

# Определение РТС

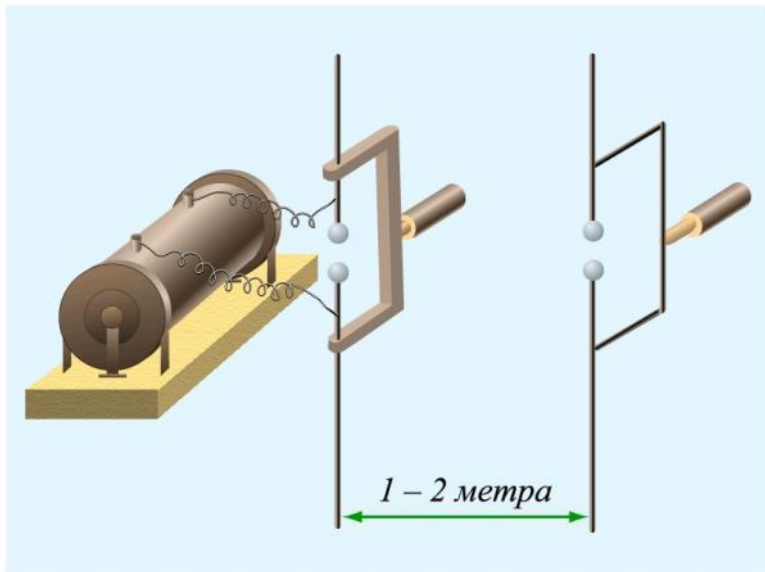
Радиотехнические системы (РТС) – это совокупность электронных устройств, осуществляющих передачу, извлечение или разрушение информации с помощью радиоволн.

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

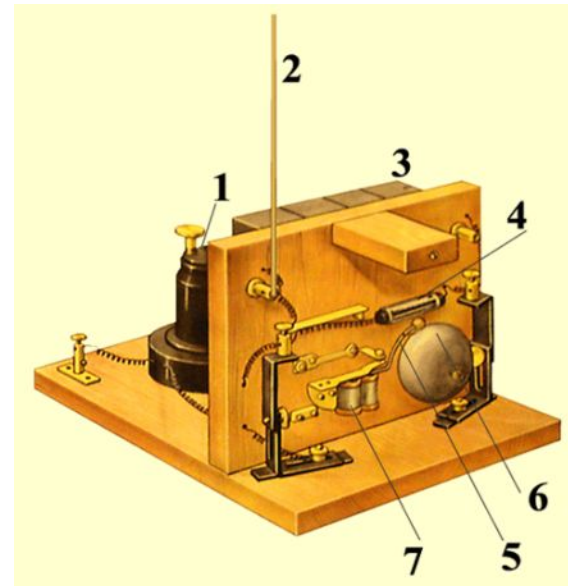
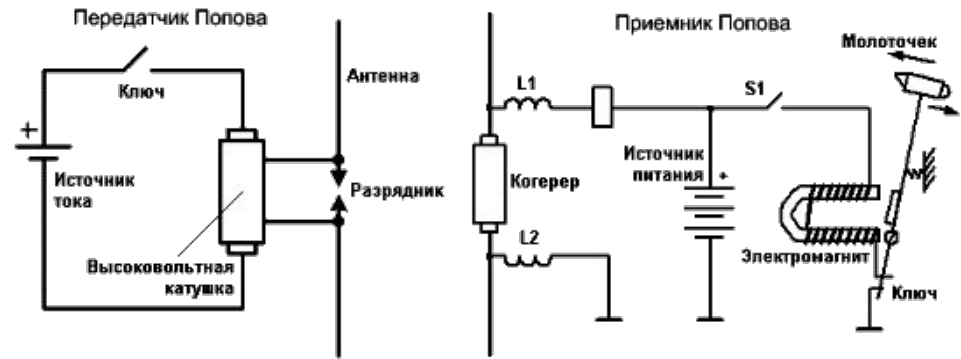
Характерным признаком РТС является использование радиосигнала в качестве носителя информации.

