 км).
- Доплеровский сдвиг частоты.
- Воздействие помех и шумов.
- Замирания сигнала – флуктуационное изменение амплитуды и фазы сигнала во времени:
 - Быстрые замирания (интерференционное замирание) - наложение собственных копий сигнала от переотражений с разными фазами.
 - Медленные замирания (затенение) – возникновение препятствий на пути следования радиоволны.
- Межсимвольная интерференция.
- Линейные искажения.

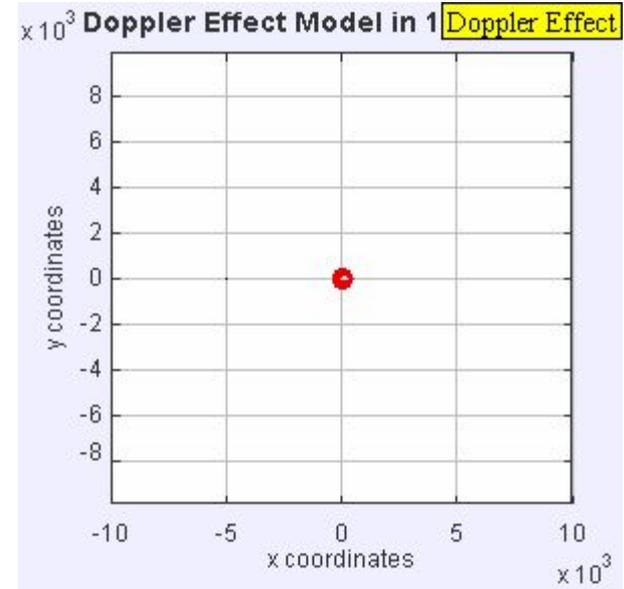
Чем более точная модель канала связи, тем больше параметров она учитывает.

Эффект Доплера

Изменение частоты, воспринимаемое наблюдателем (приёмником), вследствие движения источника излучения или движения наблюдателя (приёмника):

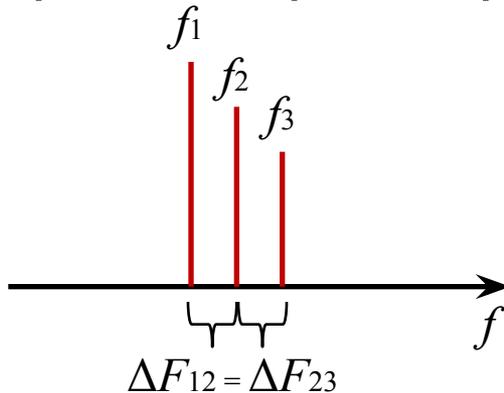
$$\Delta f = f_0 \frac{v}{c} \cos \theta$$

где f_0 – частота излучаемого сигнала; v – скорость излучателя относительно приемника (м/с); c – скорость света, θ – угол между вектором скорости и прямой, соединяющей источник и приемник.

