

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

**Кафедра радиотехнических систем (РТС)**

Утверждаю:  
Зав. каф. РТС, проф., д.т.н.  
Мелихов С.В.  
«                                  » 2017 г.



**Кологривов В.А., Овсянникова В.Н.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ  
СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСОВ ГАУССА И ВРЕМЕННОГО  
РАЗНЕСЕНИЯ КАНАЛОВ**

**Учебно-методическое пособие по лабораторной и самостоятельной работе и  
практическим занятиям  
для студентов направления  
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
по дисциплине  
«Теоретические основы систем мобильной связи»**

Разработчики:  
Доц. каф. РТС  
Кологривов В.А.  
Студент гр.1В3  
Овсянникова В.Н.

**Кологривов В. А., Овсянникова В.Н.**

**«Исследование сверхширокополосной многоканальной системы на основе импульсов Гаусса и временного разнесения каналов»:** Учебно – методическое пособие по лабораторной работе для студентов направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Теоретические основы систем мобильной связи». – Томск: ТУСУР. Научно-образовательный портал, 2017. – 27 с.

Учебно-методическое пособие содержит описание функциональной модели для исследования сверхширокополосной многоканальной системы на основе импульсов Гаусса и временного разнесения каналов, выполненной в среде функционального моделирования *Simulink*, системы для инженерных и научных расчетов *MatLab*.

В пособии приведены краткие теоретические сведения о сверхширокополосной связи и временном разнесении каналов, краткая характеристика пакета *Simulink* системы *MatLab*, описание виртуального лабораторного макета и используемых блоков библиотеки *Simulink*.

### Аннотация

Лабораторная работа «Исследование сверхширокополосной многоканальной системы на основе импульсов Гаусса и временного разнесения каналов» посвящена экспериментальному исследованию многоканальной сверхширокополосной радиосвязи на основе временного разделения каналов с использованием пакета функционального моделирования *Simulink*, системы для инженерных и научных расчетов *MatLab*.

Работа «Модельное исследование многоканальной сверхширокополосной радиосвязи на основе временного разделения каналов» относится к циклу лабораторных работ, входящему в дисциплины по направлению «*Инфокоммуникационные технологии и системы связи*».

В описании сформулирована цель лабораторной работы, приведены краткие теоретические сведения о временном разнесении каналов в сверхширокополосной многоканальной системе на основе импульсов Гаусса, краткая характеристика пакета *Simulink* системы *MatLab*, описание виртуального лабораторного макета и используемых блоках библиотеки *Simulink*, а также требованиях к экспериментальному исследованию и контрольные вопросы, ответы на которые необходимы для успешной защиты лабораторной работы.

Лабораторная работа рассчитана на два занятия по 2 часа.

**Оглавление**

1 Цель работы .....	5
2 Краткие сведения из теории .....	5
2.1 Общая характеристика пакета Simulink.....	7
3 Запуск и работа с пакетом Simulink .....	8
4 Описание лабораторного макета .....	10
4.1 Описание используемых блоков библиотеки Simulink .....	15
5. Экспериментальное задание .....	25
6. Контрольные вопросы .....	26
Список использованных источников .....	27

## 1 Цель работы

**Цель работы:** Изучить принцип работы и особенности сверхширокополосной многоканальной системы на основе импульсов Гаусса и временного разнесения каналов.

## 2 Краткие сведения из теории

Термин Ultra Wideband (UWB) означает в настоящее время целый ряд радиотехнических понятий: радиосигнал без несущей, сверхширокополосный (СШП) сигнал, очень короткий радио импульс, временной импульс (time domain, «чип»). Данный сигнал является широкополосным, так как отношение его ширины полосы к значению центральной частоты спектра сигнала составляет величину, большую единицы (для традиционно используемых радиосигналов в радиосвязи это отношении существенно меньше).

Определение термина «сверхширокополосные сигналы» – Ultra Wideband – впервые было введено агентством DARPA министерства обороны США в 1990 году и скорректировано Федеральной комиссией связи США (FCC) в 2000 году. По определению FCC, в СШП относятся все сигналы со спектральной полосой не менее 1,5 ГГц, а также сигналы, у которых ширина спектральной полосы составляет по крайней мере 25% от значения центральной частоты [1].

Применение СШП сигналов с малой длительностью позволяет сохранять качество передаваемой информации на высоком уровне. За счет уменьшения длительности излучаемого импульса появляется возможность эффективно бороться с переотражениями, вызванными предметами, находящимися вблизи от антенны системы связи и от линии прямой видимости между источником и приемником информации. При длительности импульса 1 нс и наличии предметов, вызывающих переотражения, в радиусе более 30 см от линии прямой видимости, прямой сигнал будет принят неискаженным.

TDMA (Time Division Multiple Access) – множественный доступ с временным разделением. Это один из трех основных методов множественного доступа, т.е. способов разделения общего ресурса канала связи между участниками информационного обмена. TDMA широко применяется в стандартах второго поколения сотовой связи таких как, например, GSM.

Принцип временного разделения канала отображен на рисунке 2.1.

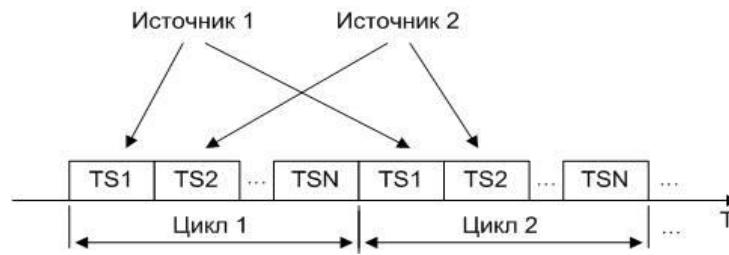


Рисунок 2.1 – Структура цикла TDMA

Основной принцип TDMA заключается в том, что имеющийся ресурс разделяется между участниками информационного обмена на циклически повторяющиеся промежутки времени циклы или кадры. Промежутки времени отводимые каждому пользователю получили название "таймслот" (timeslot, TS). При этом абонент может использовать всю ширину пропускания канала, но только в определенные временные отрезки. В такой ситуации главное, чтобы сигналы соседних таймслотов не накладывались друг на друга. Это может быть вызвано как слишком высокой мощностью передачи, так и помехами в канале, несовершенством используемого оборудования. Чтобы избежать подобных межслотовых помех часто вводят специальный защитный временной интервал. Таким образом, если часть энергии одного передатчика просочится за пределы отведенного ему таймслота, то она будет оказывать воздействие лишь на не несущий информацию защитный интервал. Введение такого интервала снижает общую пропускную способность канала связи, но необходимо для поддержания заданных характеристик качества обслуживания [2].

Принцип использования защитного интервала отображен на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Защитные интервалы в цикле TDMA

Системы с временным разделением являются перспективными для СШП систем беспроводного доступа с высокой скоростью передачи, однако при этом возрастают требования к системам синхронизации.

