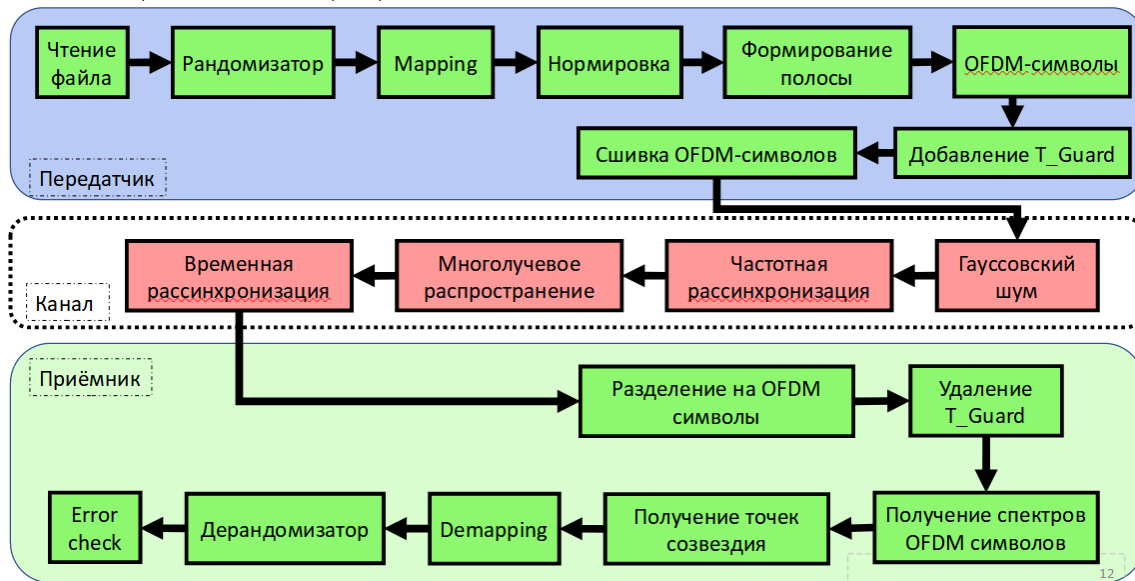


Домашнее задание 3

Схема:



В данной работе были добавлены различные искажения канала. Также были построены АЧХ и сигнальные созвездия для каждого из типов искажений: гауссовского шума, частотной рассинхронизации, многолучевого распространения и временной рассинхронизации.

Параметры, используемые в работе:

$N_{\text{carrier}} = 400$;

$N_{\text{fft}} = 1024$;

$T_{\text{guard}} = N_{\text{fft}} / 8$;

$\text{Amount_OFDM_Frames} = 60$;

$\text{Amount_OFDM_Symbols_per_Frame} = 5$;

$\text{Register} = [1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$;

$\text{constellation} = \text{"16-QAM"}$;

Гауссовский шум:

Гауссовский шум — шум, для которого выполняется гауссовское нормальное распределение:

$$\rho(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) . \text{ Он возникает при приеме сигнала из-за тепловых шумов на}$$

аналоговом оборудовании приемника.

SNR (Signal to Noise Ratio) показывает, насколько сильно сигнал превышает уровень шума в канале, это соотношение мощности сигнала к мощности шума в канале.