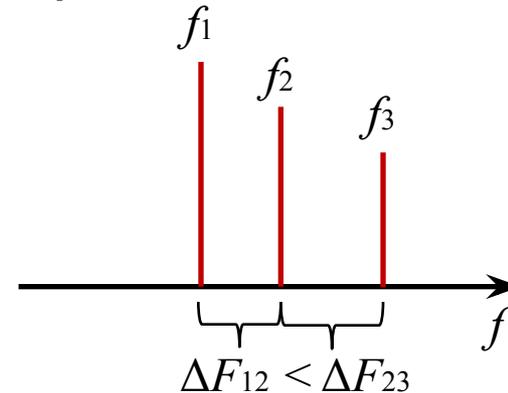


Для 100 км/ч и 100 МГц сдвиг частоты составляет 9,25 Гц

Доплеровское расширение спектра



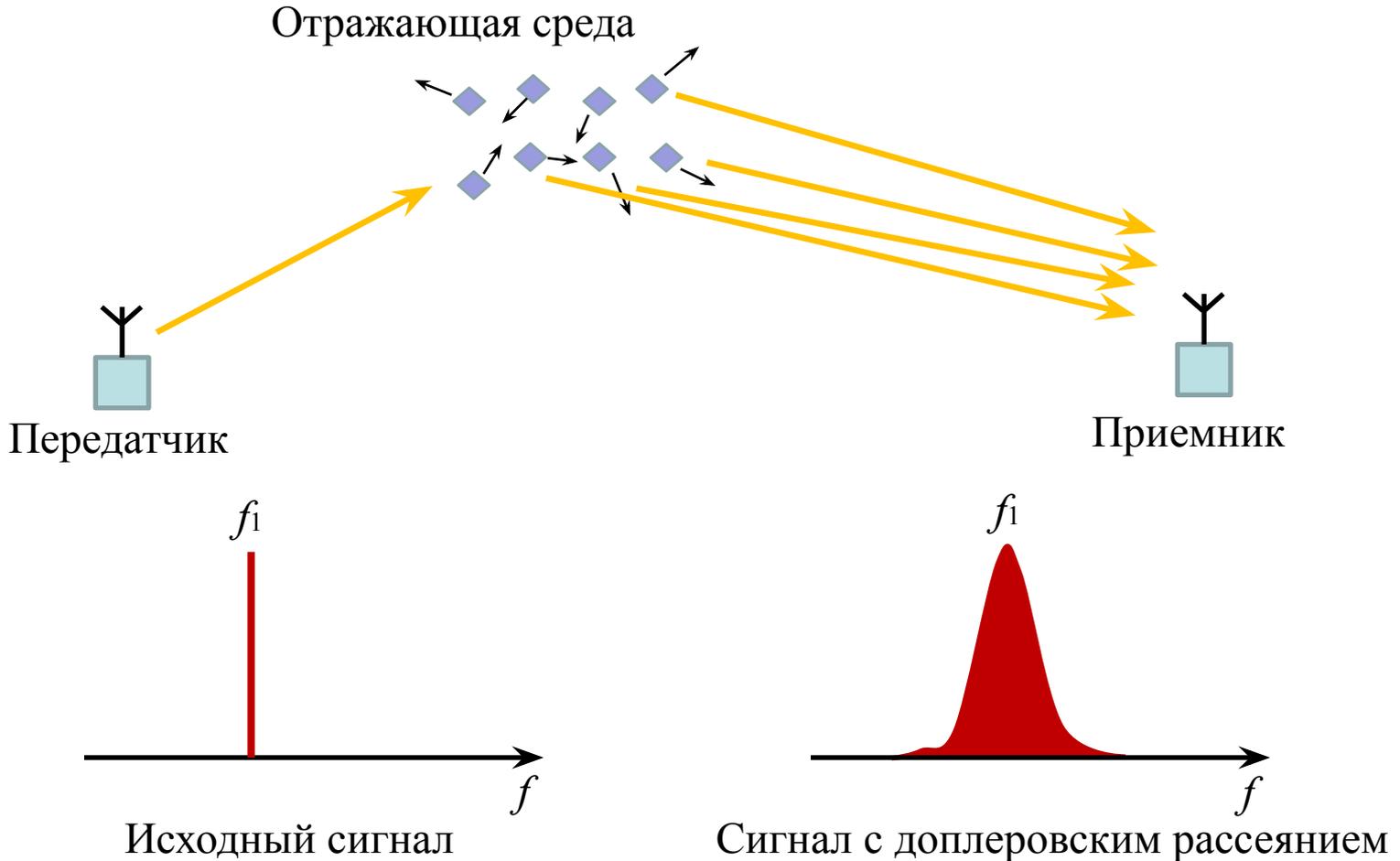
Неподвижные объекты



Подвижные объекты

Доплеровское рассеяние

Проявляется при наличии большого количества отражающих поверхностей, движущихся в разные стороны.