Временной форме импульса Гаусса соответствует выражение:

$$S_{иг}(t) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma} * \exp * \left( -\frac{t^2}{2\sigma^2} \right),$$

где  $\sigma$  – коэффициент формы см. рисунок 2.2.

Формула n-ой производной импульса Гаусса:

$$S^n(t) = -\frac{n-1}{\sigma^2} * S^{n-1}(t) - \frac{t}{\sigma^2} * S^{n-1}(t),$$

где n – порядок производной.

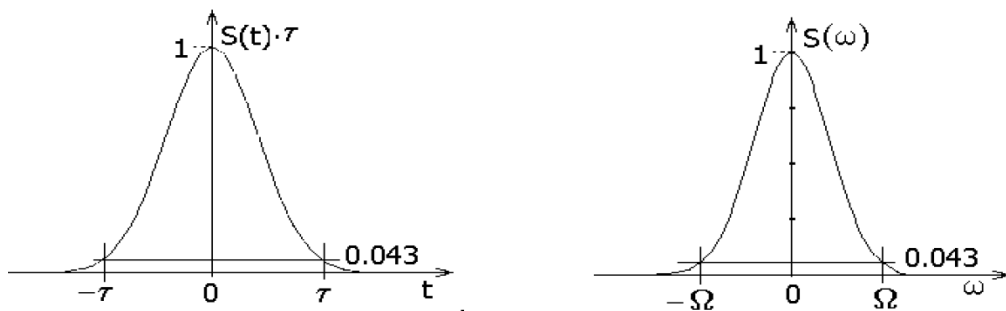


Рисунок 2.2 – Функция Гаусса и ее спектр

Теоретически протяженность функции бесконечна, однако вследствие затухания практически ее можно ограничить значениями от  $-\tau$  до  $\tau$ , где уровень сигнала уменьшается до 4,3% от максимального. Площадь под кривой равна 1.

Применение импульсов Гаусса, характеризуется большими показателями пропускной способности и малой дальностью связи. Подобные высокоскоростные СШП системы связи, работающие на расстоянии до 3-5 метров, могут найти применение в центрах обработки данных, области мобильных приложений или суперкомпьютерах [3].

Импульсы гауссовой формы удобно использовать в радиосвязи – они имеют наиболее узкий спектр частот.

## 2.1 Общая характеристика пакета Simulink

Для того чтобы открыть программу *Simulink*, нужно выполнить запуск программы *MatLab*. Пакет основан на графическом интерфейсе и является типичным средством визуально-ориентированного программирования. Пакет *Simulink* обладает обширной библиотекой готовых блоков с модифицируемыми параметрами для построения моделей рассматриваемых систем и наглядными средствами визуализации результатов моделирования [4, 5, 6].

### 3 Запуск и работа с пакетом Simulink

Для того чтобы открыть программу *Simulink*, нужно выполнить запуск программы *MatLab*. После открытия основного окна системы *MatLab* нужно запустить систему *Simulink*.

Возможны три способа запуска системы *Simulink*:

- 1) Нажать кнопку (*Simulink*) на панели инструментов системы *MatLab*;
- 2) В строке командного окна *MatLab* напечатать *Simulink* и нажать клавишу *Enter*;
- 3) Выполнить опцию *Open* в меню *File* и открыть файл модели (*mdl*-файл).

При первых двух способах отрывается окно обозревателя библиотеки блоков (*Simulink Library Browser*). Если уже имеется готовая модель и не требуется добавлять новые блоки, а нужно лишь провести моделирование, то подойдет третий способ запуска системы *Simulink*.

Окно обозревателя библиотеки блоков (*Simulink Library Browser*) состоит из следующих разделов см. рисунок 3.1:

- 1) *Continuous* – блоки аналоговых элементов;
- 2) *Discontinuous* – блоки нелинейных элементов;
- 3) *Discrete* – блоки дискретных элементов;
- 4) *Look-Up Tables* – блоки таблиц;
- 5) *Math Operations* – блоки элементов, определяющие математические операции;
- 6) *Model Verification* – блоки проверки свойств сигнала;
- 7) *Model-Wide Utilities* – раздел дополнительных утилит;
- 8) *Port&Subsystems* – порты и подсистемы;
- 9) *Signal Attributes* – блоки задания свойств сигналов;
- 10) *Signal Routing* – блоки маршрутизации сигналов;
- 11) *Sinks* – блоки приема и отображения сигналов;
- 12) *Sources* – блоки источников сигнала;
- 13) *User-Defined Function* – функции, определяемые пользователем.

Пользование древовидным списком библиотеки *Simulink*: символ «+» означает что список свернут следовательно, символ «-» означает что список находится в развернутом состоянии.



Чтобы свернуть или развернуть список, необходимо щелкнуть на символ левой клавишей мыши.

Выбирая определенный раздел библиотеки, содержимое будет отображаться в правой части окна.

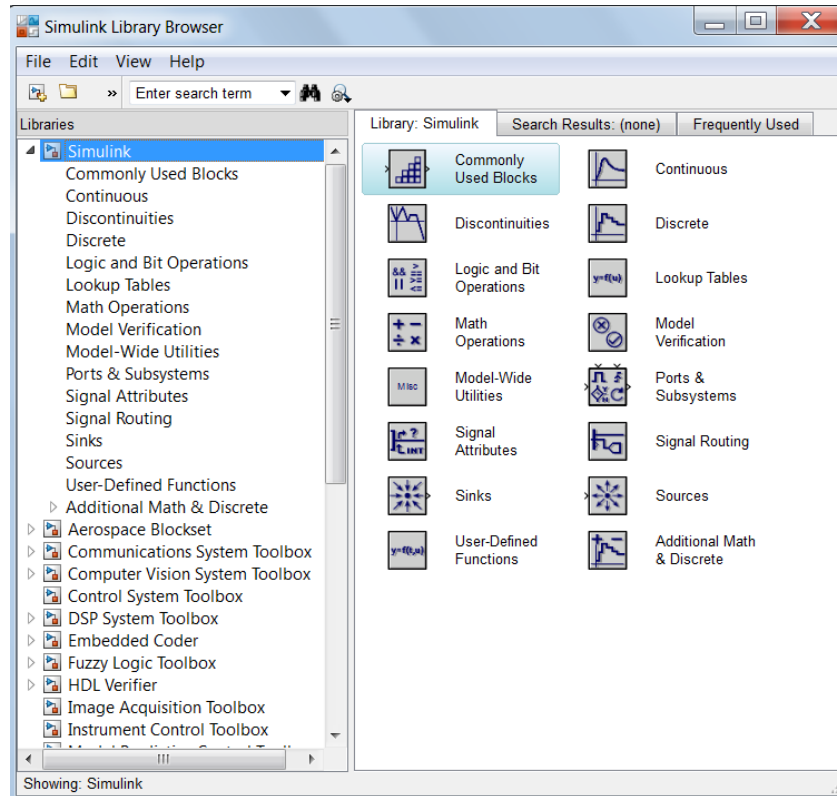


Рисунок 3.1 – Обзорщик библиотеки блоков *Simulink Library Browser*

Во время работы с элементами (блоками):

- они переносятся в рабочую зону, удерживая левую клавишу мыши;
- для их соединения достаточно навести курсором на начало элемента, затем при нажатии левой кнопки мыши протянуть это соединение до конца другого элемента;
- при двойном нажатии левой кнопки мыши на выбранном блоке открывается меню, в котором задаются определенные параметры блока.

