

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., Базарсадуева А.Б.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ
МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ
ИМПУЛЬСА РЭЛЕЯ**

**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
_____ Базарсадуева А.Б.

2017

Кологривов В. А., Базарсадуева А.Б.

«Исследование сверхширокополосной многоканальной системы на основе производных импульса Рэлея»: 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». – Томск: ТУСУР. Научно-образовательный портал, 2017. – 30 с.

Учебно-методическое пособие содержит описание функциональной модели для исследования сверхширокополосной многоканальной системы на основе производных импульса Рэлея, выполненной в среде функционального моделирования *Simulink*, системы для инженерных и научных расчетов *MatLab*.

В пособии приведены краткие теоретические сведения о многоканальной сверхширокополосной радиосвязи и производных импульса Рэлея, краткая характеристика пакета *Simulink* системы *MatLab*, описание виртуального лабораторного макета и используемых блоков библиотеки *Simulink*.

Аннотация

Лабораторная работа «Исследование сверхширокополосной многоканальной системы на основе производных импульса Рэлея» посвящена экспериментальному исследованию многоканальной сверхширокополосной радиосвязи на основе производных импульса Рэлея с использованием пакета функционального моделирования *Simulink*, системы для инженерных и научных расчетов *MatLab*.

Работа «Исследование сверхширокополосной многоканальной системы на основе производных импульса Рэлея» 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 многоканальной сверхширокополосной радиосвязи и производных импульса Рэлея, краткая характеристика пакета *Simulink* системы *MatLab*, описание виртуального лабораторного макета и используемых блоках библиотеки *Simulink*, а также требования к экспериментальному исследованию и контрольные вопросы, ответы на которые необходимы для успешной защиты лабораторной работы.

Лабораторная работа рассчитана на два занятия по 2 часа.

Содержание

1 Цель работы. Краткие сведения из теории	5
2 Краткое описание пакета Simulink	9
2.1 Общая характеристика пакета Simulink.....	9
2.2 Запуск и работа с пакетом Simulink	9
3 Описание лабораторного макета	12
4 Описание используемых блоков библиотеки Simulink.....	19
5 Экспериментальное задание	28
6 Контрольные вопросы	29
Список использованных источников	30

1 Цель работы. Краткие сведения из теории

Цель работы: Изучить принцип работы и особенности сверхширокополосной многоканальной системы на основе производных импульса Рэлея.

Теоретическая часть

Термин **Ultra Wideband (UWB)** означает в настоящее время целый ряд радиотехнических понятий: радиосигнал без несущей, **сверхширокополосный (СШП) радиосигнал**, очень короткий радиоимпульс, временной импульс. Данный сигнал является широкополосным, если отношение его ширины полосы к значению центральной частоты спектра сигнала составляет величину, большую единицы (для традиционно используемых радиосигналов в радиосвязи это отношение существенно меньше) [1].

Все технологии формирования СШП сигнала, применяемые в телекоммуникациях, а также разработанные с целью повышения показателей эффективности систем, условно можно разделить на две группы: методы с использованием несущей частоты и методы без использования несущей частоты.

Формирование СШП сигналов может быть основано на формировании сверхкоротких импульсов, сверхкоротких радиоимпульсов, сверхкоротких импульсов расширяющей последовательностей по типу CDMA, на основе производных сверхкоротких импульсов Гаусса и Рэлея.

В многоканальной СШП возможно, как классические способы разделения каналов (частотное, временное, кодовое), так и по форме производных импульсов Гаусса и Рэлея.

К первой группе методов относятся следующие технологии: MB-OFDM (Multi Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing — многодиапазонное ортогональное мультиплексирование деления частоты); различные виды модуляции данных на несущей, в том числе амплитудная модуляция с подавлением несущей.

Ко второй группе методов относится наиболее распространенная технология формирования СШП сигнала на основе применения ультракоротких импульсов сложной формы.

Спектр сверхкороткого импульса уширяется обратно пропорционально его длительности, при этом уменьшается и спектральная плотность энергии сигнала, то есть энергия сигнала как бы размазывается по всему спектру. Поэтому в энергетическом смысле такие сигналы очень выгодны, так как они становятся «шумоподобными» и их трудно отличить от естественного шума, а на фоне традиционных радиоустройств такой сверхкороткий импульс вроде бы и не существует — он сливается с шумом и остается незамеченным приемниками. В результате, обладая достаточно высокой суммарной передаваемой в эфир мощностью, UWB-сигнал в каждой конкретной точке спектра не превышает крайне низкого значения, во много раз меньшего, чем у традиционных узкополосных сигналов [2].

Формирование СШП радиоимпульса можно реализовать на основе использования производных функций Рэля.

Временная форма импульса Рэля и его n -ая производная определяются выражениями 1.1 и 1.2 соответственно:

$$S_{ИР}(t) = \frac{4\pi t}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{2\pi t^2}{\sigma^2}\right), \quad (1.1)$$

где σ — коэффициент формы импульса;

$$S^n(t) = \frac{4\pi t}{\sigma^2} S^{n-1}(t) - \frac{4\pi n}{\sigma^2} S^{n-2}(t), \quad (1.2)$$

где n – порядок производной.

Переход к каналам со сверхширокой полосой дает возможность практически неограниченного увеличения числа каналов связи. Заранее распределив сигналы (их частоты, виды модуляции и пр.) между абонентами, можно обеспечить независимую в смысле взаимного прослушивания и взаимных помех связь между ними. При этом многоканальная, но разделенная во времени связь не требует увеличения мощности передатчика, тогда как одновременная передача независимой (разной) информации нескольким абонентам потребует увеличения этой мощности или сокращение скорости передачи информации.