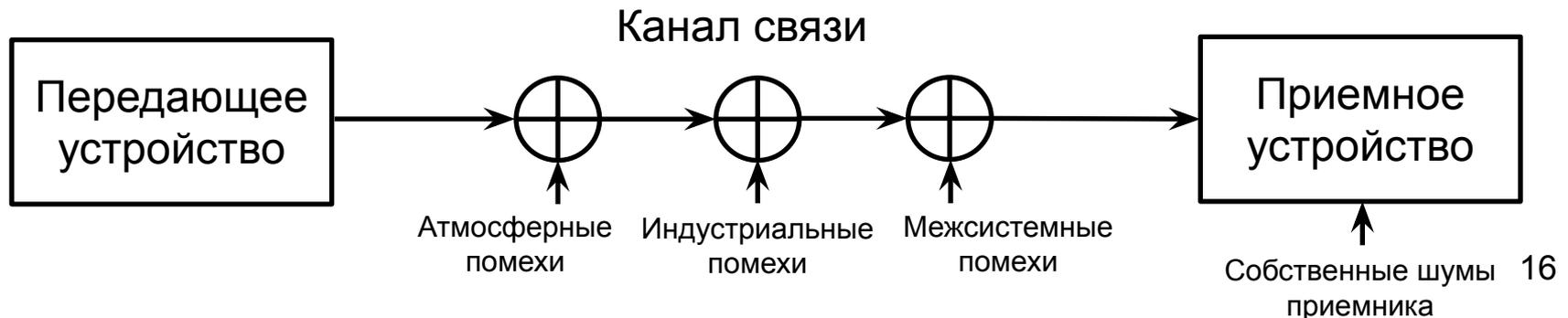


Шумы и помехи

Наряду с радиоволнами, несущими полезную информацию, на приемное устройство РТС воздействуют и помехи различной природы.

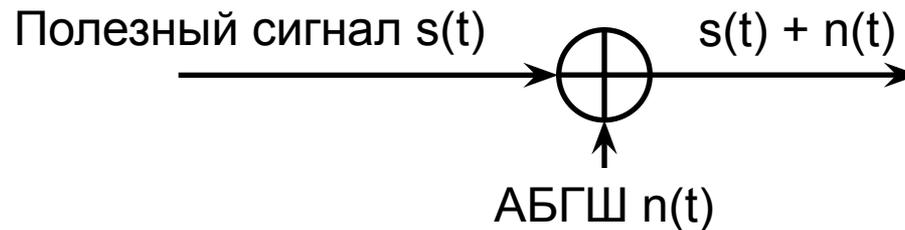
К числу таковых относятся:

- собственные шумы приемника;
- атмосферный и космический шум;
- промышленные помехи, связанные с эксплуатацией электроустановок различного назначения;
- межсистемные помехи, создаваемые посторонними радиосредствами;
- преднамеренные помехи, умышленно излучаемые объектами, противодействующими той или иной РТС.



Канал связи с белым шумом

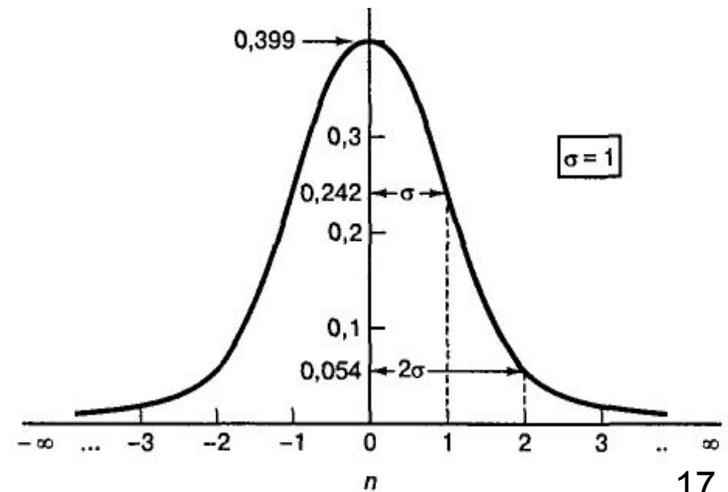
Базовой моделью канала связи является канал с АБГШ (аддитивным белым гауссовским шумом):