$$SNR = 10 \cdot \log\left(\frac{P_s}{P_n}\right),$$

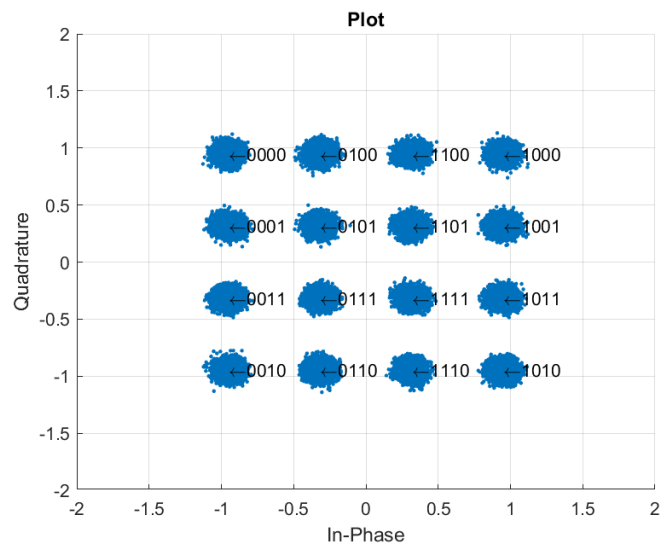
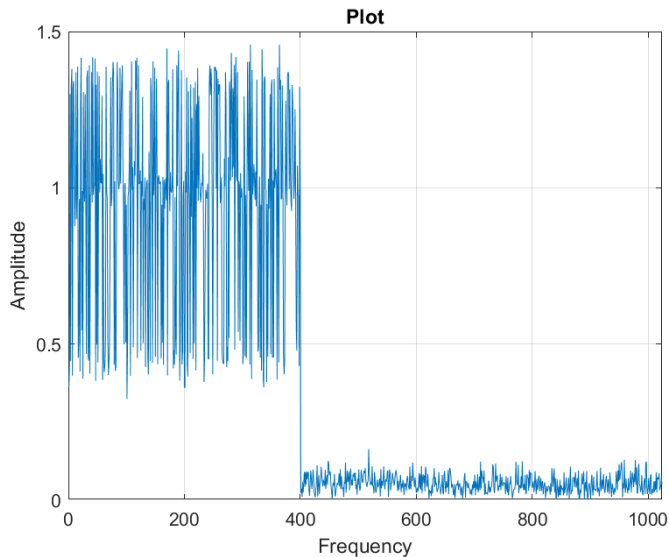
где P_s – мощность сигнала, P_n – мощность шума.

Как вычисляется MER:

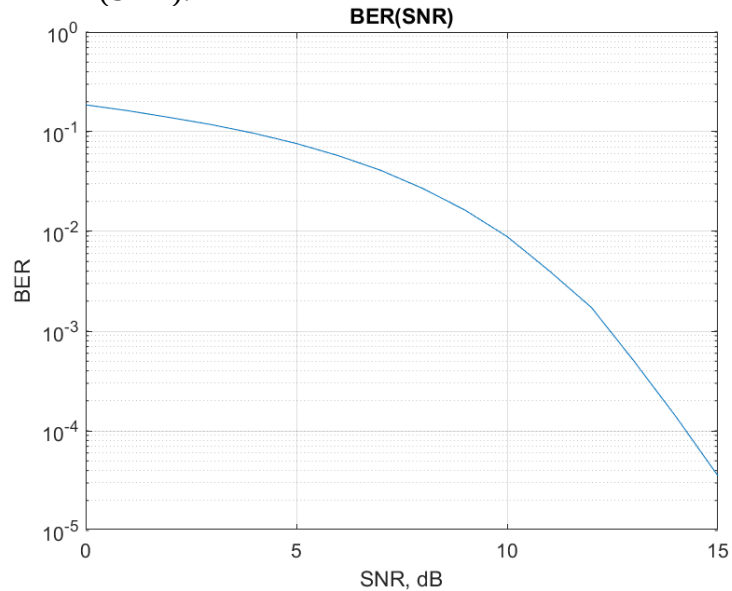
$$MER = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right] dB$$

где $(I_j; Q_j)$ – координаты идеальной точки созвездия (отправленная точка созвездия), $(\delta I_j; \delta Q_j)$ – вектор ошибки (отклонение точки созвездия от отправленной точки созвездия). То есть MER отобразит, насколько сильно точки, полученные на приемнике, отклоняются от исходного созвездия.