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  $\phi$  – 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

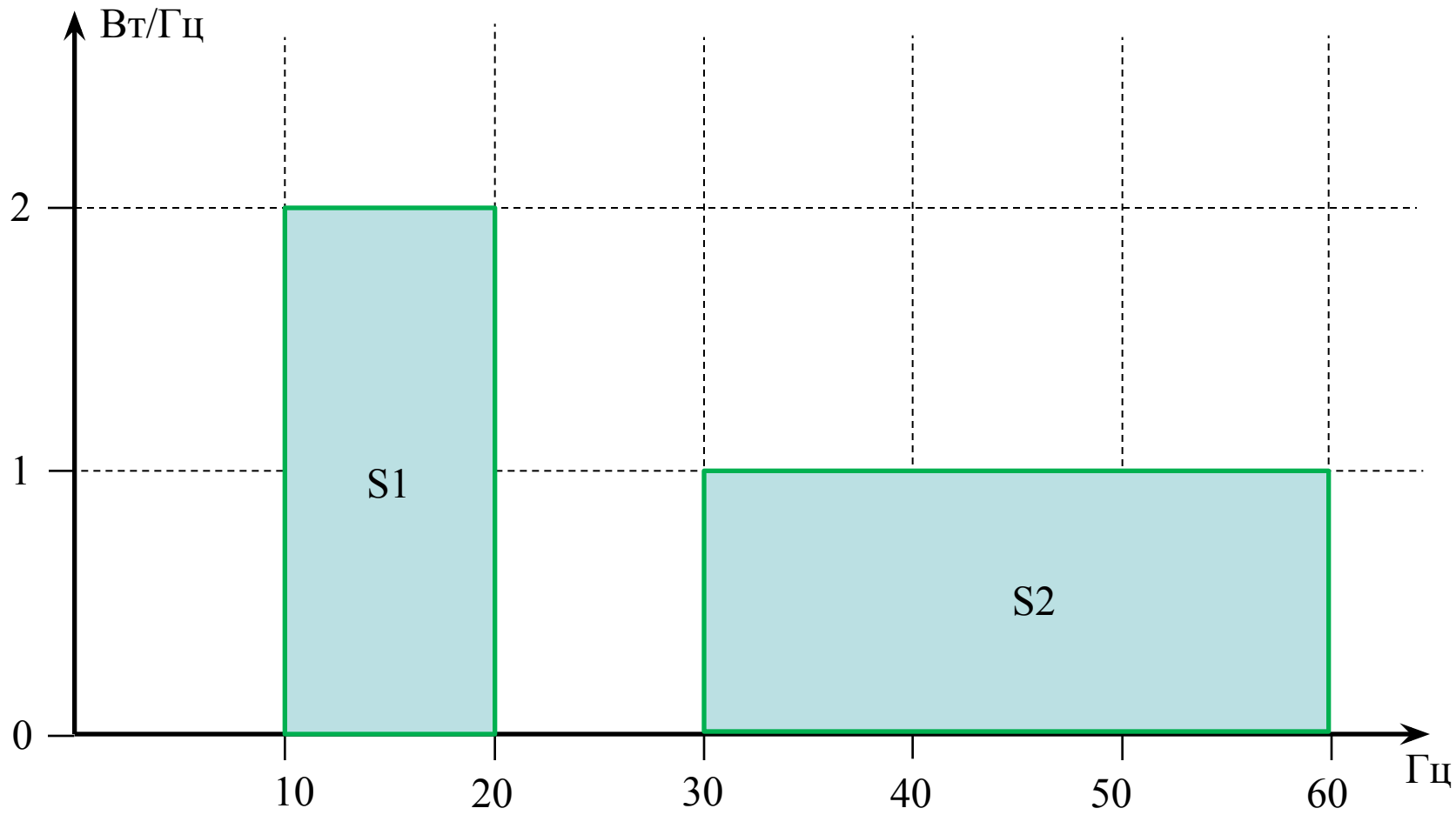
$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt = \Phi[x(t)]$$