Работа *Simulink* происходит на фоне открытого окна системы *MatLab*, закрытие которого приведёт к выходу из *Simulink* [4, 5, 6].

#### 4 Описание лабораторного макета

Лабораторный макет предназначен для исследования модема СШП системы передачи данных с временным разделением. Функциональная схема 3-х канального модема приведена на рисунке 4.1.

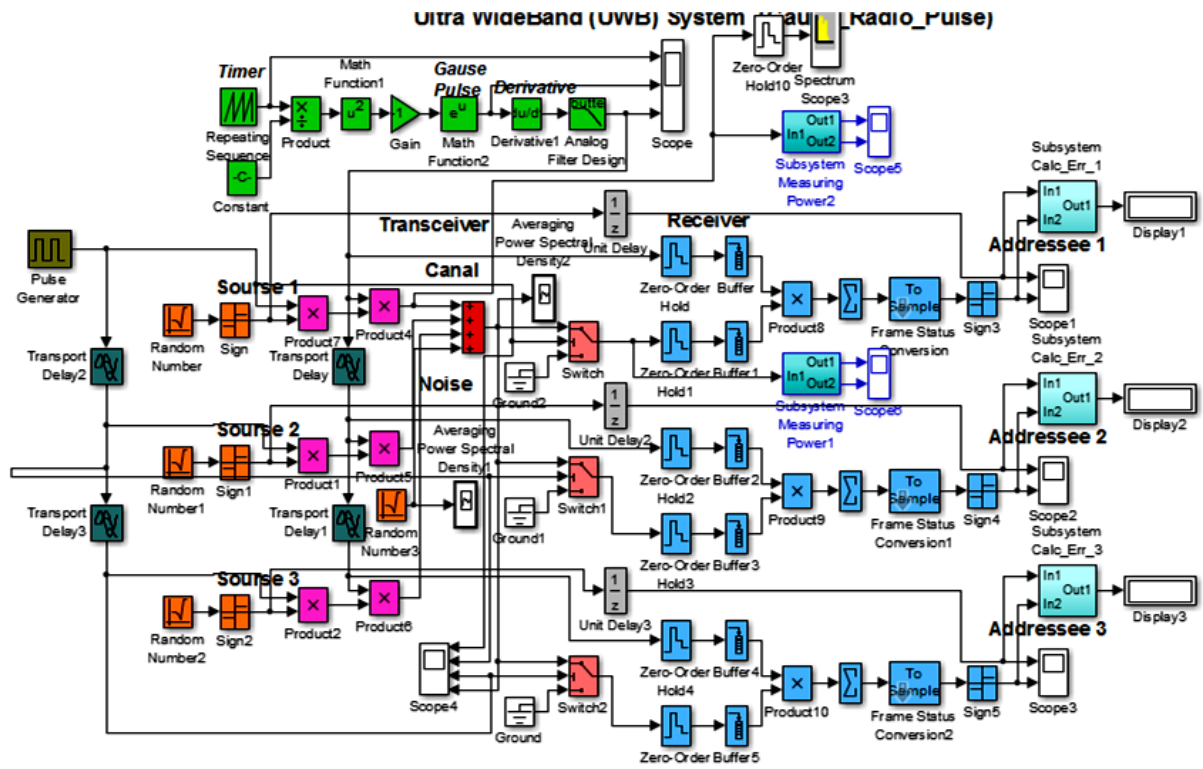


Рисунок 4.1 – Функциональная модель 3-х канальной сверхширокополосной радиосвязи на основе временного разделения каналов и на основе импульсов Гаусса

Функциональная модель подсистемы формирования Гауссова импульса и его производной приведена на рисунке 4.2.

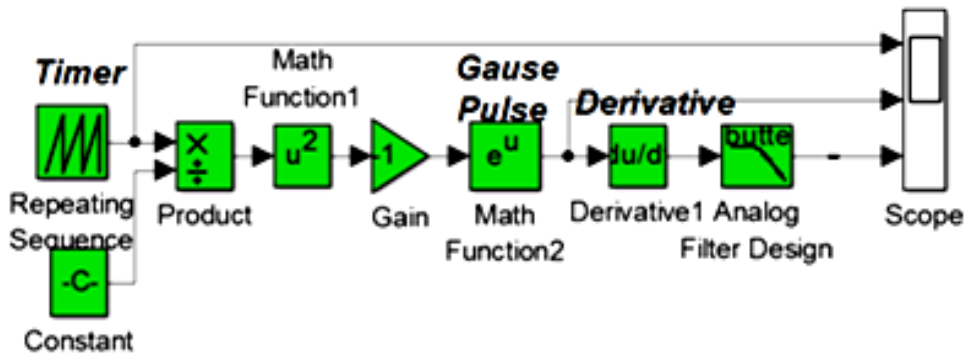


Рисунок 4.2 – Функциональная схема генератора импульсов Гаусса

**Формирование Гауссова импульса и его производной.** С помощью генератора «пилы» (блока *Repeating Sequence* - повторяющейся последовательности) задаются импульсы интервала реального времени *Time values* от 0 до 0,2, а так же модельное время *Output values* (амплитуда) от -2 до 2, т.е. задаем значение параметра  $t$  из выражения импульса Гаусса:

$$S_{иг}(t) = \frac{A}{\sqrt{2 * \pi * \sigma}} * exp * \left( -\frac{t^2}{2 * \sigma^2} \right).$$

Блоком *Constant* (постоянный по уровню сигнал) задается значение пропорциональное  $\sqrt{2}\sigma$ . С помощью блоков *Product*, *Math Function  $u^2$* , *Gain* и функции *exp* формируется Гауссов импульс. Далее с помощью блока *Derivative*, вычисляется производная импульса Гаусса. После первой производной сигнал фильтруется в блоке аналогового фильтра типа *Butterworth (Analog Filter Design)* с целью сглаживания, для того чтобы убрать резкие переходы.

Множитель  $\frac{A}{\sqrt{2 * \pi * \sigma}}$  стоящий перед *exp* определяет амплитуду импульса и не влияет на широкополосность, поэтому им пренебрегаем.

На осциллографе *Scope* отображаются осциллограммы этапов формирования Гауссова импульса и его производной.