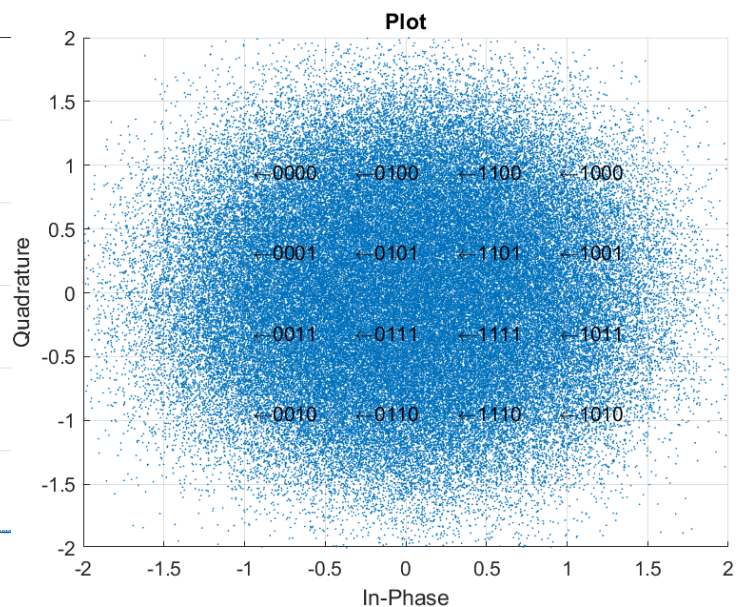
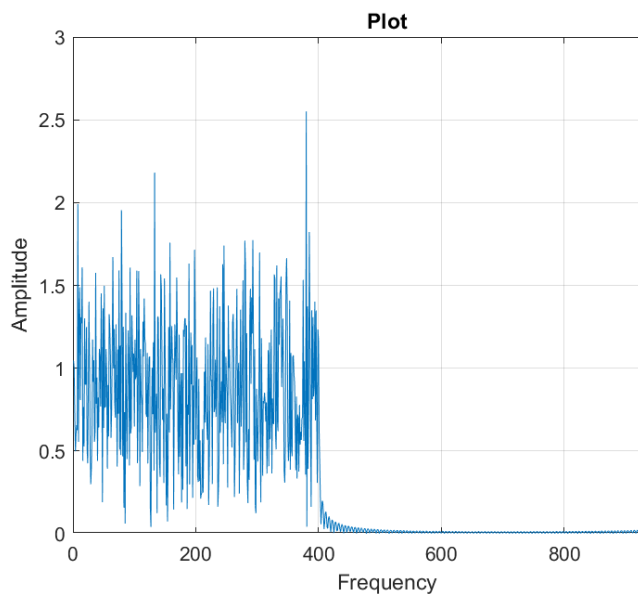
При SNR = 20 dB: MER равен 24.1 dB, АЧХ и сигнальное созвездие выглядят так:



Графики зависимости BER(SNR):



Временная рассинхронизация: этот эффект был уже проиллюстрирован в первой работе, был смоделирован сдвиг сигнала на несколько отсчетов по временной шкале. АЧХ и сигнальное созвездие:

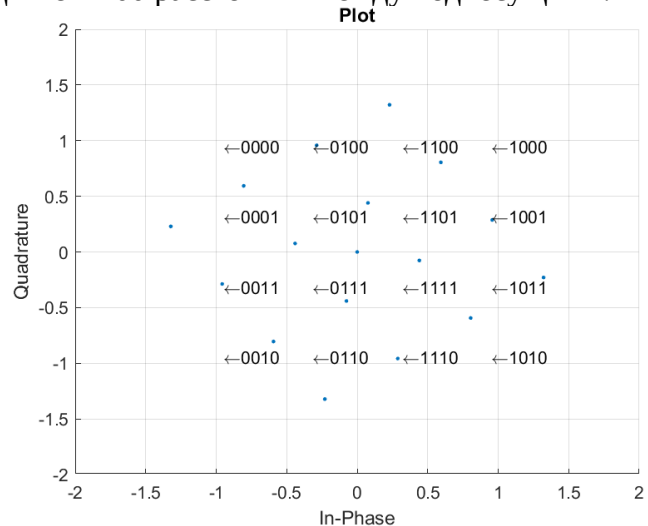
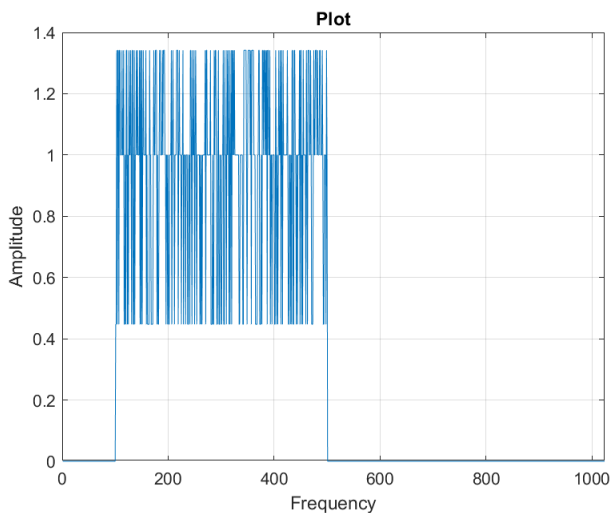


Эффектом временной рассинхронизации является то, что точки сигнала на IQ плоскости вообще перестали соответствовать исходному созвездию и хотя бы хоть немного быть похожими на него. Более подробно данный эффект был рассмотрен в новом отчете к первой работе, здесь только приведу возможные причины его возникновения: несовершенство оборудования передачи и приема, их рассинхронизация; отражение и преломление сигнала в канале.