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

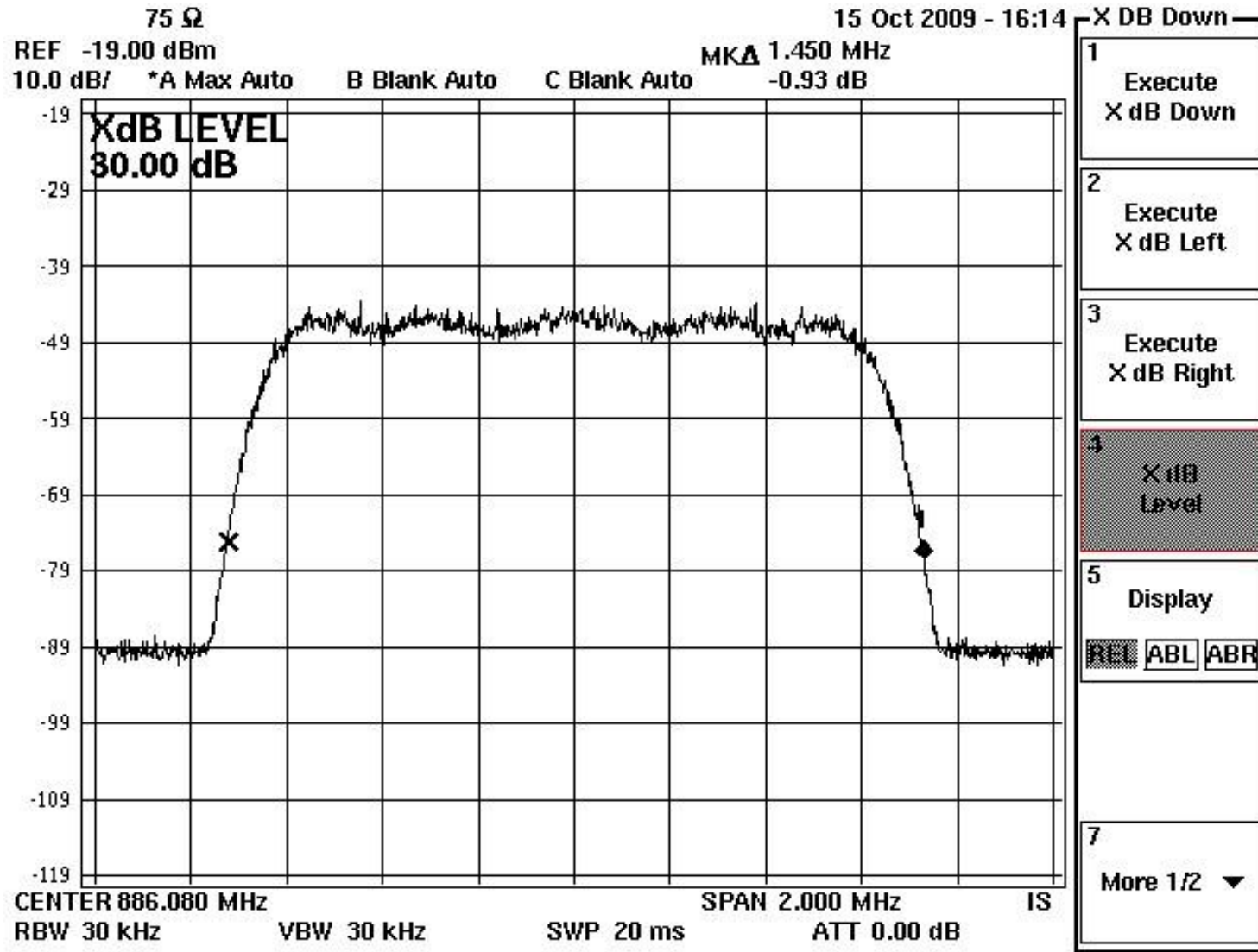
Функция  $X(f)$  называется **Фурье-образом** сигнала  $x(t)$ . Она определена при положительных и отрицательных частотах.

# 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 (  $\sim 3.3$  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.

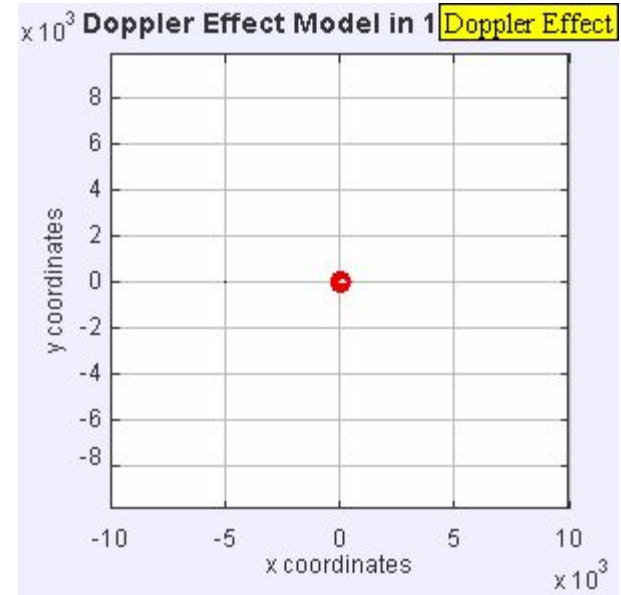
Чем более точная модель канала связи, тем больше параметров она учитывает.