Для организации сверхширокополосной **многоканальной** системы можно использовать производные импульса Рэля разных порядков.

На рисунке 1.1 изображены осциллограммы импульса Рэля (красные кривые) и его производных первого, второго и третьего порядков (синие кривые).

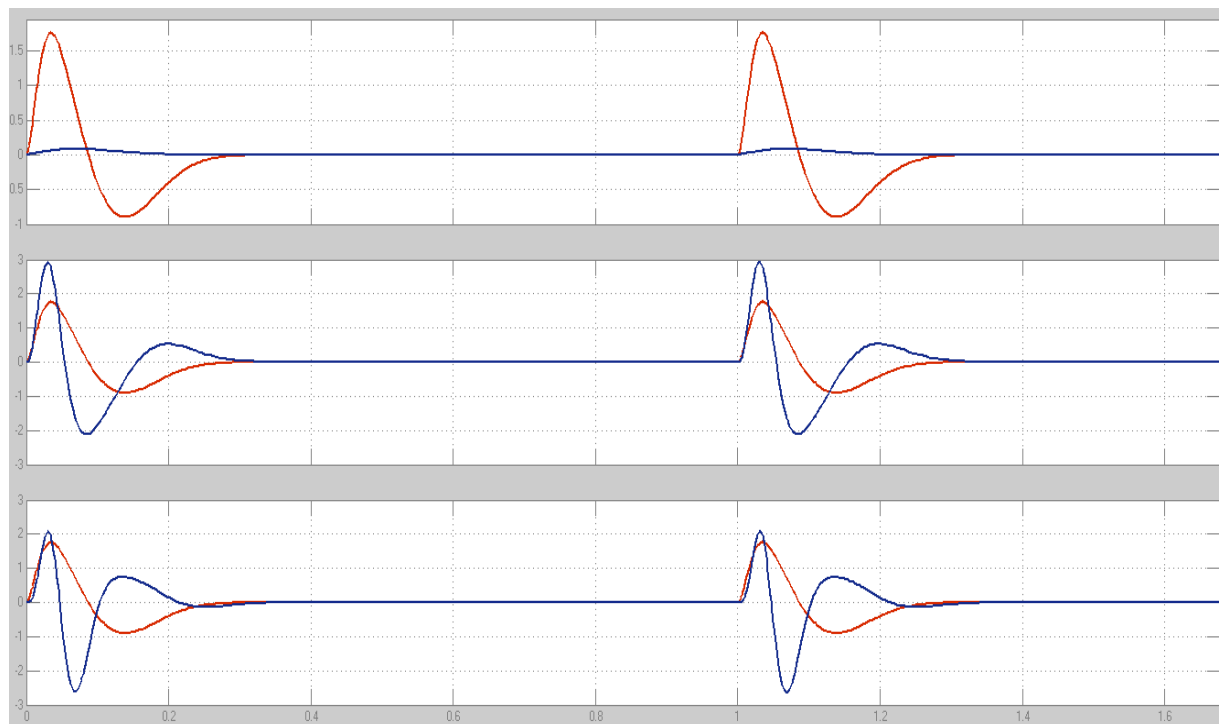


Рисунок 1.1 – Осциллограммы импульса Рэля и его производных

Из рисунка 1.1 видно, что каждая производная с возрастанием порядка за одинаковый период времени пересекает значение нуля чаще, как бы увеличивая частоту сигнала производной. Следовательно, модулируя информационные последовательности производными импульса Рэля разных порядков, можно добиться разделения каналов, схожего с частотным (ЧРК).


2 Краткое описание пакета Simulink

2.1 Общая характеристика пакета Simulink

Пакет *Simulink* разрабатывается компанией *Mathworks* (www.mathworks.com) и распространяется в составе математического пакета *MatLab*. Пакет основан на графическом интерфейсе и является типичным средством визуально-ориентированного программирования. Он обладает обширной библиотекой готовых блоков с модифицируемыми параметрами для построения моделей рассматриваемых систем и наглядными средствами визуализации результатов моделирования [3].

2.2 Запуск и работа с пакетом Simulink

Для запуска системы *Simulink* необходимо выполнить запуск системы *MatLab*. После открытия командного окна системы *MatLab* нужно запустить систему *Simulink*. Существует три способа запуска системы *Simulink*:

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

При применении двух первых способов открывается окно обозревателя библиотеки блоков (*Simulink Library Browser*). Если нам не требуется добавление новых блоков, а нужно лишь открыть уже готовую модель и провести моделирование, то следует воспользоваться третьим способом.