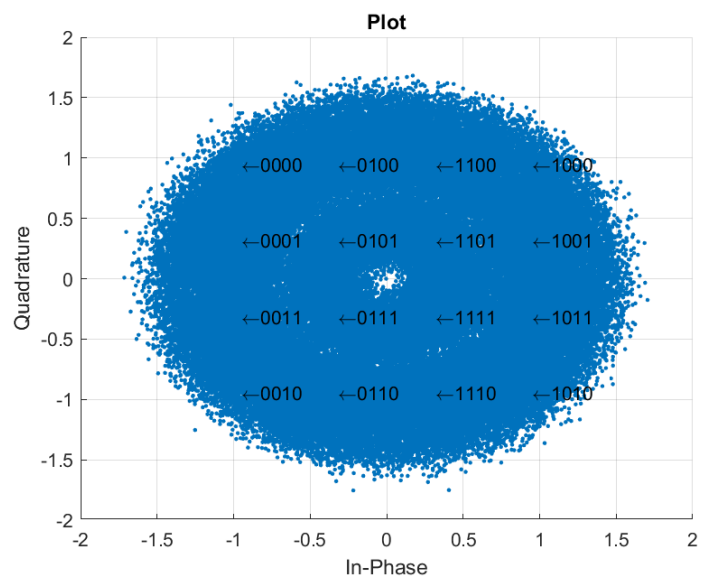
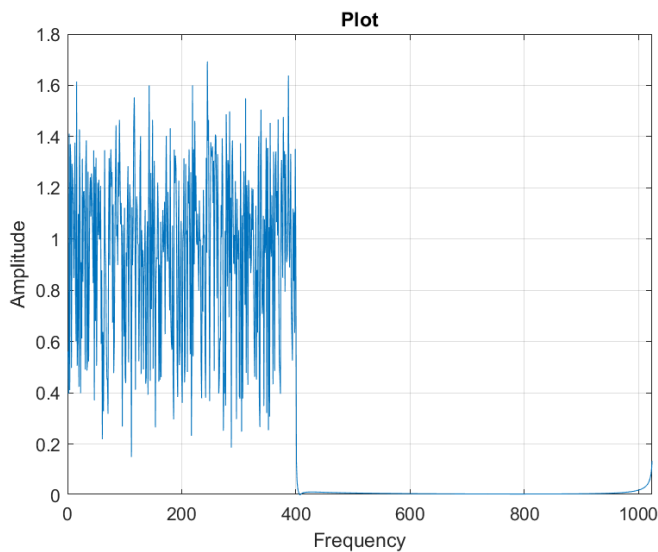
Частотная рассинхронизация: причина появления — эффект Доплера, происходит сдвиг сигнала в частотной области, это заметно на АЧХ, на сигнальном созвездии происходит поворот точек на соответствующий частотному сдвигу угол, так как каждый отсчет сигнала получает одинаковый дополнительный сдвиг по фазе (следует из формулы ниже).
Математическое описание этого сдвига:

$$r_n = s_n e^{i\left(\frac{2\pi n \delta f}{N_{fft}}\right)}$$

АЧХ и сигнальное созвездие при частотном сдвиге в 100 расстояний между поднесущими:



АЧХ и сигнальное созвездие при частотном сдвиге в 10% от расстояния между поднесущими:



Такая разница связана с тем, что в первом случае происходит частотный сдвиг на целое число расстояний между поднесущими, а во втором случае — на нецелое, при этом происходит потеря ортогональности поднесущих.

$$r_n = s_n e^{i\left(\frac{2\pi n \delta f}{N_{fft}}\right)} = \sum_{k=0}^{N_c} A_k e^{i\left(\frac{2\pi n k}{N_{fft}}\right)} e^{i\left(\frac{2\pi n \delta f}{N_{fft}}\right)} = \sum_{k=0}^{N_c} A_k e^{i\left(\frac{2\pi n (k + \delta f)}{N_{fft}}\right)}$$

То есть при сдвиге на целое число расстояний между поднесущими их ортогональность сохранится, так как они по-прежнему будут удовлетворять условию, при котором они являются ортогональными, при сдвиге на нецелое число данное условие будет нарушено.