# Эффект Доплера

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

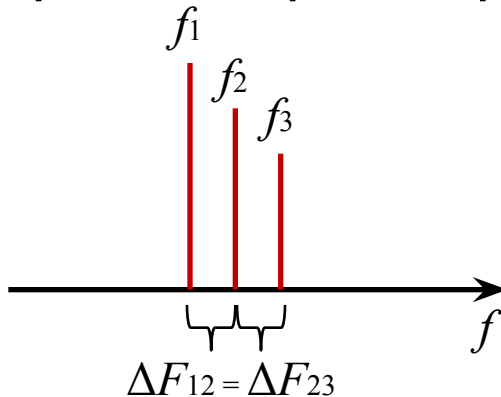
$$\Delta f = f_0 \frac{v}{c} \cos \theta$$

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

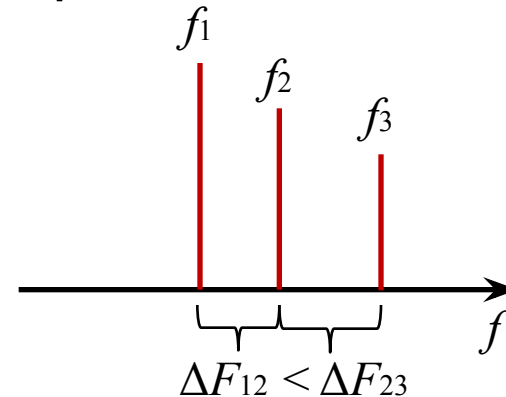


Для 100 км/ч и 100 МГц сдвиг частоты составляет 9,25 Гц

## Доплеровское расширение спектра



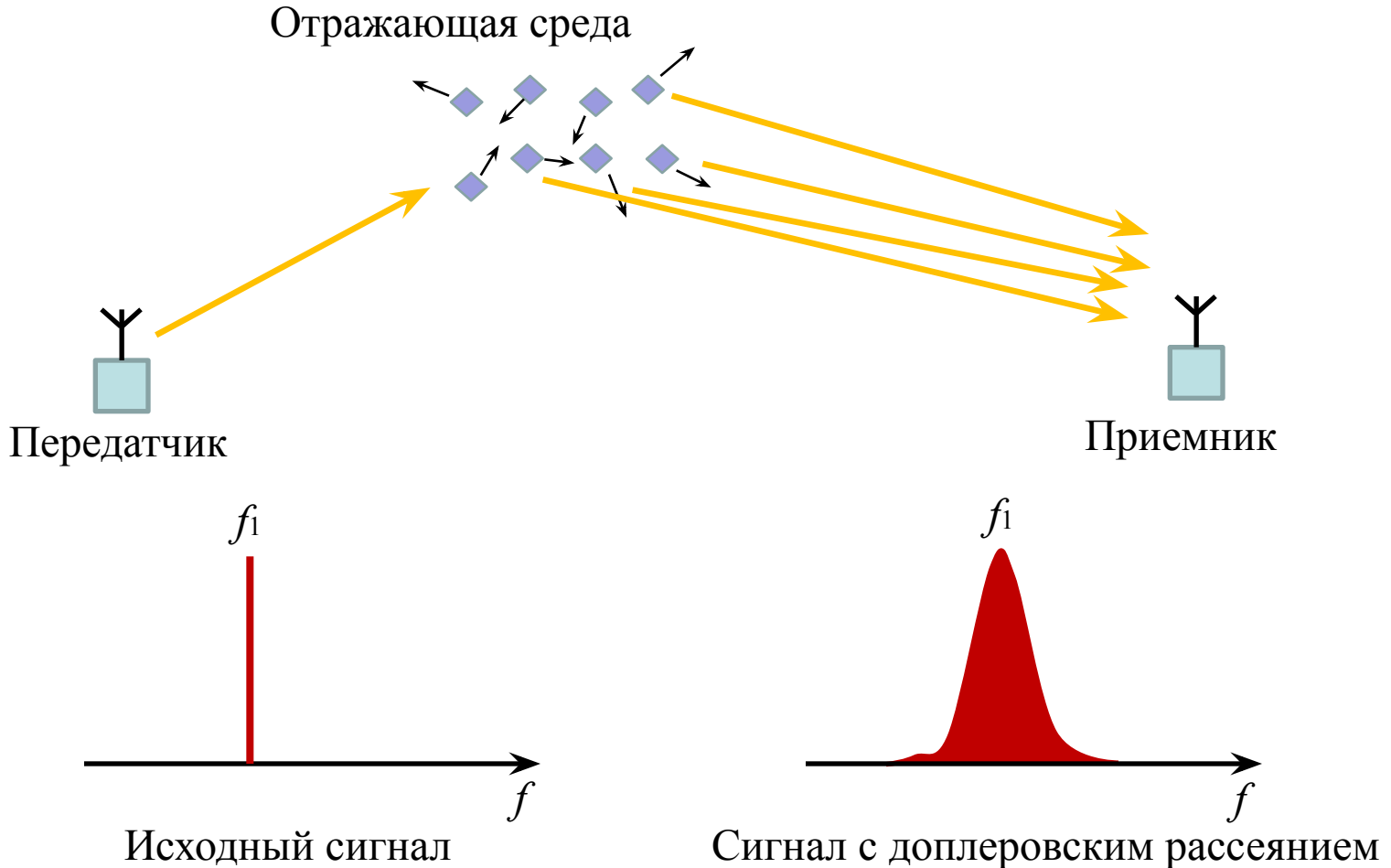
Неподвижные объекты



Подвижные объекты

# Доплеровское рассеяние

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

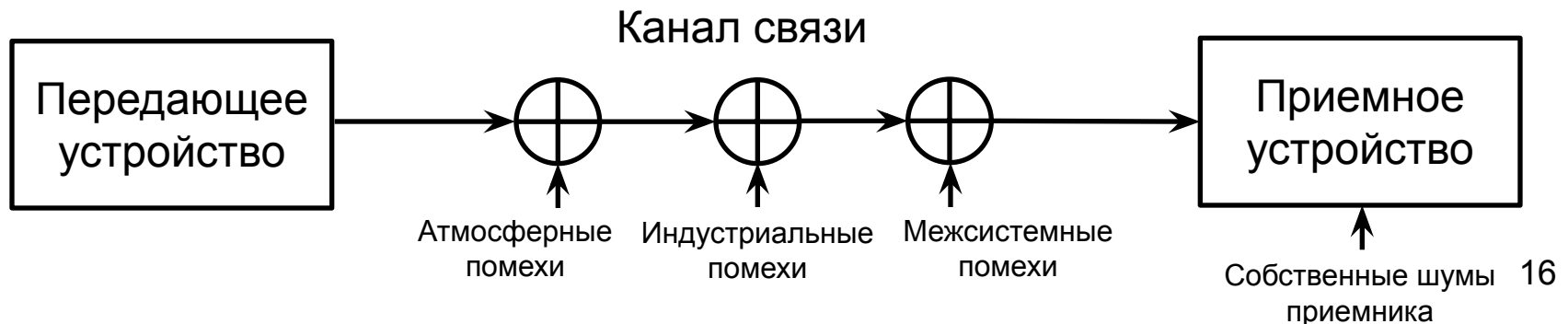


# Шумы и помехи

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