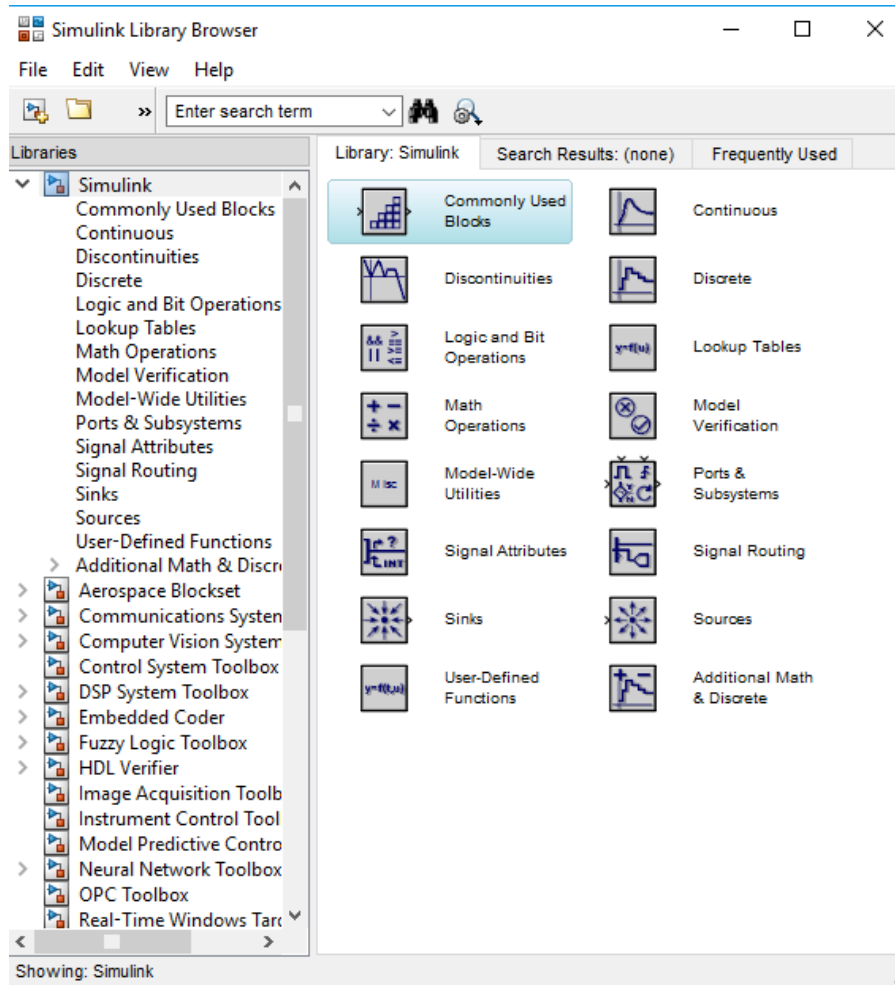


Рисунок 2.1. – Библиотека блоков *Simulink Library Browser*

На рисунке 2.1 выведена библиотека системы *Simulink* и показаны ее разделы. Основная библиотека системы содержит следующие разделы:

- **Commonly Used Blocks** – наиболее часто используемые блоки;
- **Continuous** – блоки аналоговых элементов;
- **Discontinuous** – блоки нелинейных элементов;
- **Discrete** – блоки дискретных элементов;
- **Logic and Bit Operations** – Логические и битовые операции;
- **Lookup Tables** – блоки таблиц;
- **Math Operations** – блоки элементов, определяющие математические операции;
- **Model Verification** – блоки проверки свойств сигнала;

- **Model-Wide Utilities** – раздел дополнительных утилит;
- **Port&Subsystems** – порты и подсистемы;
- **Signal Attributes** – блоки задания свойств сигналов;
- **Signal Routing** – блоки маршрутизации сигналов;
- **Sinks** – блоки приема и отображения сигналов;
- **Sources** – блоки источников сигнала;
- **User-Defined Function** – функции, определяемые пользователем;
- **Additional Math & Discrete** – дополнительная и дискретная

математика.

Список разделов библиотеки представлен в виде дерева, и правила работы с ним являются общими для списков такого вида: пиктограмма свернутого узла дерева содержит символ «+», а пиктограмма развернутого – символ «-».

Для того чтобы развернуть или свернуть узел дерева, достаточно щелкнуть на его пиктограмме левой клавишей мыши (ЛКМ). При выборе соответствующего раздела библиотеки его содержимое отображается в правой части окна.

При работе элементы разделов библиотек "**перетаскивают**" в рабочую область удержанием ЛКМ на соответствующих изображениях. Для соединения элементов достаточно указать курсором мыши на начало соединения и затем при нажатии левой кнопки мыши протянуть соединение в его конец.

При двойном щелчке ЛКМ на выделенном блоке всплывает меню, в котором задаются параметры блоков.

Работа *Simulink* происходит на фоне открытого окна системы *MatLab*, закрытие которого приведёт к выходу из *Simulink*.

3 Описание лабораторного макета

Вариант реализации функциональной модели сверхширокополосной многоканальной системы на основе производных импульса Рэля представлена на рисунке 3.1.

Функциональная схема генератора импульса Рэля и его производных изображена на рисунке 3.2.