Функциональная модель 3-х канальной передающей части СШП системы с временным разделением приведена на рисунке 4.3

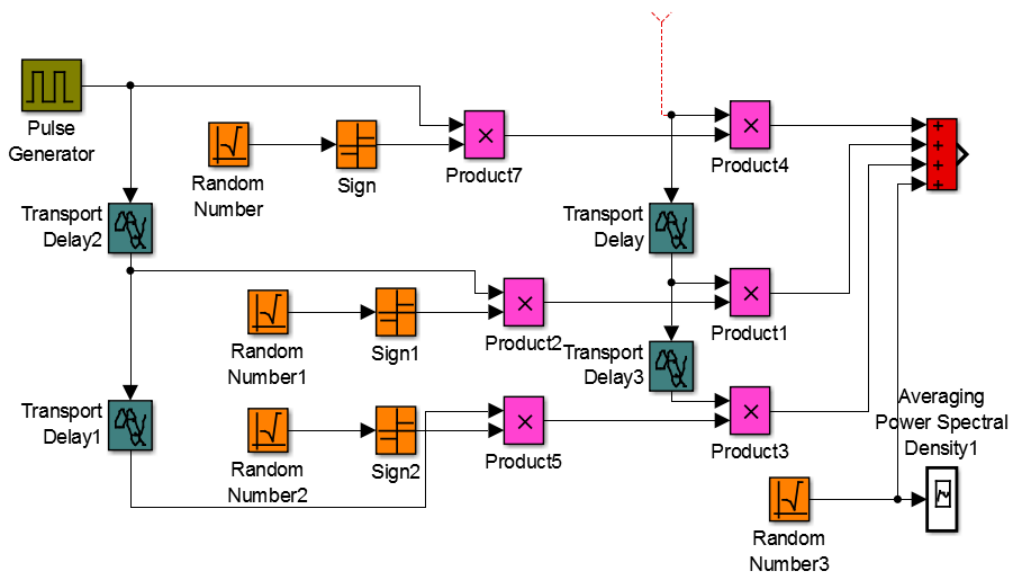


Рисунок 4.3 – Функциональная схема передатчика

Разделение во времени реализуется на основе разделения кадра на временные слоты. В данной схеме реализовано 3 временных слота (всего возможна реализация 5 временных слотов). С помощью блока *Pulse Generator* и блоков *Transport Delay* реализуется формирование временных слотов и распределение временных каналов. Информационные каналы реализуются блоками *Random Number u Sign*. Независимость информационных каналов реализуется выбором разных значений параметра *Seed* в блоках *Random Number*. Блоки *Product 7, 2, 5* реализуют распределение информационных источников по временным слотам, а блоки *Product 4, 1, 3* осуществляют модуляцию информационных потоков первой производной Гауссова импульса.

Далее блок *Sum* объединяет временные слоты и добавляет шумы канала распространения реализованные блоком *Random Number 3*.

В блоке *Pulse Generator* задаются параметры:

- ширина импульса (скважность) *Pulse Width (% of period)* равная 10% т.е. длительность импульса к периоду составляет 10%;
- фазовая задержка (количество выборок) *Phase delay (secs)* равная 0,09, здесь формируется расположение импульсов, центрирование каналов посередине временного слота;
- период у импульса равен 1 (совпадает с длиной бита).

Функциональная модель 3-х канальной принимающей части СШП системы с временным разделением приведена на рисунке 4.4

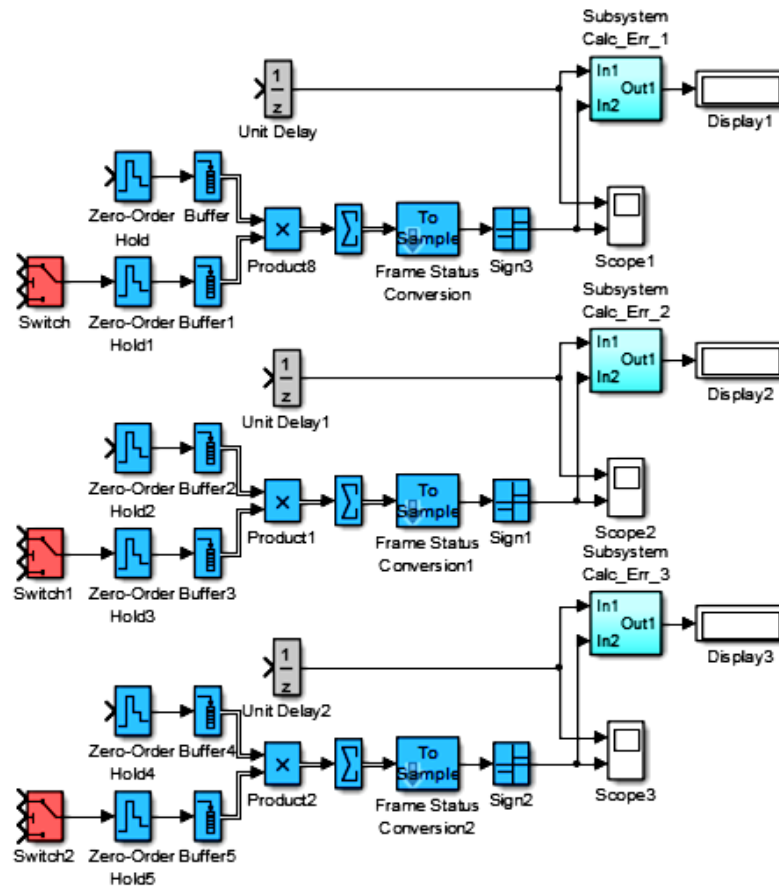


Рисунок 4.4 – Функциональная схема приемника

На управляющие электроды блоков *Switch* приходят импульсы с подсистемы формирования временных слот для селекции временных интервалов. Селектированные по времени сигналы каналов поступают на входы подсистем корреляционной обработки. На вторые входы подсистем корреляционной обработки поступают соответствующим образом задержанные первые производные Гауссовых импульсов.

В реальных системах подсистема формирования временных слот реализуется в приемнике и синхронизируется по сигналам передатчика. Приемнике так же находятся и генератор первых производных Гауссовых импульсов синхронизированный с генератором в передатчике.

Подсистема корреляционной обработки реализованы с помощью блоков *Zero-Order Hold*, *Buffer*, *Product*, *Sum*. Блоки *Zero-Order Hold* обеспечивают дискретизацию входных данных. Блоки *Buffer* организует накопление отсчетов принятых сигналов и опорных импульсов первых производных Гауссовой формы. Блоки *Product* организует

перемножение отсчетов опорных импульсов с отсчетами принятого зашумленного сигнала (в виде скалярного произведения). В блоках *Sum* вычисляется сумма этих скалярных произведений.

С выходов подсистем корреляционной обработки с помощью блоков *Frame Status Conversion* сигналы подаются на блоки *Sign* с целью масштабирования. Масштабированные сигналы с целью визуализации подаются на блоки *Scope* и подсистемы *Subsystem Calc Err*. Для подсчетов ошибок на второй вход подсистемы *Subsystem Calc Err* подаются задержанные на один такт с помощью блока *Unit Delay* информационные импульсы.