К числу таковых относятся:

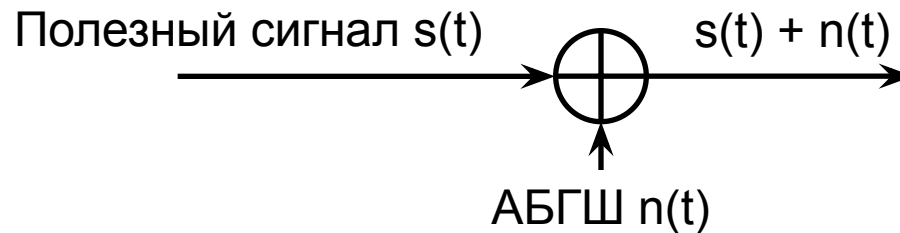
- собственные шумы приемника;
- атмосферный и космический шум;
- промышленные помехи, связанные с эксплуатацией электроустановок различного назначения;
- межсистемные помехи, создаваемые посторонними радиосредствами;
- преднамеренные помехи, умышленно излучаемые объектами, противодействующими той или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





# Канал связи с белым шумом

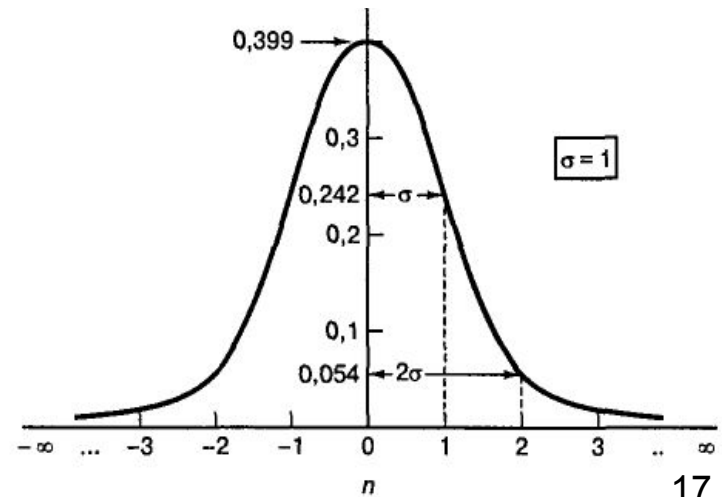
Базовой моделью канала связи является канал с АБГШ (аддитивным белым гауссовским шумом):