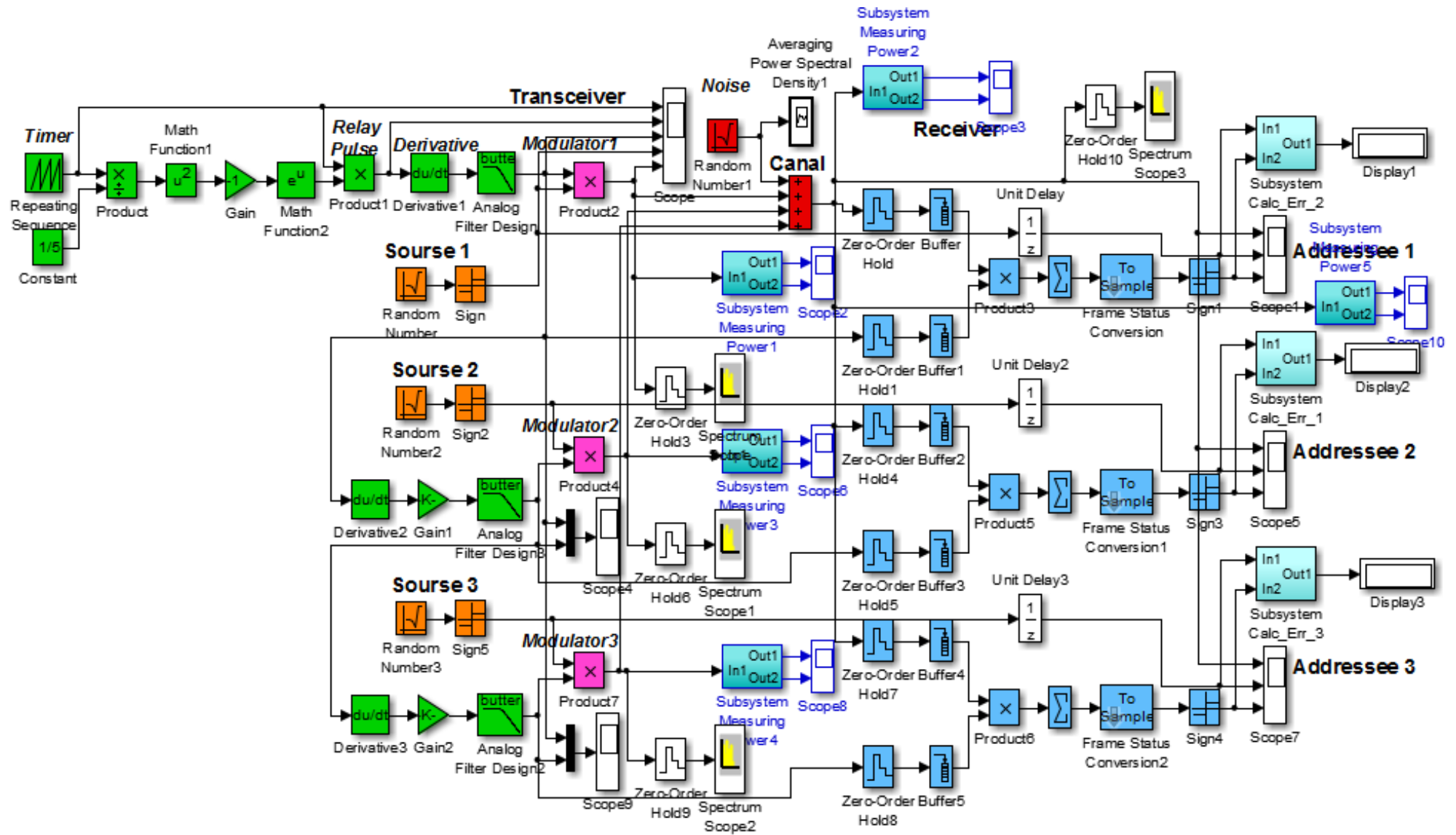


Рисунок 3.1 – Функциональная схема сверхширокополосной многоканальной системы на основе производных импульса Рэля