**Детектор ошибок.** Для обеспечения контроля помехоустойчивости реализован составной блок (*Sub System*) детектора ошибок, который подсчитывает и отображает на блоке (*Display*) количество битовых ошибок (несовпадений импульсов). Функциональная схема подсистемы подсчета ошибок изображено на рисунке 4.5

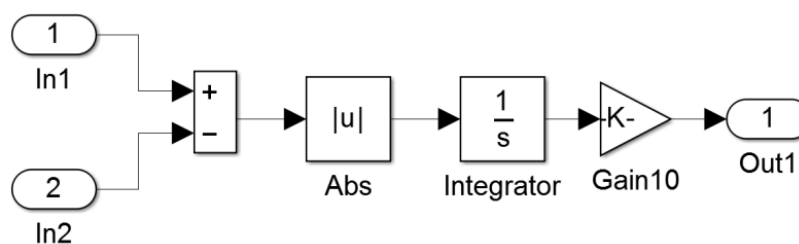


Рисунок 4.5 – Подсистема подсчета числа ошибок

На вход 1 поступает полученный сигнал, а на вход 2 поступает, задержанный во времени, исходный сигнал. Далее вычисляется разность текущих значений входных сигналов и абсолютное значение разности сигналов. Число ошибок высчитывается как интеграл модуля разности исходной и принятой битовых последовательностей (блок  $\frac{1}{s}$  *Integrator*). Далее используется блок *Gain* для коррекции значения ошибок при использовании бит разной длительности и полярности. Сигнал с выхода детектора ошибок для отображения подается на *Display*.

Для обеспечения возможности исследования помехоустойчивости СШП системы от соотношений сигнал/шум использовалась, подсистема измерителя мощности, которая изображена на рисунке 4.6.

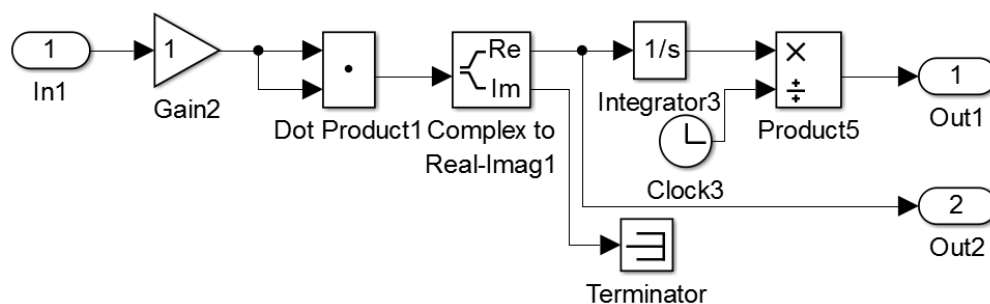


Рисунок 4.6 – Подсистема измерителя мощности

**Измеритель мощности.** Измеритель предназначен для измерения мощности, как регулярных сигналов, так и псевдослучайных последовательностей, как вещественных, так и комплексных. Для обеспечения возможностей измерения мощности комплексных сигналов использован блок *Dot Product*, который позволяет перемножить сигнал со своим комплексным сопряжением. Блок *Integrator* позволяет вычислить энергию сигнала, а деление энергии на время с помощью блока *Product*, позволяет определить мощность.

#### 4.1 Описание используемых блоков библиотеки Simulink

Ниже описаны основные блоки базовых разделов библиотеки *Simulink*, используемые в функциональной модели многоканальной сверхширокополосной радиосвязи на основе временного разделения каналов и на основе импульсов Гаусса.



Repeating Sequence

Блок *Repeating Sequence* генерирует периодический сигнал по заданным векторам времени и значений сигнала с линейной интерполяцией между соседними значениями сигнала. Для блока задаются следующие параметры:

*Time values* (Значения времени) — вектор возрастающих значений времени на периоде сигнала;

*Output values* (Значения на выходе) — вектор значений сигнала на периоде, между которыми выполняется линейная интерполяция; для формирования периодического сигнала последний элемент вектора должен совпадать с первым.

При использовании блока нужно указывать временные и амплитудные значения начала и окончания периода, а также точек перегиба.

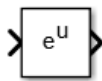
Вариант реализации функциональной модели многоканальной сверхширокополосной радиосвязи на основе временного разделения каналов и на основе импульсов Гаусса.



**Constant** *Constant* – блок источника постоянного сигнала. Назначение: задает постоянный по уровню сигнал. Параметры блока: *Constantvalue*– постоянная величина. *Interpret vector parameters as 1-D* – интерпретировать вектор как массив скаляров. *Show Additional Parameters* – показать дополнительные параметры. При выставленном флажке появится окно списка *Output data type mode*. *Output data type mode* – выбор типы выходных данных. *Output data type* – тип выходных данных. *Output Scaling Mode* – способ масштабирования выходного сигнала *Output scaling value* – величина масштаба.



**Product** *Product*– блок умножения и деления. Назначение: вычисление произведения текущих значений сигналов. Параметры блока: *Number of inputs*– количество входов, может задаваться как число или как список знаков. В списке знаков можно использовать знаки: \* - умножить и / - разделить. *Multiplication* – способ выполнения операции, может принимать значения из списка: *Element – wise* – поэлементный; *Matrix* – матричный. Флажок *Show Additional Parameters* – показать дополнительные параметры. При выставленном флажке отображается окно списка *Output data type mode*, в нашем случае флажок не используется.



**Math Function** *Math Function*– блок вычисления математических функций. Назначение: вычисление математической функции. Параметры: *Function* – вид вычисляемой функции (выбирается из списка): *exp* – экспоненциальная функция, *log* – функция натурального логарифма,  $10^u$  – вычисление степени 10. *log10* – Функции логарифма, *magnitude^2* – вычисление квадрата модуля входного сигнала, *square* – вычисление квадрата входного сигнала, *sqrt* – квадратный корень, *pow* – возведение в степень, *conj* – вычисление комплексно-сопряженного числа, *reciprocal* – вычисление частного от деления входного сигнала на 1, *hypot* – вычисление корня квадратного из суммы квадратов входных сигналов (гипотенузы прямоугольного треугольника по значениям катетов), *rem* – функция, вычисляющая остаток от деления первого входного сигнала на второй, *mod* –



функция, вычисляющая остаток от деления с учетом знака, *transpose* – транспонирование матрицы, *hermitian* – вычисление эрмитовой матрицы. *Output signaltype* – тип выходного сигнала (выбирается из списка): *auto* – автоматическое определение типа, *real* – действительный сигнал, *complex* – комплексный сигнал.