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

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

$\sigma$  - Среднее квадратическое отклонение



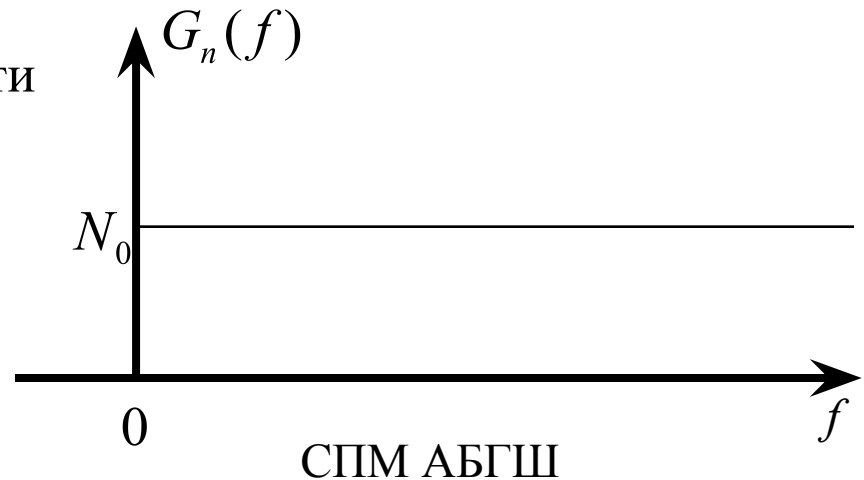
## Канал связи с белым шумом

Свойства АБГШ:

- Спектральная плотность мощности равномерна и бесконечна:

$$G_n(f) = N_0, \text{ Вт/Гц}$$

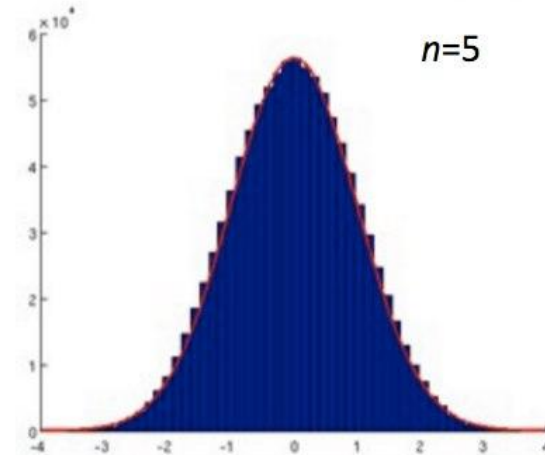
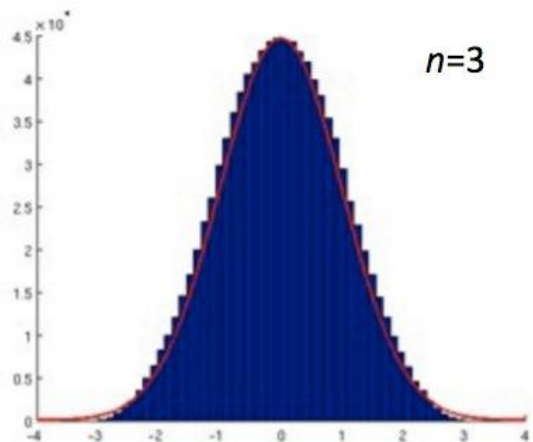
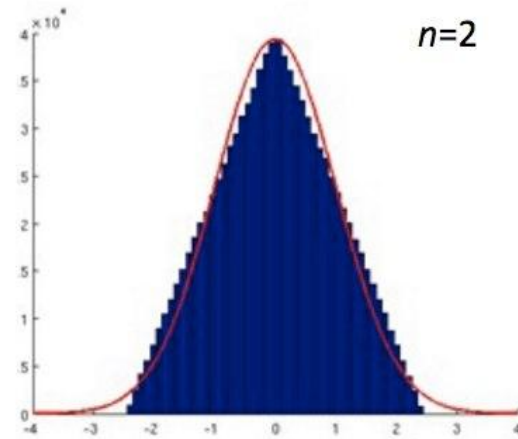
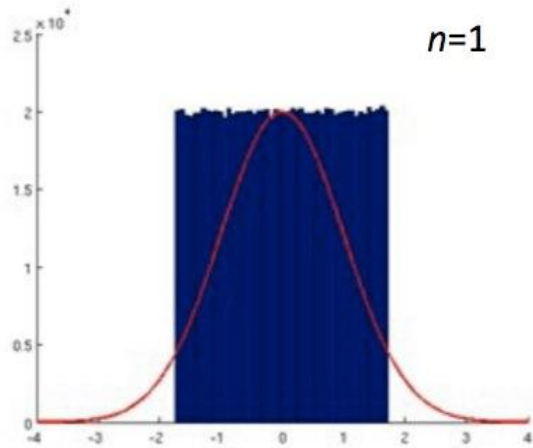
- Средняя мощность АБГШ бесконечна.
- АБГШ абсолютно не коррелирован, т.е. любое мгновенное значение шума не связано с предыдущими.



