## Моделирование приемной части цифровой системы связи

**Цель работы:** изучение основ работы приемников цифровых систем связи.

**Задачи работы:** описание теоретических моделей процессов, происхо- дящих в приемниках цифровых систем связи; моделирование системы связи в Simulink.

Для моделирования приемной части системы связи необходимо исполь- зовать следующие блоки Simulink:

*Error Rate Calculator* – блок подсчета количества ошибок при приеме информации;

*Display* – блок отображения информации (сигналов); *To Workspace* – блок вывода данных в среду MATLAB; *Gain* – усилитель сигнала;

*Raised Cosine Receive Filter* – приемный фильтр с характеристикой при- поднятого косинуса;

*Downsample* – блок понижения частоты дискретизации;

*Add* – блок суммирования/вычитания сигналов;

*Constant* – источник неизменяемого сигнала (константа);

*Complex to Real-Imag* – блок выделения реальной и мнимой части ком- плексного сигнала;

*Product* – блок перемножения/деления сигналов;

*Minimum* – блок поиска минимального значения вектора/матрицы сиг- налов;

*n-D Lookup Table* – блок *n*-размерной таблицы соответствий (таблицы истинности);

*Scope* – осциллограф;

*Discrete-Time Eye Diagram Scope* – блок отображения глазковой диа- граммы сигнала;

*Discrete-Time Signal Trajectory Scope* – блок отображения траектории вектора комплексной огибающей сигнала на плоскости;

*Discrete-Time Scatter Plot Scope* – блок отображения диаграммы рассея- ния сигнала;

*Subsystem* – подсистема, позволяющая оформить часть модели в виде отдельного блока;

*Spectrum Scope* – анализатор спектра сигнала.

На рисунке 2.13 показан вид законченной модели системы цифровой связи в Simulink.



Рисунок 2.13 – Законченная модель системы цифровой связи

Блок приемной части модели системы связи показан на рисунке 2.14.

Коэффициент усиления *Gain* выбирается обратным коэффициенту усиления в передатчике. Согласованная фильтрация сигнала выполняется при помощи фильтра с характеристикой корень из приподнятого косинуса (*Raised Cosine Receiver Filter*) со следующими настройками: тип фильтра (*Filter Type*) – ко- рень из приподнятого косинуса (*Square Root*); количество входных отсчетов на один символ (*Input samples per symbol (N)*) – 8; групповая задержка, опре- деляющая длину ИХ фильтра, (*Group Delay*) – 5 символов; коэффициент скругления (*Rolloff Factor*) – 0.8; коэффициент понижения частоты дискрети- зации (*Output Mode*) – *None*; характер обработки сигнала (*Input Processing*) – *sample based*. Перед понижением частоты дискретизации блоком *Downsample* сигнал выводится на блок отображения глазковой диаграммы и блок отобра- жения траектории вектора комплексной огибающей сигнала.



Рисунок 2.14 – Согласованная фильтрация и децимация сигнала

Демодуляция сигнала осуществляется на основе подсчета метрик (рис. 1.37) и выполняется в виде универсального демодулятора (рис. 2.15). Матри-

ца (вектор) созвездия задается при помощи константы (*Constellation* на рис. 2.15). Поиск минимального значения метрики осуществляется при помощи блока *Minimum*.



Рисунок 2.15 – Демодулятор сигнала

Соответствие между индексом минимальной метрики и символом зада- ется в блоке *n-D Lookup Table* (рис. 2.16).



Рисунок 2.16 – Определение соответствий между индексами матрицы созвездия и символами (для QAM16)

На рисунке 2.17 показаны диаграммы принимаемого сигнала с выхода согласованного фильтра при отсутствии шумов, без частотного и фазового

рассогласования и без задержки в канале связи. Из рисунков хорошо видно,

что на принимаемое созвездие практически не оказывает влияние межсим- вольная интерференция.



Рисунок 2.17 – Согласованный прием сигнала

Добавление к сигналу АБГШ приводит к размытию точек в созвездии и повышению вероятности ошибки при приеме сигнала (рис. 2.18).



Рисунок 2.18 – Воздействие АБГШ на принимаемый сигнал Частотное рассогласование приводит к вращению сигнального созвез-

дия, что показано на рисунке 2.19. Фазовое рассогласование приводит к пово- роту сигнального созвездия (рис. 2.20). Рассинхронизация приемника по сим- вольной частоте приводит к размытию созвездия (рис. 2.21).



Рисунок 2.19 – Результат частотного рассогласования при приеме



Рисунок 2.20 – Результат фазового рассогласования при приеме



Рисунок 2.21 – Результат рассогласования по символьной частоте при приеме

На рисунке 2.22 показаны осциллограммы передаваемого и принимае- мого сигналов. Не трудно подсчитать, что общая задержка в системе связи равна 10 периодам следования импульсов данных. Данную задержку нужно учесть в блоке подсчета количества ошибок передачи информации (*Error Rate Calculator – Receive Delay*).



Рисунок 2.22 – Сопоставление передаваемого и принимаемого сигналов

## Порядок выполнения работы:

1. Согласно приведенным выше рисункам и описанию, создайте модель законченной системы связи в Simulink, убедитесь в ее работоспособности.
2. Установите нулевое частотное и фазовое рассогласование. Задайте нулевую дробную задержку в канале связи. Установите ОСШ равным 0 дБ, оцените статистическую вероятность появления ошибки при помощи блока *Error Rate Calculator*.Увеличивайте ОСШ с шагом 5 дБ до достижения значе- ния вероятности символьной ошибки не более 10 -5. Проведите ряд дополни- тельных измерений (не менее 5 точек) в области низких вероятностей сим- вольной ошибки (10 -2…10-5). Данные занесите в таблицу и постройте график. Сохраните для отчета все графики, полученные в ходе моделирования.
3. Проведите моделирование согласно пункту 2 при фазовом рассогла- совании 5º, 10º, 85º, 175º. Данные занесите в таблицу и постройте график за- висимости символьной ошибки от фазового рассогласования. При необходи- мости скорректируйте диапазон углов фазового рассогласования для кон- кретного вида манипуляции.
4. Проведите моделирование согласно пункту 2 при дробной задержке в канале связи 0.1, 0.5, 1, 3.9. Данные занесите в таблицу и постройте график

зависимости символьной ошибки от дробной задержки в канале связи. При необходимости скорректируйте диапазон задержек для конкретного вида ма- нипуляции.

1. По результатам выполнения моделирования составьте отчет, который должен содержать: цели и задачи работы, вид модели в Simulink, таблицы и графики, полученные при выполнении пунктов 2, 3 и 4, выводы по результа- там моделирования.