$n(t)$ – это случайная функция, значение которой в произвольный момент времени характеризуется гауссовой функцией плотностью вероятности:

$$p(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{n}{\sigma}\right)^2\right]$$

σ - Среднее квадратическое отклонение



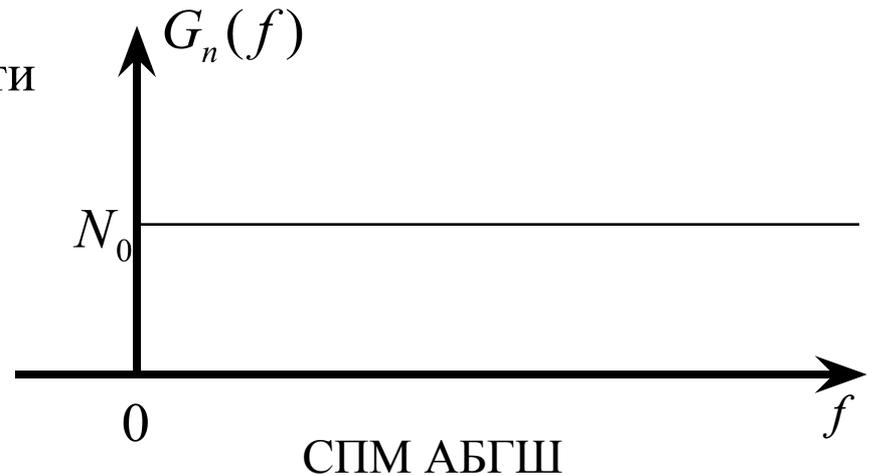
Канал связи с белым шумом

Свойства АБГШ:

- Спектральная плотность мощности равномерна и бесконечна:

$$G_n(f) = N_0, \text{ Вт/Гц}$$

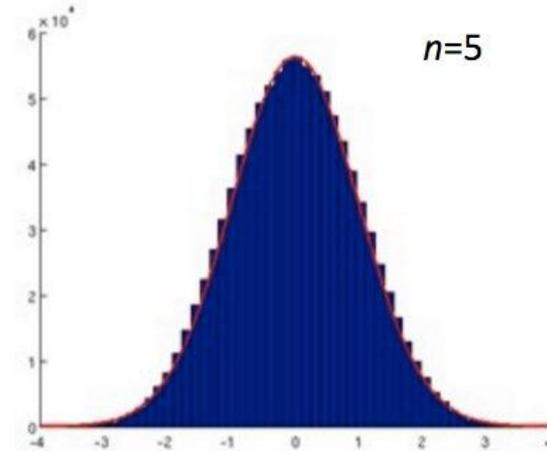
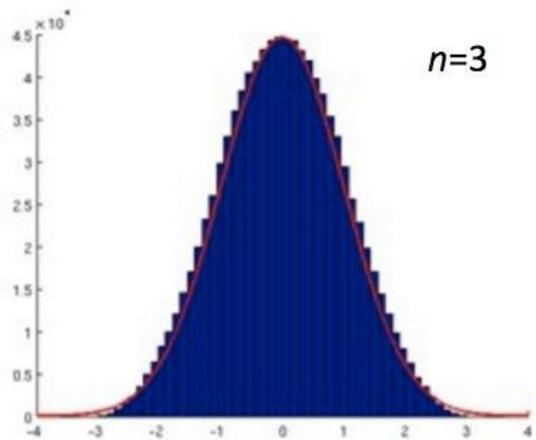
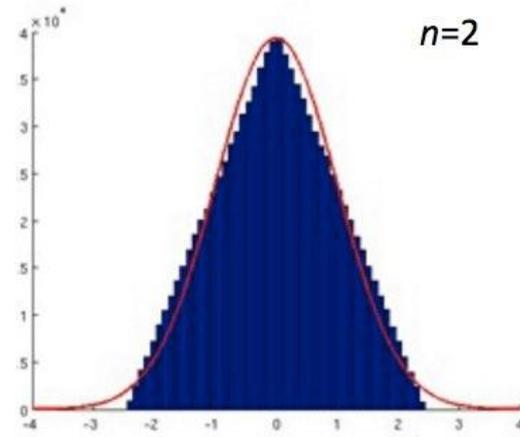
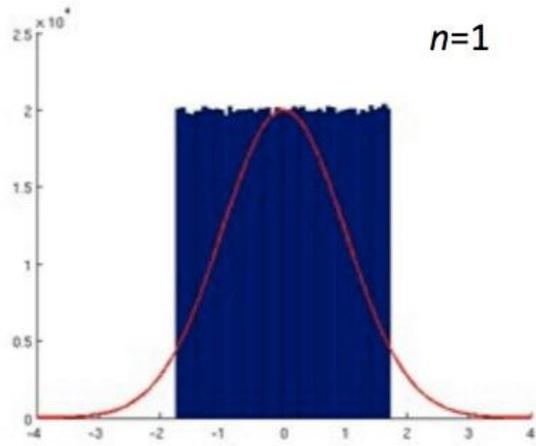
- Средняя мощность АБГШ бесконечна.
- АБГШ абсолютно не коррелирован, т.е. любое мгновенное значение шума не связано с предыдущими.