# Центральная предельная теорема

Если  $X_i$  - независимые и одинаково распределенные случайные величины с конечными  $\sigma^2$  и  $\mu$ , то

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

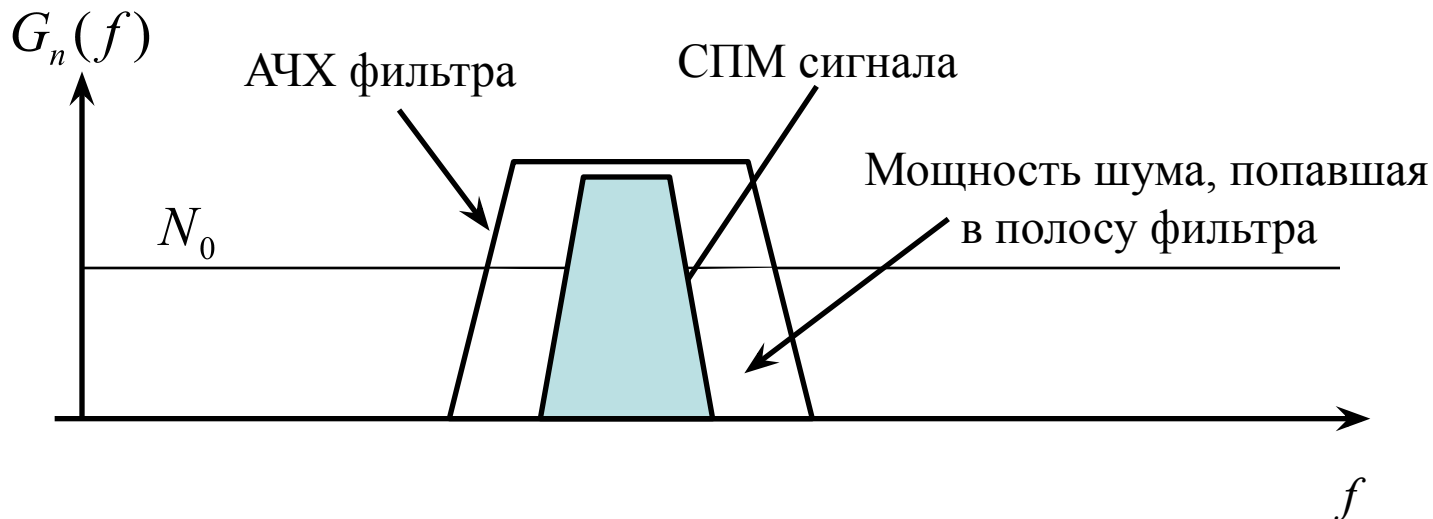


## Понятие «сигнал/шум»

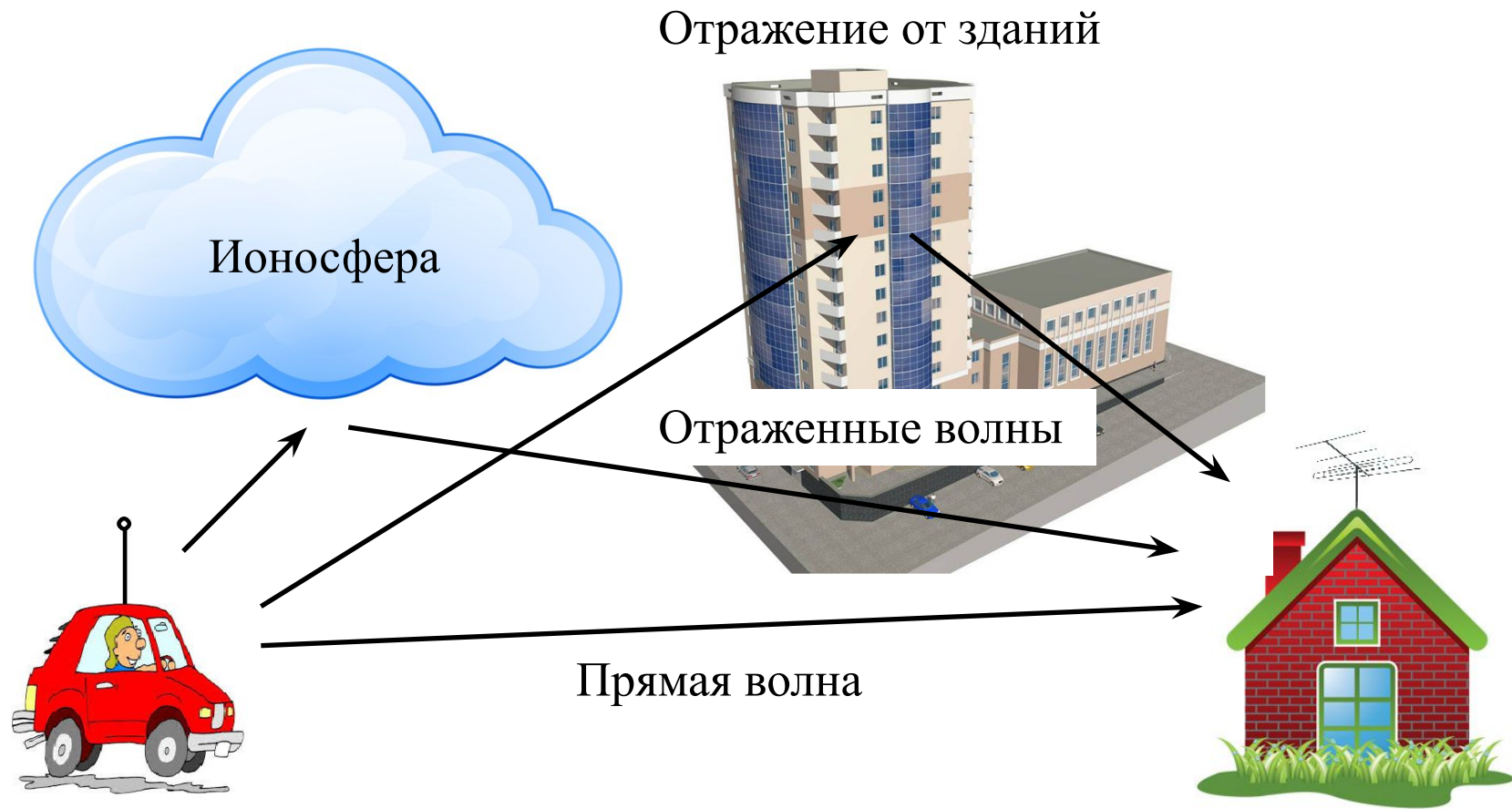