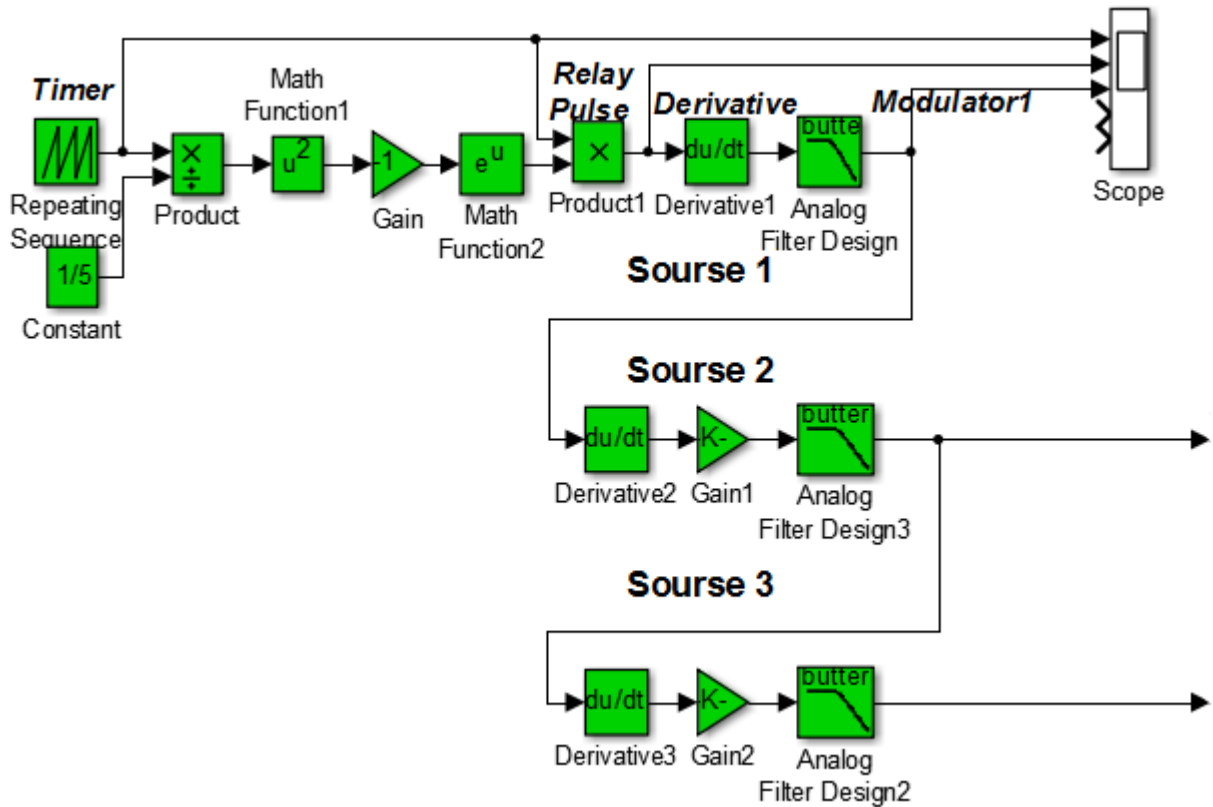


Рисунок 3.2 – Функциональная схема генератора импульса Рэля и его производных

Формирование импульса Рэля и его производных. С помощью генератора «пилы» (блока **Repeating Sequence** - повторяющейся последовательности) задаются импульсы интервала реального времени **Time values** от «0» до «1», а так же модельное время **Output values** (амплитуда) от «0» до «2», т.е. задаем значение параметра t из выражения импульса Рэля:

$$S_{\text{ИР}}(t) = \frac{4\pi t}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{2\pi t^2}{\sigma^2}\right).$$

Блоком **Constant** (постоянный по уровню сигнал) задается значение пропорциональное σ . С помощью блоков **Product**, **Math Function u^2** , **Gain** и функции \exp формируется импульс Рэля. В блоке **Product1** умножается текущее время t на экспоненту и тем самым формируется импульс Рэля. Далее с помощью блоков **Derivative 1, 2, 3** вычисляются производные импульса Рэля первого, второго и третьего порядка соответственно. Блоки

Gain1 и **Gain2** регулируют уровень производных. После каждой производной сигнал фильтруется в блоке аналогового фильтра типа **Butterworth (Analog Filter Design)** с целью сглаживания, для того чтобы убрать резкие переходы.

Множитель $\frac{4\pi}{\sigma^2}$, стоящий перед exp , определяет амплитуду импульса.

Он не влияет на широкополосность, поэтому им пренебрегаем.

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

Функциональная модель многоканальной передающей части СШП приведена на рисунке 3.3

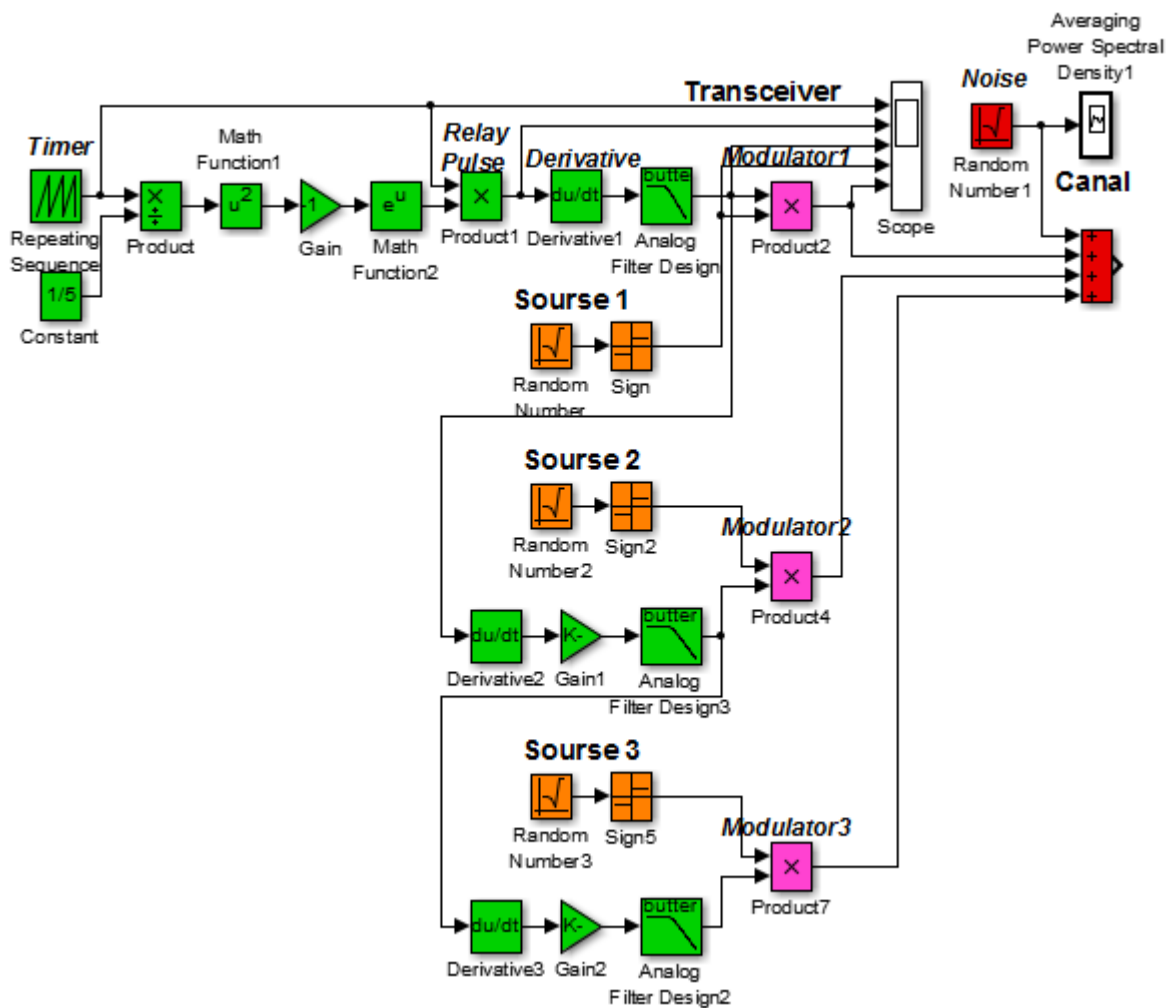


Рисунок 3.3 – Функциональная схема передатчика СШП сигналов

Основная часть передающего устройства включает в себя информационные последовательности, модулируемые производными импульса Рэля.