Центральная предельная теорема

Если X_i - независимые и одинаково распределенные случайные величины с конечными σ^2 и μ , то

$$\frac{\sum_{i=1}^n X_i - n\mu}{\sigma\sqrt{n}} \rightarrow N(0;1) \quad \text{при } n \rightarrow \infty$$

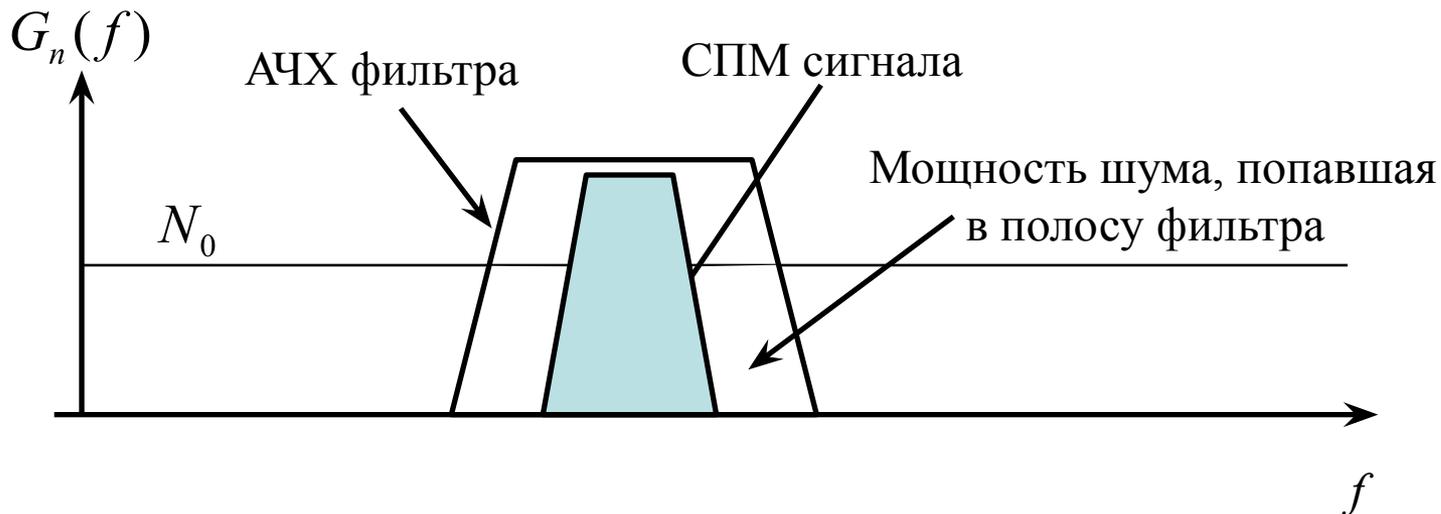


Понятие «сигнал/шум»