Gain

*Gain* – блок усилителя. Назначение: выполняет умножение входного сигнала на постоянный коэффициент; Параметры блока: *Gain* – коэффициент усиления. *Multiplication* – способ выполнения операции, значение параметра выбирается из списка: *Element-wise*  $K*u$  – поэлементный; *Matrix*  $K*u$  – матричный, коэффициент усиления является левосторонним оператором; *Matrix*  $u*K$  – матричный, коэффициент усиления является правосторонним оператором; *Matrix*  $K*u$  ( $u$ -вектор) – векторный, коэффициент усиления является левосторонним оператором. Флажок *Show Additional Parameters* – показать дополнительные параметры, при выставленном флажке отображаются окна списков *Parameter data type mode*, *Output data type mode*. *Saturation integer* – подавлять переполнение целого. При установленном флажке ограничение сигналов целого типа выполняется корректно. Блоки *Gain* и *Matrix Gain* по сути есть один и тот же блок, но с разными начальными установками параметра *Multiplication*.



Derivative

*Derivative* – блок вычисления производной. Назначение: численное дифференцирование входного сигнала. Параметры: Нет. Для вычисления производной используется приближенная формула Эйлера:  $\frac{du}{dt} = \frac{\Delta u}{\Delta t}$ , где  $\Delta u$  – величина изменения входного сигнала за время  $\Delta t$ ,  $\Delta t$  – текущее значение шага модельного времени. Значение входного сигнала блока до начала расчета считается равным нулю. Начальное значение выходного сигнала также полагается равным нулю. Точность вычисления производной существенно зависит от величины установленного шага расчета. Выбор меньшего шага расчета улучшает точность вычисления производной.



Analog

Filter Design

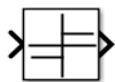
*Analog Filter Design* – блок аналогового фильтра заданного метода проектирования и типа из подраздела *Filter Design*. Назначение: аналоговая фильтрация низкочастотных составляющих спектра входного сигнала. Параметры блока: *Design*

*Method* – метод проектирования, выбирается из списка: *Butterworth* – фильтр Баттерворта; *Chebyshev I* – фильтр Чебышева 1-го рода; *Chebyshev II* – фильтр Чебышева 2-го рода; *Elliptic* – фильтр эллиптический; *Bessel* – фильтр Бесселя. *Filtertype* – тип фильтра, выбирается из списка: *Lowpass* – нижних частот; *Highpass* – верхних частот; *Bandpass* – полосно-пропускающий; *Bandstop* – полосно-заграждающий. Далее для каждого метода проектирования и типа фильтра выдается свой список параметров. Так для фильтра Баттерворта типа нижних частот параметрами являются: *Filterorder* – порядок фильтра; *Passbandedgefrequency (rads/sec)* – нижняя граничная частота (радиан в секунду). Для других методик проектирования и типов фильтров определяемые параметры очевидны.



Random  
Number

*Random Number* – источник случайного сигнала с нормальным распределением уровня. Назначение: формирование сигнала с равномерным распределением уровня. Параметры блока: *Mean* – среднее значение; *Variance* – дисперсия; *Seed* – Начальное значение генератора случайного сигнала; *Sample time* – такт дискретности; флажок *Interpreted vector parameters as 1 – D* – интерпретировать вектор как массив скаляров. В нашем случае блок используется для моделирования шумов канала передачи данных.

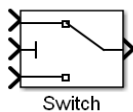


Sign

*Sign* – блок определения знака сигнала. Назначение: определяет знак входного сигнала, при этом, если  $x$  – входной сигнал, то сигнал на выходе определяется выражением:

$$\text{sign} = \begin{cases} -1, & \text{где } x < 0; \\ 0, & \text{где } x = 0; \\ 1, & \text{где } x > 0. \end{cases}$$

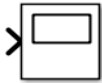
Параметры блока: флажок – *Enable zero crossing detection* позволяет фиксировать прохождение сигнала через нулевой уровень.



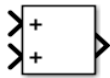
Switch

*Switch* – блок переключателя. Назначение: переключение входных сигналов по сигналу управления. Параметры блока: *Criteria for passing first input* – условие прохождения сигнала с первого входа, значение выбирается из списка:  $u2 \geq \text{Threshold}$  – сигнал управления больше или равен пороговому значению;  $u2 > \text{Threshold}$  – сигнал

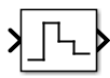
управления больше порогового значения;  $u2 \sim = Threshold$  – сигнал управления не равен пороговому значению. *Threshold* – порог; флажок *Show additional parameters* – показать дополнительные параметры. При выставленном флажке отображаются дополнительные окна списков, в нашем случае флажок не используется.



*Scope* *Scope* – блок осциллографа. Назначение: построение графиков исследуемых сигналов как функций времени. Открытие окна осциллографа производится двойным щелчком левой кнопки мыши на пиктограмме блока. В случае векторного сигнала каждая компонента вектора отображается отдельным цветом. Настройка окна осциллографа выполняется с помощью панелей инструментов, позволяющих: осуществить печать содержимого окна осциллографа; установить параметры, в частности, *Number of axes* – число входов осциллографа, *Time range* – отображаемый временной интервал и другие; изменить масштабы графиков; установить и сохранить настройки; перевести в плавающий режим и так далее.



*Add* *Add* – блок сумматора. Назначение: вычисление алгебраической суммы текущих значений входных сигналов. Параметры блока: *Icon shape* – форма блока, выбирается из списка: *round* – круг; *rectangular* – прямоугольник. *List of sign* – список знаков из набора: + – плюс; - – минус, | – разделитель. Флажок *Show additional parameters* – показать дополнительные параметры, при выставленном флажке отображаются окна списка *Output data type mode*, в нашем случае не используется. Количество входов и соответствующие им операции определяются списком знаков *List of sign*. При этом метки входов обозначаются соответствующими знаками. В списке *List of sign* можно также указать число входов, при этом все входы будут суммирующими.



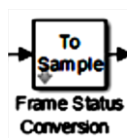
*Zero-Order Hold* *Zero-Order Hold* – экстраполятор нулевого порядка. Назначение: экстраполяция входного сигнала на интервале дискретизации. Блок фиксирует значение входного сигнала в начале интервала дискретизации и поддерживает на выходе это значение до окончания интервала дискретизации. Затем выходной сигнал изменяется скачком до величины входного сигнала на следующем шаге дискретизации. Параметры блока: *Sample time* – такт дискретности. Блок экстраполятора нулевого порядка может

использоваться также для согласования работы дискретных блоков, имеющих разные такты дискретности.



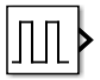
Buffer

*Buffer* – буфер преобразует длину фрейма. Последовательность фреймов на выходе генерируется с задержкой, определяемой формулой  $TT_{fr_{\text{ВЫХ}}} = T_{\max}\{L_{fr_{\text{ВЫХ}}}; L_{fr_{\text{ВХ}}}\}$ , где  $L_{fr_{\text{ВЫХ}}}$  - длина фрейма на выходе,  $L_{fr_{\text{ВХ}}}$  - длина фрейма на входе,  $T$  - период дискретизации (параметр *Sample time* блока на входе). Блок имеет параметр *Initial conditions* (Начальные условия) — значения начальных отсчетов на интервале задержки.