С помощью блоков **Random Number**, **2**, **3** и блоков **Sign** реализуются информационные каналы. Блоки **Product** осуществляют модуляцию информационных потоков производными импульса Рэля.

Далее блок **Sum** объединяет каналы и добавляет шумы канала распространения, реализованные блоком **Random Number 1**.

Функциональная схема приемника СШП сигналов представлена на рисунке 3.4.

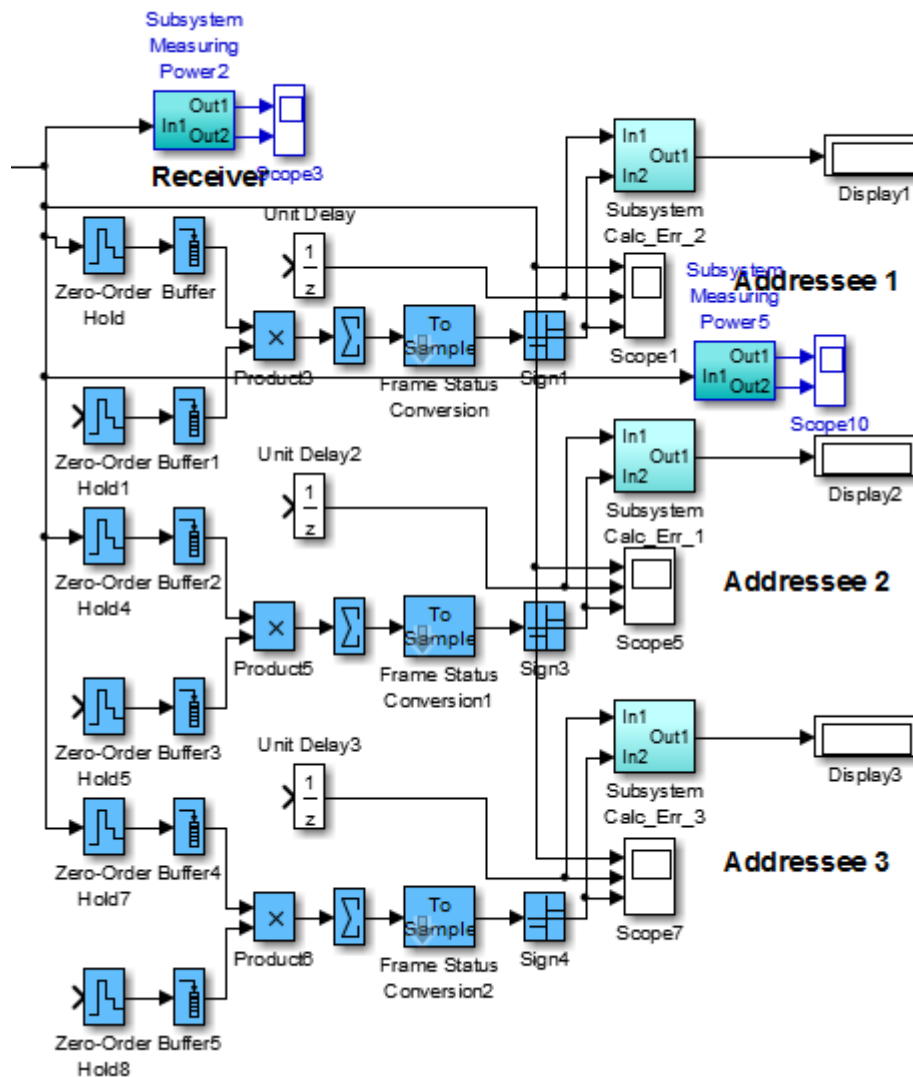


Рисунок 3.4 – Функциональная схема приемника СШП сигналов

Корреляционная обработка принимаемого сигнала производится в пределах каждого бита информационной последовательности.

Корреляционная обработка сигналов реализована с помощью блоков **Zero-Order Hold**, **Buffer**, **Product**, **Sum**. Блоки **Zero-Order Hold** обеспечивают дискретизацию входных данных. Блоки **Buffer** организуют накопление отсчетов принятых сигналов и опорных импульсов производных формы Рэлея. Блоки **Product** организуют перемножение отсчетов производных импульса Рэлея с отсчетами принятого суммарного 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** отсчеты подаются на блоки **Sign** с целью масштабирования. Для визуализации масштабированные сигналы подаются на блоки **Scope** и подсистемы **Subsystem Calc_Err**. Для подсчета ошибок на второй вход подсистемы **Subsystem Calc_Err** подаются задержанные на один такт с помощью блока **Unit Delay** информационные импульсы. На блоках **Display** отображается количество битовых ошибок (несовпадений импульсов).

Функциональная схема детектора ошибок (**Subsystem Calc_Err**) представлена на рисунке 3.5.