На вход приемного устройства поступает смесь сигнала и шума. Мощность шума на входе демодулятора определяется полосой приемного фильтра.

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.

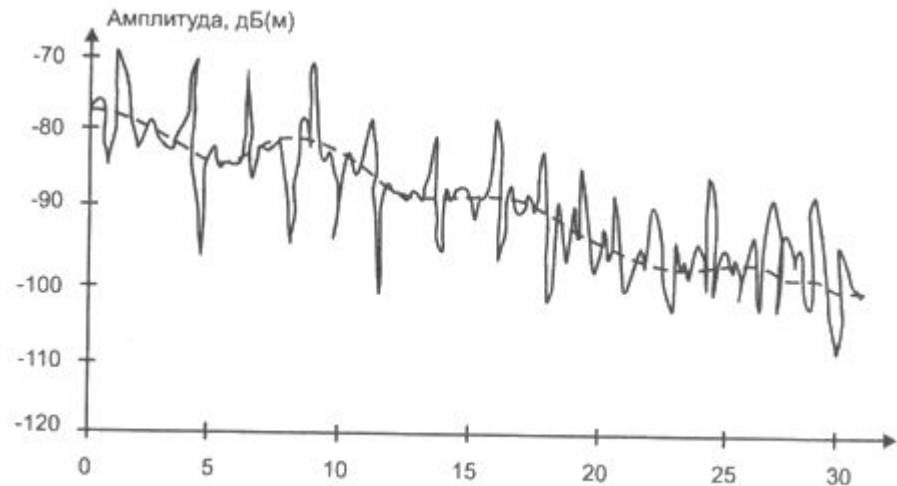
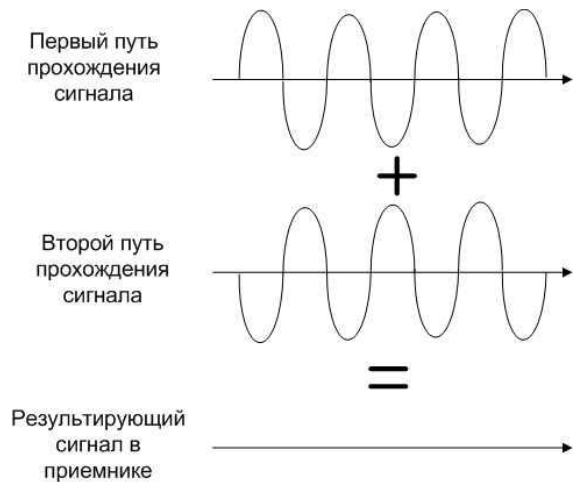


Рис. 3.4. Характер медленных и быстрых замираний

# 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.