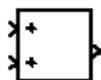
Frame Status Conversion

Блок *Frame Status Conversion* – осуществляет дискретизацию входного потока, а также при наличии на входе константы превращает ее в дискретную последовательность.



Pulse Generator

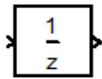
*Pulse generator* – блок источника импульсного сигнала. Назначение: формирование сигнала в форме прямоугольных импульсов. Параметры блока: *Pulse Type* – способ формирования сигнала, может принимать два значения: *Time-based* – по текущему времени; *Sample-based* – по величине такта дискретности и количеству шагов моделирования. Вид окна параметров зависит от выбранного способа формирования сигнала. *Amplitude* – амплитуда; *Period* – период, задается в секундах при способе *Time-based* или количеством тактов при способе *Sample-based*; *Pulse width* – ширина импульса, задается в процентах от периода при способе *Time-based* или количеством тактов при способе *Sample-based*; *Phase delay* – фазовая задержка, задается в секундах при способе *Time-based* или количеством тактов при способе *Sample-based*; *Sample time* – такт дискретности; флажок *Interpret vector parameters as 1 - D* – интерпретировать вектор как массив скаляров.



Sum of Elements

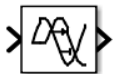
*Sum* – блок сумматора. Назначение: вычисление алгебраической суммы текущих значений входных сигналов. Параметры блока: *Iconshape* – форма блока, выбирается из списка: *round*– круг; *rectangular* – прямоугольник. *Listofsign* – список

знаков из набора: + - плюс; - - минус, | - разделитель. Флажок *Show Additional Parameters* – показать дополнительные параметры, при выставленном флажке отображаются окна списка *Output data type mode*, в нашем случае не используется. Количество входов и соответствующие им операции определяются списком знаков *List of sign*. При этом метки входов обозначаются соответствующими знаками. В списке *List of sign* можно также указать число входов, при этом все входы будут суммирующими.



**Unit Delay** *Unit Delay* – блок единичной дискретной задержки. Выполняет задержку входного сигнала на один шаг модельного времени. *Initial condition* – начальное значение для выходного сигнала. *Sample time* – Шаг модельного времени.

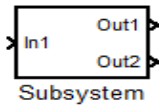
Входной сигнал блока может быть как скалярным, так и векторным. При векторном входном сигнале задержка выполняется для каждого элемента вектора. Блок поддерживает работу с комплексными и действительными сигналами.



**Transport Delay** *Transport Delay* – блок фиксированной задержки сигнала. Обеспечивает задержку входного сигнала на заданное время. *Time Delay* — Время задержки сигнала (не отрицательное значение). *Initial input* — Начальное значение выходного сигнала. *Buffer size* — Размер памяти, выделяемой для хранения задержанного сигнала. Задается в байтах числом, кратным 8 (по умолчанию 1024). *Pade order (for linearization)* — Порядок ряда Паде, используемого при аппроксимации выходного сигнала. Задается целым положительным числом.

При выполнении моделирования значение сигнала и соответствующее ему модельное время сохраняются во внутреннем буфере блока *Transport Delay*. По истечении времени задержки значение сигнала, извлекается из буфера и передается на выход блока. В том случае, если шаги модельного времени не совпадают со значениями моментов времени для записанного в буфер сигнала, блок *Transport Delay* выполняет аппроксимацию выходного сигнала.

В том случае, если начального значения объема памяти буфера не хватит для хранения задержанного сигнала, *Simulink* автоматически выделит дополнительную память. После завершения моделирования в командном окне *MATLAB* появится сообщение с указанием нужного размера буфера.



*Subsystem* – создание подсистем. *Назначение:* Подсистема-это фрагмент Simulink-модели, оформленный в виде отдельного блока. Использование подсистем при составлении модели преследует следующие цели:

Уменьшает количество одновременно отображаемых на экране блоков, что облегчает восприятие модели.

Позволяет создавать и отлаживать отдельные фрагменты модели, что повышает технологичность создания модели.

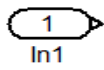
Позволяет создавать собственные библиотеки.

Позволяет синхронизировать параллельно работающие подсистема.

Позволяет включить в модель собственные справочные средства.

Позволяет связывать подсистему с М-файлом, обеспечивая запуск этого файла при открытии подсистемы.

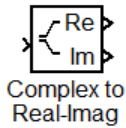
*Параметры блока:* *Showportlabels* – показать метки портов. *Treat As Atomic Unit* – считать подсистему неделимой. *Read/Write Permissions* – разрешить чтение и запись. Допустимы три опции: *Read Write* - чтение и запись; *Read Only*-только чтение; *No Read Or Write*, ни записи. *Name of error call back function*– имя функции ответного вызова.



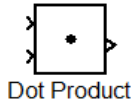
*Import*– входной порт. *Назначение:* Создает входной порт для подсистемы или выполняет считывание сигнала с рабочей области *MatLab* в модель. *Параметры блока:* *Port number*-номер порта. *Port Dimensions* -размерность входного сигнала. *Sample time* – такт дискретности. *Show Additional Parameters* -показать дополнительные параметры. *Datatype* –выбор типа выходных данных. *Output data type*-тип выходных данных. *Output Scaling Mode* –способ масштабирования выходного сигнала. *Output scaling value* – величина масштаба. *Sampling mode* - режим.



*Output* – выходной порт. *Назначение:* Создает выходной порт для подсистемы или для модели верхнего уровня иерархии. *Параметры блока:* *Port number* - номер порта. *Output when disabled* - вид сигнала на выходе подсистемы, в случае если подсистема выключена. Используется для подсистем, управляемых внешним сигналом. Может принимать следующие значения: *held* - выходной сигнал подсистемы равен последнему рассчитанному значению; *reset* - выходной сигнал подсистемы равен значению, задаваемому параметром *initial output*. *Initial Output* - начальное значение.



*Complex to Real-Imag* – блок вычисления действительной и (или) мнимой части комплексного числа. *Назначение*: вычисляет действительную и (или) мнимую часть комплексного числа. *Параметры блока*: *Output* - выходной сигнал. Тип сигнала выбирается из списка: *Real* - действительная часть; *Image* – мнимая часть; *Real & Image* - действительная и мнимая часть.



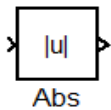
*Dot Product* – блок скалярного произведения. *Назначение*: Выполняет вычисление скалярного произведения двух векторов. *Параметры блока*: нет. Блок выполняет вычисление выходного сигнала в соответствии с выражением:

$$y = \text{sum}(\text{conj}(u1)) .* u2,$$

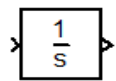
где  $u1$  и  $u2$  – выходные векторы;

*conj* – операция вычисления комплексно – сопряженного числа;

*sum* – операция вычисления суммы.