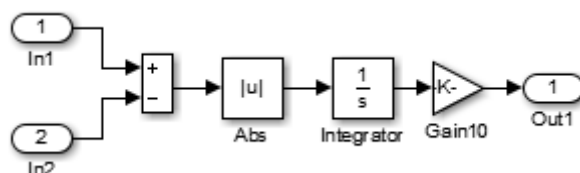


Рисунок 3.5 – Подсистема детектора ошибок

Принцип работы детектора 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 проведения исследований зависимости помехоустойчивости, например, вероятности битовой ошибки P_b от соотношения сигнал/шум или E_b/N_0 используется подсистема измерителя мощности регулярных или псевдослучайных как вещественных, так и комплексных сигналов (**Subsystem Measuring Power**), приведенная на рисунке 3.6.

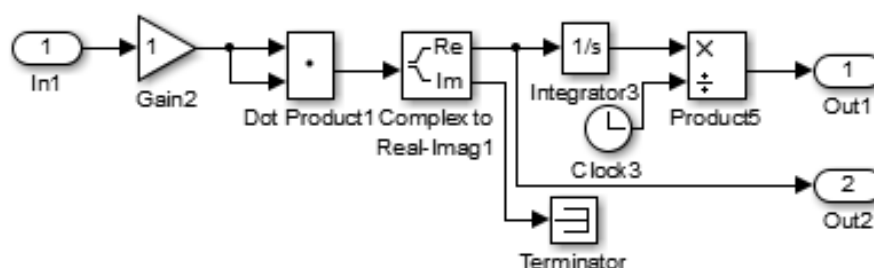


Рисунок 3.6 – Подсистема измерителя мощности

Принцип работы измерителя мощности. 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 Описание используемых блоков библиотеки Simulink

Ниже описаны основные блоки базовых разделов библиотеки **Simulink** [3], используемые в функциональной схеме сверхширокополосной многоканальной системы на основе производных импульса Рэлея.



Repeating
Sequence

Repeating Sequence – блок периодического сигнала.

Назначение: Формирование периодического сигнала. *Параметры:*

Time values – Вектор значений модельного времени; **Output values** – Вектор значений сигнала для моментов времени заданных вектором **Time values**.



Constant

Constant– блок источника постоянного сигнала. *Назначение:*

задает постоянный по уровню сигнал. *Параметры блока:* Constant

value– постоянная величина. **Interpret vector parameters as 1-D** –

интерпретировать вектор как массив скаляров. **Show additional parameters** –

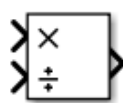
показать дополнительные параметры. При выставленном флажке появится

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: «*» -

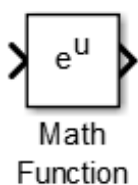
умножить и «/» - разделить. **Multiplication** – способ выполнения операции,

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 – 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 signal type** – тип выходного сигнала (выбирается из списка): **auto** – автоматическое определение типа, **real** – действительный сигнал, **complex** – комплексный сигнал.



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**. **Saturate on 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 – 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 Δu – величина изменения входного сигнала за время Δt , Δt – 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 – 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; **ChebyshevI** – фильтр Чебышева 1-го рода; **ChebyshevII** – фильтр Чебышева 2-го рода; **Elliptic** – фильтр эллиптический; **Bessel** – фильтр Бесселя. **Filter type** – 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: **Filter order** – порядок фильтра; **Passband edge frequency (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. *Назначение:* формирование случайного сигнала с равномерным распределением уровня сигнала. *Параметры блока:* **Mean** – среднее значение сигнала; **Variance** – дисперсия; **Initial seed** – начальное значение генератора случайного сигнала; **Sample time** – такт дискретности.



Sign

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

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} -1 & \text{при } x < 0, \\ 0 & \text{при } x = 0, \\ 1 & \text{при } x > 0. \end{cases}$$

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



Demux – демультиплексор. *Назначение:* разделяет входной векторный сигнал на отдельные составляющие. *Параметры блока:* **Number of Outputs** - количество выходов. **Display option** - способ отображения, выбирается из списка: **bar** - вертикальный узкий прямоугольник черного цвета; **none** - прямоугольник с белым фоном без отображения меток входных сигналов. **Bus Selection Mode** - режим разделения векторных сигналов по шине.



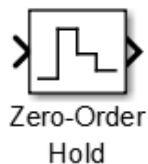
Scope

Scope – блок осциллографа. *Назначение:* построение графиков исследуемых сигналов как функций времени. Открытие окна осциллографа производится двойным щелчком ЛКМ на пиктограмме блока. Настройка окна осциллографа выполняется с помощью панелей инструментов, позволяющих: осуществить печать содержимого окна осциллографа; установить *параметры*, в частности, **Number of axes** - число

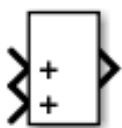
входов осциллографа, **Time range** – отображаемый временной интервал и другие; изменить масштабы графиков; установить и сохранить настройки; перевести в плавающий режим и так далее.



Averaging Power Spectral Density – анализатор усредненной спектральной плотности мощности. *Назначение:* отобразить частотную зависимость спектральной плотности мощности. *Параметры блока:* **Length of buffer** – длина буфера. **Number of points for fft** – количество точек. **Plot after how many points** – количество точек по которому выводится график. **Sample time** - такт дискретности.

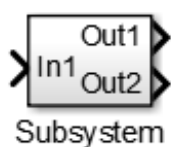


Zero-Order Hold – экстраполятор нулевого порядка. *Назначение:* экстраполяция входного сигнала на интервале дискретизации. Блок фиксирует значение входного сигнала в начале интервала дискретизации и поддерживает на выходе это значение до окончания интервала дискретизации. Затем выходной сигнал изменяется 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.



Sum – 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

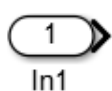
обозначаются соответствующими знаками. В списке **List of sign** можно также указать число входов, при этом все входы будут суммирующими.



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 подсистемы
- Позволяет включить в модель собственные справочные средства
- Позволяет связывать подсистему с М-файлом, обеспечивая запуск этого файла при открытии подсистемы.

Параметры блока: **Show port labels** – 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 чтение, ни записи. **Name of error callback function** – имя функции ответного вызова.



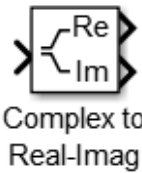
Import– входной порт. *Назначение:* Создает входной порт для подсистемы или выполняет считывание сигнала с рабочей области MATLAB в модель. *Параметры блока:* **Port number**-номер порта. **Port dimensions**-размерность входного сигнала. **Sample time** – такт дискретности. **Show additional parameters**-показать дополнительные параметры. **Data type** –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.



Dot Product

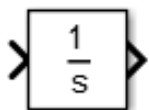
Dot Product – блок скалярного произведения. *Назначение:* Выполняет вычисление скалярного произведения двух векторов.

Параметры блока: нет.

Complex to
Real-Imag

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.



Integrator

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.



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.



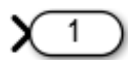
Terminator

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.



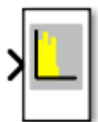
Abs

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.



Out1

Output– выходной порт. *Назначение:* Создает входной 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.



Spectrum Analyzer

Spectrum Analyzer – блок анализатора спектра. *Назначение:* отображает частотные спектры сигналов. Имеет два входа для подключения на вход и выход анализируемой системы. *Параметры*

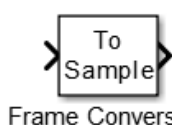
блока позволяют управлять размером входного буфера и числом точек, используемых для вычисления БПФ.



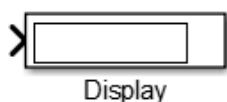
Buffer – буфер преобразует длину фрейма. Последовательность фреймов на выходе генерируется с задержкой, определяемой формулой $TT_{fr\text{ вых}} = T\max\{L_{fr\text{ вых}}; L_{fr\text{ вх}}\}$, где $L_{fr\text{ вых}}$ – длина фрейма на выходе, $L_{fr\text{ вх}}$ – длина фрейма на входе, T – период дискретизации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



Unit delay – блок единичной дискретной задержки. *Назначение:* выполняет задержку дискретного сигнала на заданный такт дискретности. *Параметры блока:* **Initial conditions** – начальное значение выходного сигнала; **Sample time** – такт дискретности (при задании значения параметра равного **-1** такт дискретности наследуется от предшествующего блока).



Frame Status Conversion осуществляет дискретизацию входного потока, а так же при наличии на входе константы превращает ее в дискретную последовательность.



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

5 Экспериментальное задание

1. Собрать Sim-модель для исследования функциональной схемы сверхширокополосной многоканальной системы на основе производных импульса Рэля, в соответствии с рисунком 3.1.
2. Выставить параметры блоков для построенной Sim-модели.
3. Пронаблюдать, зафиксировать и пояснить основные осциллограммы, иллюстрирующие работу сверхширокополосной многоканальной системы на основе производных импульса Рэля.
4. Построить и проанализировать водопадоподобные характеристики (зависимости вероятности битовой ошибки от соотношения сигнал/шум) многоканальной системы и каждого из каналов.
5. Построить и проанализировать водопадоподобные характеристики для каждого из каналов.
6. Сделать выводы по проделанной работе.
7. Оформить отчет.

Вспомогательные указания к выполнению лабораторной работы:

- Повторяющаяся последовательность задается блоком **Repeating Sequence**, задаются импульсы интервала реального времени Time values: от «0» до «1»; модельное время Output values: от «0» до «2».
- Длительность бит информационных последовательностей устанавливается в блоках **Random Number** помощью параметра Sample time = 1.
- Регулировка уровня производных импульса Рэля в блоках **Gain** = 1/20,5 и **Gain2** = 1/52,75 предусматривает возможность установки одинакового вклада каждого канала в помехоустойчивости.
- Обеспечение дискретизации входных данных реализуется в блоке **Zero-Order Hold** параметром Sample time = 1/64.

- Накопление отсчетов принятых сигналов и опорных импульсов первых производных формы Рэлея организует блок **Buffer** = 64.
- Путем изменения мощности шума канала подобрать такое значение сигнал/шум, при котором наблюдается одна ошибка за 1000 шагов. А затем путем увеличения шума канала находим несколько точек водопадоподобной характеристики.

6 Контрольные вопросы

1. Что такое сверхширокополосная связь?
2. Какие сигналы называют широкополосными?
3. Какие технологии формирования сверхширокополосной связи существуют?
4. На каких принципах возможно разделение каналов СШП?
5. По какому принципу происходит разделение каналов в СШП на основе производных импульса Рэлея?
6. С какой целью производится модуляция информационной последовательности производными импульса Рэлея?
7. От какого параметра производной импульса Рэлея зависит широкополосность?
8. Объясните принцип работы подсистемы детектора ошибок.
9. 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, / Дмитриев В. – 2003. – №9 – С. 72 – 76.
2. 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: 05.12.13 / Грахова Елизавета Павловна. – Уфа, 2016. – 197 стр.
3. Черных, И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений. / Под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003.- 496 с.
4. 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.