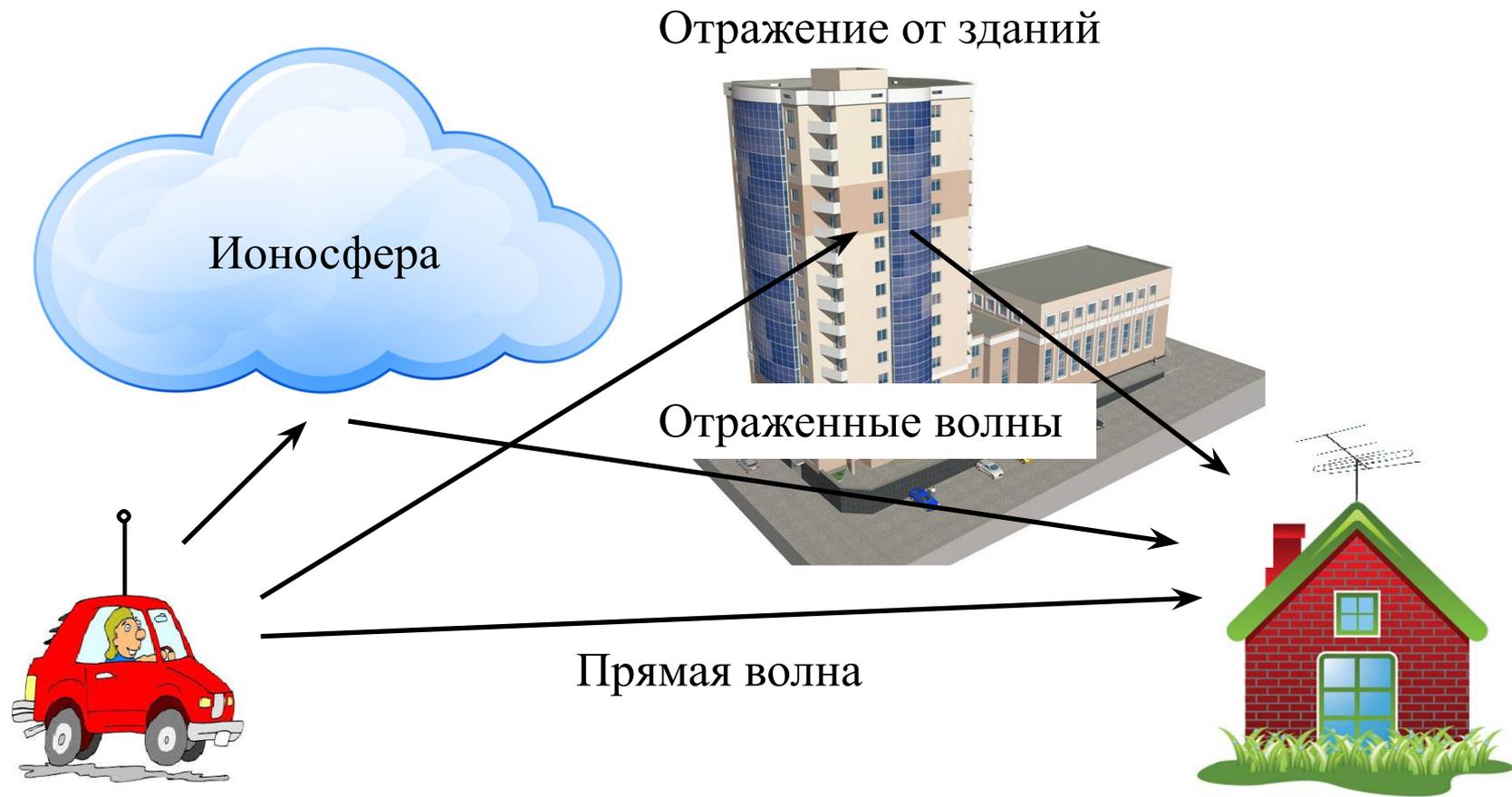
На вход приемного устройства поступает смесь сигнала и шума. Мощность шума на входе демодулятора определяется полосой приемного фильтра.