Многолучевое распространение определяется так:

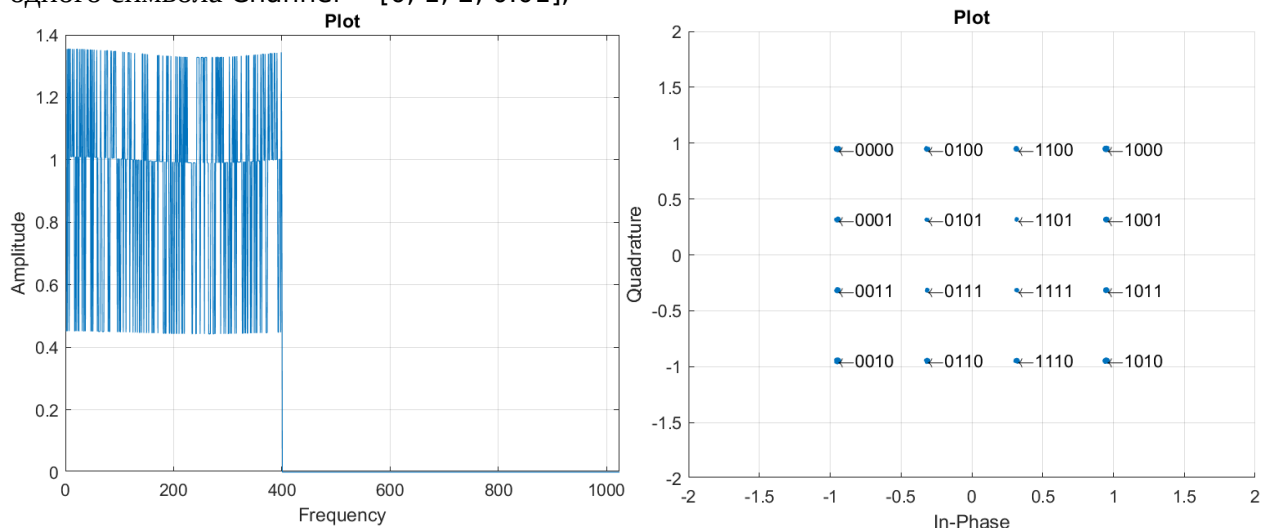
$$r(t) = a_0 s(t) + a_1 s(t - \tau_1) + a_2 s(t - \tau_2) + \dots,$$

Где a_n - коэффициент затухания луча, τ_n - временная задержка луча, при этом $\tau_0 = 0$.

Это эффект, при котором сигнал в канале распространяется не по одному пути, а распространяется по нескольким путям между передатчиком и приемником. Причина этого — отражение, преломление и рассеяние сигнала от различных объектов в среде. Происходит в каналах, где есть препятствия или неоднородная среда. Появляются временные задержки, с которыми сигнал по различным путям достигает приемника, так как время прохождения и длина каждого пути разные. Профиль задержки показывает, как мощность сигнала распределена по временным задержкам, когда сигнал достигает приемника через различные пути из-за многолучевого распространения. Многолучевое распространение приводит к искажению сигнала, потере ортогональности поднесущих и тому, что точки на IQ-плоскости вообще не соответствуют исходному созвездию. Еще это приводит к тому, что на приемник приходит интерференция смещенных по времени копий сигнала (и самого сигнала) с различными амплитудами и фазами.

АЧХ и сигнальное созвездие выглядят так при параметрах многолучевого распространения из примера из примера с домашним заданием. АЧХ и сигнальное созвездие выглядят так:

Амплитудные замирания: в результате амплитуда сигнала практически не меняется в рамках одного символа Channel = [0, 1; 2, 0.01];



Частотно-селективные замирания: в результате амплитуда сигнала сильно меняется в рамках одного символа в зависимости от частоты Channel = [0, 1; 5, 0.5];