*Abs* – блок вычисления модуля. *Назначение*: Выполняет вычисление абсолютного значения величины сигнала. *Параметры блока*: *Saturate On Integer Overflow* - подавлять переполнение целого. *Enable Zero Crossing Detection* - фиксировать прохождение сигнала через нулевой уровень.



*Integrator* – интегратор. *Назначение*: Интегрирование входного сигнала. *Параметры блока*: *External Reset* - внешний сброс. Выбирается из списка: *none* - нет (сброс не выполняется); *rising* – нарастающий сигнал (передний фронт сигнала); *falling* - спадающий сигнал (задний фронт сигнала); *either* - нарастающий либо спадающий сигнал; *level* - ненулевой сигнал (сброс выполняется, если сигнал на управляющем входе становится не равным нулю). *Initial Condition Source* – источник начального значения выходного сигнала. Выбирается из списка: *internal* - внутренний; *external* - внешний. *Initial Condition* – начальное условие. *Limit Output* – ограничение выходного сигнала. *Upper Saturation Limit* – верхний предел выходного сигнала. *Lower Saturation Limit* – нижний предел выходного сигнала. *Show saturation port* - показать на пиктограмме порт насыщения. Выходной сигнал данного порта может принимать следующие значения:

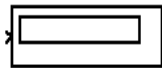
нуль, если интегратор не находится на ограничении; +1, если выходной сигнал интегратора достиг верхнего предела; -1, если выходной сигнал интегратора достиг нижнего предела. *Show state port* - отобразить/скрыть порт состояния блока. *Absolute Tolerance* – абсолютная погрешность. *Enable Zero Crossing Detection* - определять прохождение сигнала через нулевой уровень.



**Terminator** *Terminator* – концевой приемник. *Назначение:* Блок применяется как заглушка для сигнала, поступающего с выхода другого блока. В том случае, когда выход блока оказывается не подключенным ко входу другого блока *Simulink* выдает предупреждение в командном окне системы *MatLab*. Для исключения таких ситуаций следует использовать блок *Terminator*. *Параметры блока:* Нет.



**Clock** *Clock* – источник времени. *Назначение:* Формирует сигнал, величина которого на каждом шаге равна текущему времени моделирования. *Параметры блока:* *Display time* - отображение значения времени на пиктограмме блока. *Decimation* – прореживание.



Display

*Display* – цифровой дисплей. *Назначение:* отображает значение сигнала в виде числа. *Параметры блока:* *Format* – формат отображения данных, может принимать следующие значения: *short* – 5цифр, включая десятичную точку; *long* – 15цифр с фиксированной точкой; *short\_e* – 5цифр с плавающей точкой; *long\_e*-15цифр с плавающей точкой; *bank* – банковский формат. *Decimation* – прореживание. *Sample time* – такт дискретности. *Floating Display* – изменяющийся режим.



## 5. Экспериментальное задание

Прежде всего, отметим, что моделирование в среде *Simulink* ведется во временной области с использованием относительных масштабов по времени и частоте. В процессе исследования отслеживалось соотношение сигнал/шум (*SNR*).

1. Собрать *Sim*-модель трехканального модема на основе импульсов Рэля и временного разнесения каналов, в соответствии с рисунком 4.1.
2. Выставить параметры блоков *Sim*-модели, согласовывая между собой.
3. Пронаблюдать и зафиксировать основные осциллограммы, иллюстрирующие работу 3-х канальной функциональной модели СШП.
4. Построить и проанализировать водопадоподобные характеристики трехканальной системы и одного из каналов.
5. Сделать выводы по проделанной работе.
6. Написать и оформить отчет.

### Комментарии:

- Повторяющаяся последовательность задается блоком *Repeating Sequence*, задаются импульсы интервала реального времени *Time values*: от 0 до 0,2. и модельное время *Output values*: от - 2 до 2.
- *Pulse Generator*: *Pulse Width (% of period)* = 10%, *Phase delay* = 0 и *Period* = 1.
- Длительность бит информационных последовательностей устанавливается в блоках *Random Number* помощью параметра *Sample time* = 1.
- Распределение временных слот внутри временного кадра реализуется блоками *Transport Delay* = 2/10.
- Обеспечение дискретизации входных данных реализуется в блоке *Zero-Order Hold* параметром *Sample time* = 1/256.
- Накопление отсчетов принятых сигналов и опорных импульсов первых производных Гауссовской формы организует блок *Buffer* = 256.
- Путем изменения мощности шума канала подобрать такое значение сигнал/шум, при котором одна ошибка за 10000 шагов. А затем путем увеличения шума канала находим несколько точек водопадоподобной характеристики.

## 6. Контрольные вопросы

1. Что такое сверхширокополосная связь?
2. Какие сигналы относятся к СШП сигналам?
3. Основной принцип TDMA.
4. Укажите и отобразите на приборах модели форму Гауссова импульса и его производной.
5. Для чего нужен защитный временной интервал?
6. Какую функцию в схеме выполняют блоки *Product*, *Math Function*  $u^2$ , *Gain*?
7. По каким опорным импульсам производится корреляционный прием и обработка принимаемых сигналов?
8. Что реализуется в блоках *Pulse Generator* и *Transport Delay*?
9. Какие сигналы поступают на входы подсистем корреляционной обработки?
10. Как реализуется подсистема формирования временных слот в реальных системах?
11. Объясните принцип работы подсистемы детектора ошибок.
12. Объясните принцип работы подсистемы измерителя мощности.

**Список использованных источников**

1. Дмитриев В. Технология передачи информации с использованием сверхширокополосных сигналов (UWB) часть 1: // ж. Компоненты и технологии №9, / Дмитриев В. – 2003.- С. 72-76. [Электронный ресурс] — Режим доступа: [http://www.kit-e.ru/articles/wireless/2003\\_09\\_72.php](http://www.kit-e.ru/articles/wireless/2003_09_72.php)
2. TDMA (Time Division Multiple Access) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://celnet.ru/TDMA.php>
3. Грахова Е.П. Системы, сети и устройства телекоммуникаций: повышение эффективности сверхширокополосных беспроводных систем связи на основе спектральной модуляции: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук [Электронный ресурс]/ Грахова Е.П. – Уфа 2016, 197 стр. — Режим доступа: [http://www.ugatu.ac.ru/assets/files/documents/dissov/07/2016/Grakhova\\_E\\_P/diss.pdf](http://www.ugatu.ac.ru/assets/files/documents/dissov/07/2016/Grakhova_E_P/diss.pdf)
4. Гультяев, А.К. *MatLab 5.3*. Имитационное моделирование в среде *Windows*: Практическое пособие / А.К. Гультяев. – СПб.: КОРОНА принт, 2001.- 400 с.
5. Черных, И.В. *Simulink*: среда создания инженерных приложений. / Под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003.- 496 с.
6. Дьяконов, В.П. *MatLab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6* в математике и моделировании. Сер. Библиотека профессионала / В.П. Дьяконов. - М.: СОЛОН-Пресс, 2005.- 576 с.