Отношение мощности сигнала и мощности шума, попавшего в полосу фильтра, называется отношением сигнал/шум (SNR)

$$\frac{c}{ш} = \frac{\text{средняя мощность сигнала}}{\text{средняя мощность шума в полосе}}$$



Переотражения как источник интерференции и замираний (фединга)



Переотражения как источник интерференции и замираний (фединга)

Если отраженный сигнал запаздывает на время, равное половине периода несущего колебания, то сигналы складываются в противофазе и возникают замирания, т.е. уменьшение уровня сигнала.

Как правило, замирания меняются со временем, особенно если приемник или передатчик передвигаются.

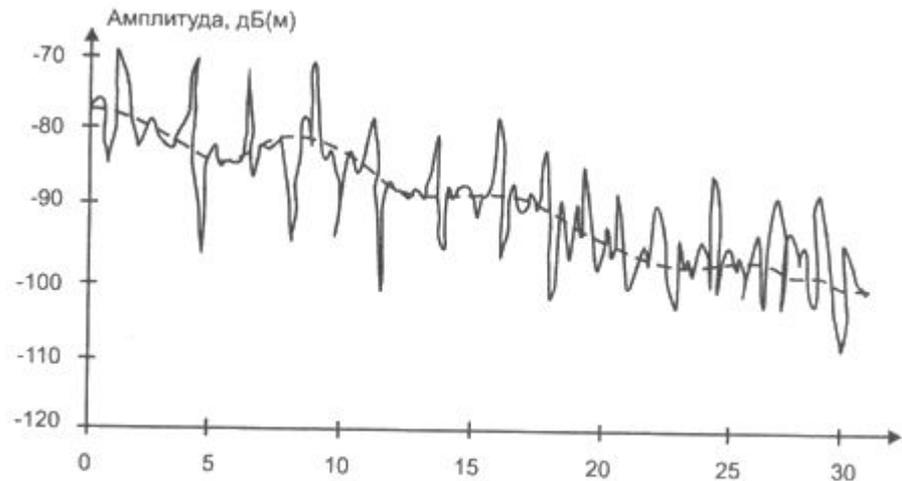
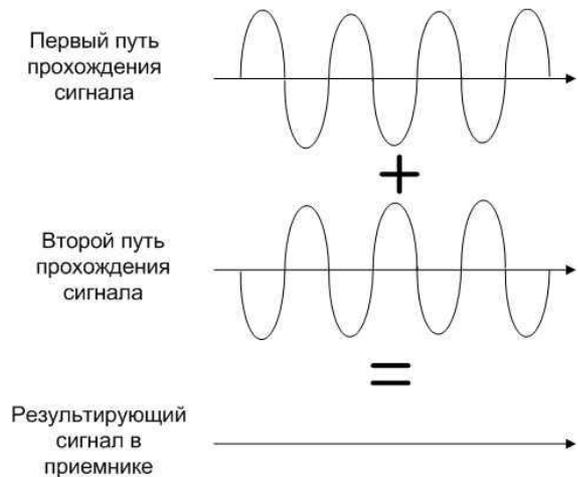


Рис. 3.4. Характер медленных и быстрых замираний

Литература

1. Бернард Скляр – Цифровая связь
2. Дж. Прокис – Цифровая связь
3. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации.
4. К. Феер – Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра.