

1 Канал

1.1 Функция канала в модели

В рассматриваемой модели канал представляет собой среду распространения сигнала от передающей антенны к приемной. В данном разделе моделируются помехи и искажения, которые могут оказывать влияние на радиосигнал по мере его распространения: на сигнал накладывается аддитивный шум, моделируется многолучевое распространение, а также вносится частотная рассинхронизация между приемником и источником.

1.2 Помехи и искажения

1.2.1 Шум

Причина возникновения Аддитивный (тепловой) шум - явление, характерное для всех систем связи. Появляется в электрических цепях в виде колебания ЭДС, а также при распространении радиоволны в пространстве с наличием мешающих сигналов той же частоты, что и полезного сигнала. Наличие шума в канале является причиной возникновения ошибок при демодуляции. Это связано с "размытием" точек созвездия на демашпере, как показано на рисунке 1.

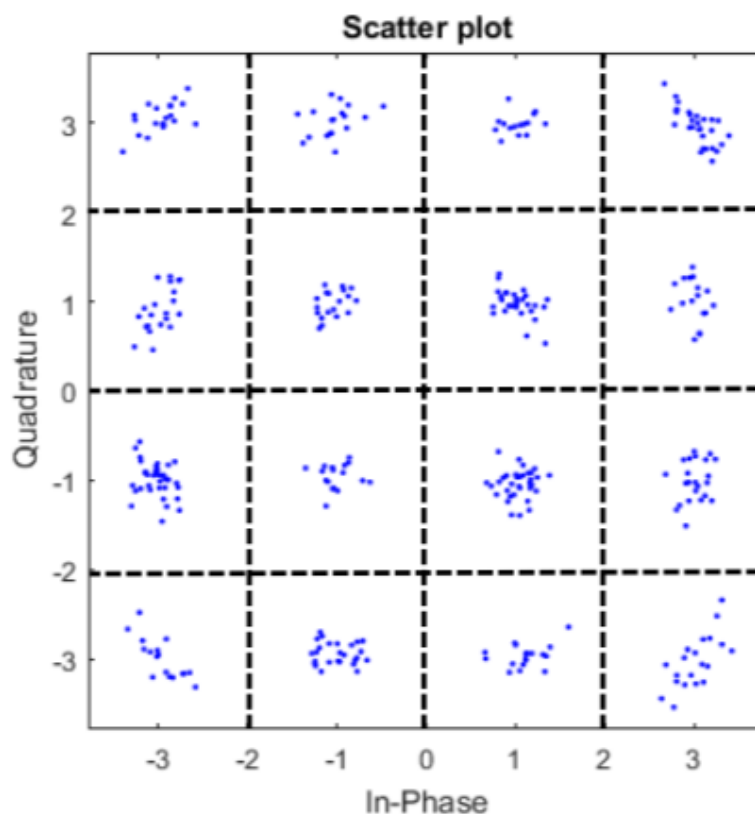


Рис. 1: Размытие точек на сигнальном созвездии из-за шума

Математика В данной работе при моделировании канала на сигнал накладывается аддитивный белый Гауссовский шум.

- *Аддитивным* он называется из-за характера воздействия на сигнал: отсчеты шума N суммируются с отсчетами сигнала X .

$$Y = X + N,$$

- *Белым* - из-за связи со спектром белого света: такой шум имеет равномерную спектральную плотность мощности во всей используемой полосе частот. Спектр белого Гауссовского шума показан на рисунке 2.

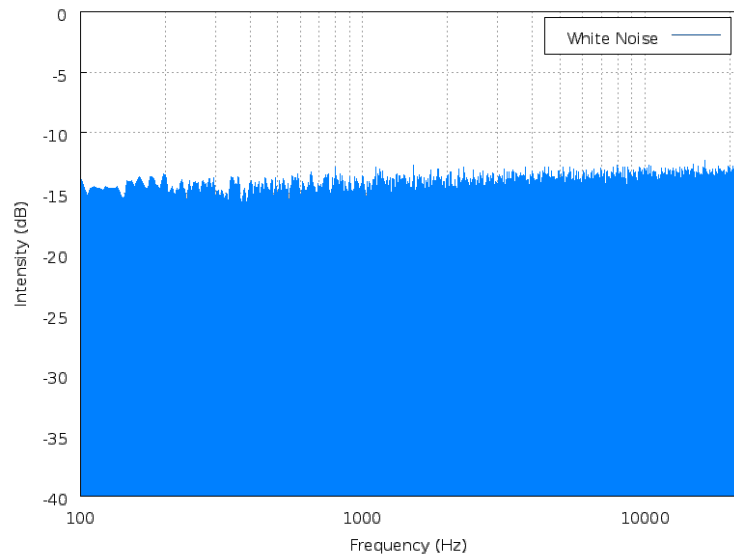


Рис. 2: Спектр белого Гауссовского шума

- *Гауссовским* - из-за нормального (Гауссовского) распределения временных значений с нулевым средним. Функция нормального распределения показана на рисунке 3.

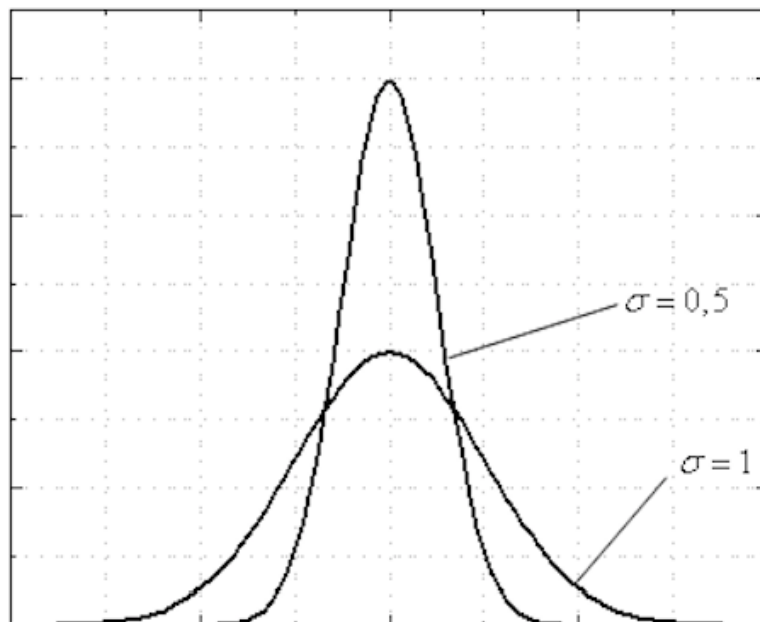


Рис. 3: Распределение Гаусса

При моделировании канала в MATLAB для наложения аддитивного белого Гауссовского шума используется функция `awgn(signal, SNR, sigpower)` для добавления к сигналу *signal* мощностью *sigpower* шума для обеспечения отношения сигнал/шум, равного *SNR*.

1.2.2 Многолучевое распространение

Причина возникновения Многолучевое распространение - явление, возникающее при условии нахождения в точке приема радиосигнала не только прямого, но и отраженных от различных препятствий лучей. Такими препятствиями являются поверхность земли, строения и прочие объекты на пути распространения сигнала (рисунок 4).

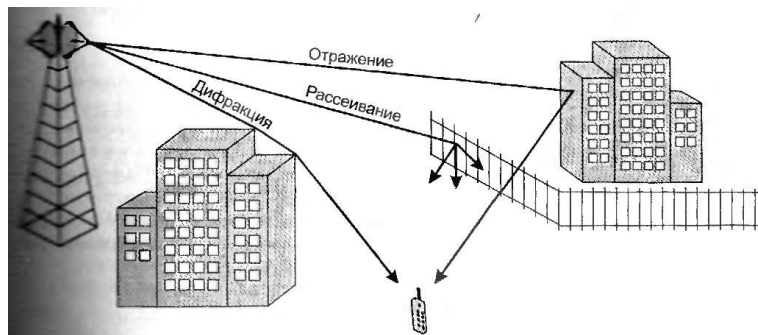


Рис. 4: Многолучевое распространение

Отраженные лучи приходят в точку приема с некоторыми задержками.

- Если задержка распространения всех лучей мала по сравнению с длительностью канального символа, явление многолучевого распространения приводит только к интерференции лучей, которая, в свою очередь, ведет к *замираниям* сигнала - изменению амплитуды и фазы сигнала с частотой, намного большей частоты сигнала. Пример изменения спектра сигнала из-за замираний представлен на рисунке 5.

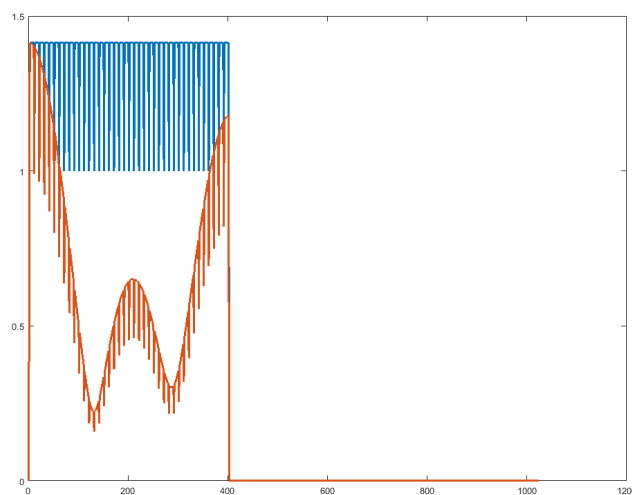


Рис. 5: Искажение спектра сигнала из-за замираний

Методы борьбы с замираниями: разнесенный прием, увеличение мощности сигнала, автоматическая регулировка усиления.

- Если задержка распространения сравнима с длительностью канального символа, явление многолучевого распространения может привести не только к замираниям, но и к межсимвольной интерференции - частичному наложению канальных символов друг на друга.

Методы борьбы с межсимвольной интерференцией: увеличение защитных интервалов между символами, процедура эквалайзинга на приемнике, увеличение ширины полосы сигнала.

Моделирование Для защиты от многолучевого распространения в модуляторе используются защитные интервалы. При моделировании данного явления в лабораторной работе вырезается некоторое количество отсчетов сигнала. Таким образом, имитируется временная рассинхронизация приемника и передатчика (см. рисунок 6).

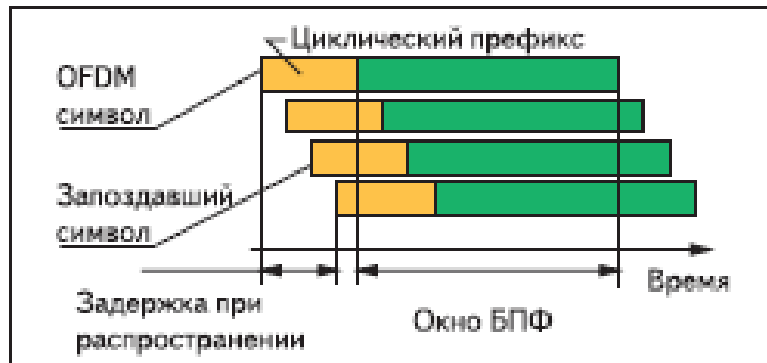


Рис. 6: Временной сдвиг

1.2.3 Частотный сдвиг и размытие

Причина возникновения При распространении радиосигнала также могут наблюдаться эффекты частотного сдвига и размытия. Причиной этого явления может служить эффект Доплера - изменение длины волны (а, значит, и частоты) сигнала во время движения передатчика. Также, причиной возникновения данных явлений могут являться сбои в настройке передающего или приемного устройства.

Математика В данной работе рассматривается только явление частотного сдвига. Сигнал, распространяющийся от приемника к передатчику в среде, имеет вид:

$$s(t) = \sum_k a_k e^{i(\omega_k t + \varphi_k)} \quad (1)$$

С математической точки зрения частотный сдвиг влево на ω_0 частотных отсчетов представляет собой домножение исходного сигнала на $e^{i(\omega_0 t)}$:

$$r(t) = s(t) e^{i(\omega_0 t)} = \sum_k a_k e^{i([\omega_k + \omega_0]t + \varphi_k)}$$

В общем виде частотный сдвиг, происходящий при распространении сигнала, не является целочисленным, поэтому имеет смысл отдельно рассмотреть целую и дробную часть частотного сдвига.

1. При *целочисленном* частотном сдвиге форма спектра сигнала не изменяется, спектр лишь параллельно сдвигается вправо на некоторое количество отсчетов, как показано на рисунке 7. Для восстановления спектра достаточно перестроить рабочую частоту приемника.
2. При *дробном* сдвиге нарушается ортогональность несущих, что приводит к искажению спектра (см. рисунок 8). Для восстановления спектра при дробном частотном

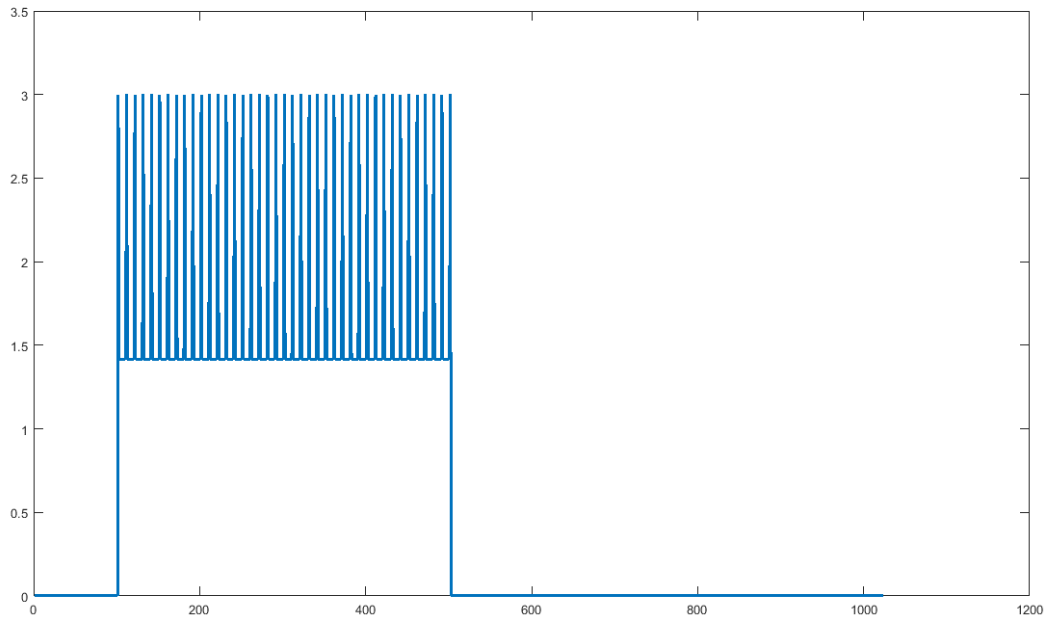


Рис. 7: Спектр сигнала с целочисленным частотным сдвигом на 100 отсчетов

сдвиге необходимо узнать разность фаз отсчета сигнала и соответствующего ему отсчета защитного интервала. Описанная разность фаз и будет дробным частотным сдвигом.

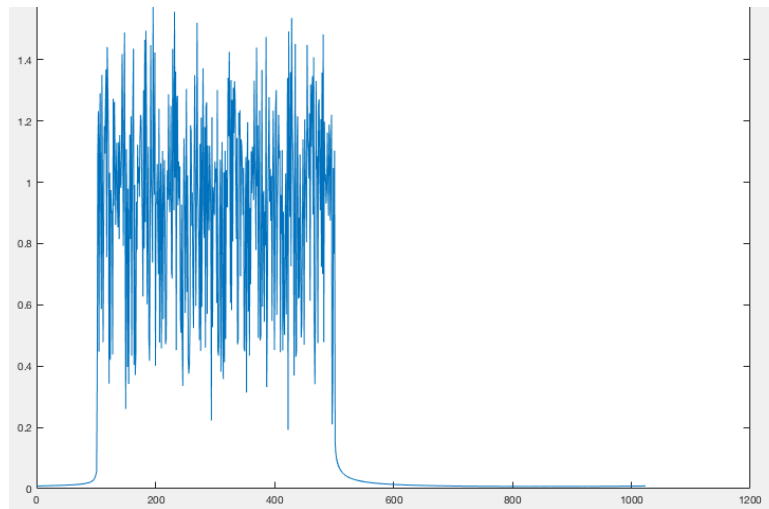


Рис. 8: Спектр сигнала, сдвинутого на 100,1 отсчета

Моделирование При моделировании частотного сдвига сигнал (1) преобразуется следующим образом:

$$r_n(t) = s_n(t)e^{i2\pi(\frac{nk}{N_{FFT}})}$$

где $s_n(t)$ и $r_n(t)$ - n -ные отсчеты исходного и измененного сигналов соответственно, а k - значение частотного сдвига.

1.2.4 Канальная характеристика и её учет при демодуляции

В OFDM-системах часто используется применение канальной характеристики для компенсации вышеописанных искажений. Данный метод основан на выявлении параметров среды распространения сигнала и их учете при демодуляции.

Для получения канальной характеристики передают пилотные символы и выясняют, как изменяются параметры сигнала при распространении от приемника к передатчику. Если среда является статичной (положение приемника, передатчика и препятствий на пути распространения изменяются медленно по сравнению со скоростью передачи символов), для избавления от искажений к полученным информационным символам применяют преобразования, аналогичные тем, что использовались для восстановления пилотного символа.