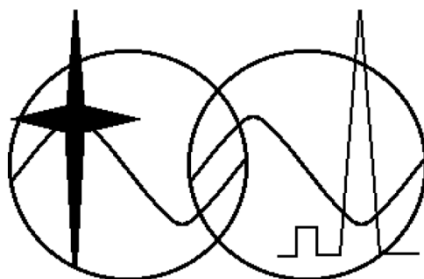


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра средств радиосвязи (СРС)

Утверждаю:
Зав. каф. СРС, проф., д.т.н.
_____ Мелихов С.В.
_____ 2015 г.



Кологривов В.А., Цинц А.А., Олчейбен Д.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ TDMA

Учебно-методическое пособие по лабораторной работе
для студентов направления
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
по дисциплине
«Сети и системы мобильной связи»

Разработчики:

Доц. каф СРС Кологривов В.А. _____

Студент гр. 1В1 Цинц А.А. _____

Студент гр. 1В1 Олчейбен Д.Н. _____

Кологривов В.А., Цинц А.А., Олчейбен Д.Н.

«Исследование технологии TDMA»: Учебно-методическое пособие по лабораторной работе для студентов направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Сети и системы мобильной связи». – Томск: ТУСУР. Научно-образовательный портал, 2015.– 19 с.

Учебно-методическое пособие содержит описание функциональной модели системы передачи информации (*СПИ*) по технологии *TDMA*, выполненной в среде функционального моделирования *Simulink*, системы для инженерных и научных расчетов *MatLab*.

В пособии приведены краткие теоретические сведения технологии *TDMA*, краткая характеристика пакета *Simulink* системы *MatLab*, описание виртуального лабораторного макета и используемых блоков библиотеки *Simulink*, а также требования к экспериментальному исследованию и контрольные вопросы, ответы на которые необходимы для успешной защиты лабораторной работы.

АННОТАЦИЯ

Лабораторная работа «Исследование технологии *TDMA*» посвящена экспериментальному исследованию модели *СПИ* по технологии *TDMA* с использованием пакета функционального моделирования *Simulink*, системы для инженерных и научных расчетов *MatLab*.

Работа «Исследование технологии *TDMA*» относится к циклу лабораторных работ по разделу «Уплотнение/Разделение каналов. Множественный доступ», входящему в дисциплины по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

В описании сформулирована цель лабораторной работы, приведены краткие теоретические сведения технологии *TDMA*, краткая характеристика пакета *Simulink* системы *MatLab*, описание виртуального лабораторного макета и используемых блоков библиотеки *Simulink*, а также требования к экспериментальному исследованию и контрольные вопросы, ответы на которые необходимы для успешной защиты лабораторной работы.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы. Краткие теоретические сведения по технологии TDMA	5
2. Краткое описание функциональной Sim-модели систем передачи информации по технологии TDMA	7
3. Краткое описание пакета Simulink и используемых блоков	11
4. Экспериментальное задание	17
5. Контрольные вопросы	18
Список использованных источников	19

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ TDMA

Цель работы: изучение структуры и принципа организации системы передачи информации (СПИ) по технологии TDMA с использованием пакета функционального моделирования *Simulink*.

Теоретические сведения технологии TDMA

TDMA (Time Division Multiple Access), TDM (Time Division Multiplexing) – множественный доступ с временным уплотнением/разделением каналов. Такие термины метода временного разделения каналов (*ВРК*) чаще всего используются в современной литературе [1-5]. Это один из самых распространенных методов множественного доступа, применяемых не только в сотовой связи, но и в других системах радиосвязи. Сам термин “множественный доступ” предусматривает разделение общего временного ресурса линии связи между информационными источниками. Идея временного разделения каналов заключается в том, что элементы первичного сигнала, принадлежащего определенному источнику, передаются в неперекрывающихся интервалах времени, свободных от сигналов других каналов, по общей линии связи.

Большинство первичных сигналов являются аналоговыми (непрерывными) и идея *ВРК* определяет необходимость их дискретизации. Операция дискретизации выполняется в соответствии с теоремой дискретизации (Котельникова), которая применительно к сигналам электросвязи формулируется следующим образом: всякий непрерывный во времени сигнал со спектром ограниченным частотой f_{max} , может быть представлен последовательностью его мгновенных значений (отчетов), взятых через интервалы времени $T = 1/(2f_{max})$. Следовательно, возможна передача не всего первичного сигнала, а только его отчетов. При этом отчеты N канальных сигналов передаются по общей линии связи не одновременно, а поочередно, так, чтобы каждому канальному сигналу на интервале T предоставлялся свой временной интервал T/N , называемый канальным интервалом или тайм-слотом (Time Slot).

Как отмечалось ранее, первичные сигналы (речевые, вещания, телевидения и др.) занимают довольно широкий диапазон частот и, следовательно, перед проведением дискретизации необходимо ограничить спектр частот первичного сигнала с помощью соответствующего фильтра нижних частот (*ФНЧ*).

На рисунке 1.1 проиллюстрированы временные диаграммы системы с ВРК, а на рисунке 1.2 представлена структурная схема данной системы.

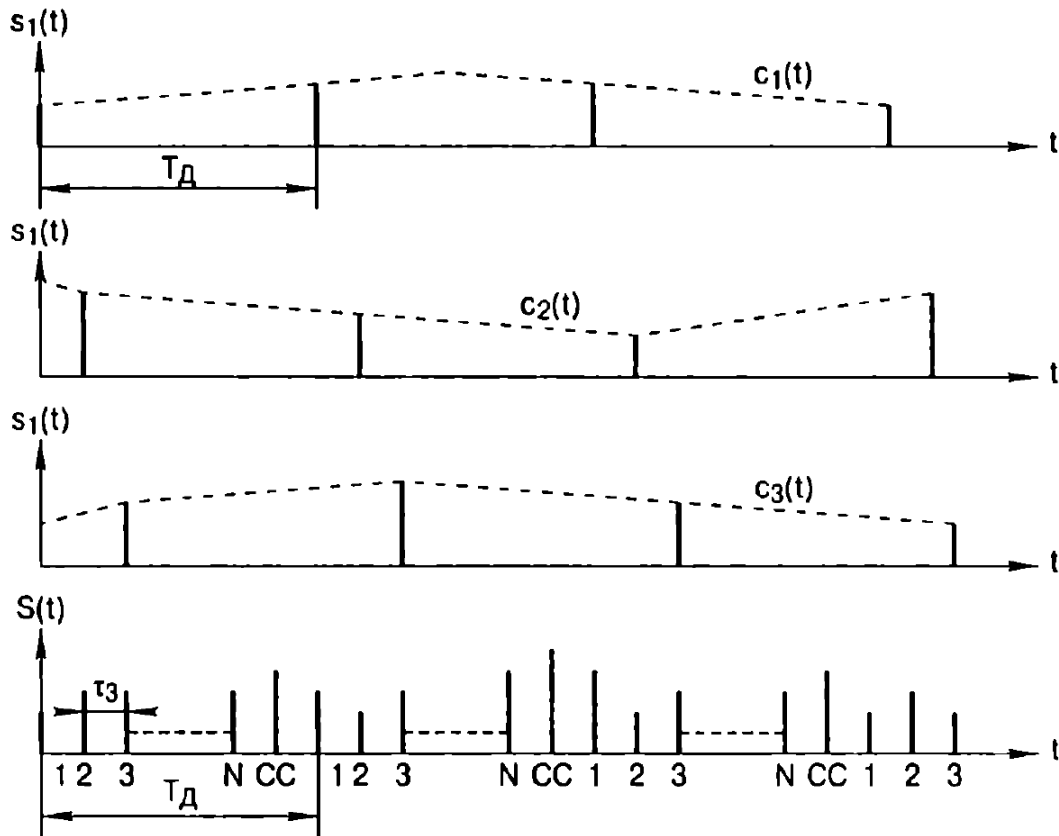


Рисунок 1.1 – Временные диаграммы трех канальной системы с *BPK*

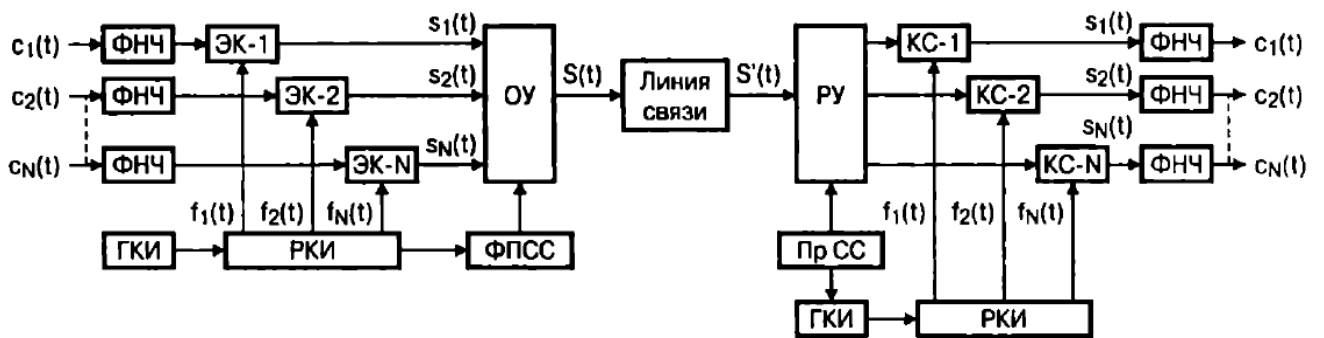


Рисунок 1.2 – Структурная схема системы передачи с *BPK*

В систему с *ВРК* одновременно попадают N первичных сигналов S_1, S_2, \dots, S_N , проходят через фильтры нижних частот (*ФНЧ*), обрезающие полосу частот первичных сигналов до B . Далее каждый сигнал дискретизируется канальными электронными ключами в результате чего получаются канальные сигналы $S_{c1}, S_{c2}, \dots, S_{cN}$, которые поступают на объединяющее устройство (*ОУ*), предназначенное для объединения канальных сигналов в групповой сигнал $S_{гп}$, который после линии связи попадает на канальные селекторы: $КС-1, КС-2, \dots, КС-N$, обеспечивающие выделение соответствующего канального сигнала, а выходные *ФНЧ* восстанавливают первичные сигналы при приеме.

2 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ SIM-МОДЕЛИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ TDMA [6,7]

Вариант реализации функциональной *Sim*-модели *СПИ* состоящей из передатчика, приемника и канала связи по технологии *TDMA* представлен на рисунке 2.1. *Sim*-модели, представленной на рисунке 2.1.

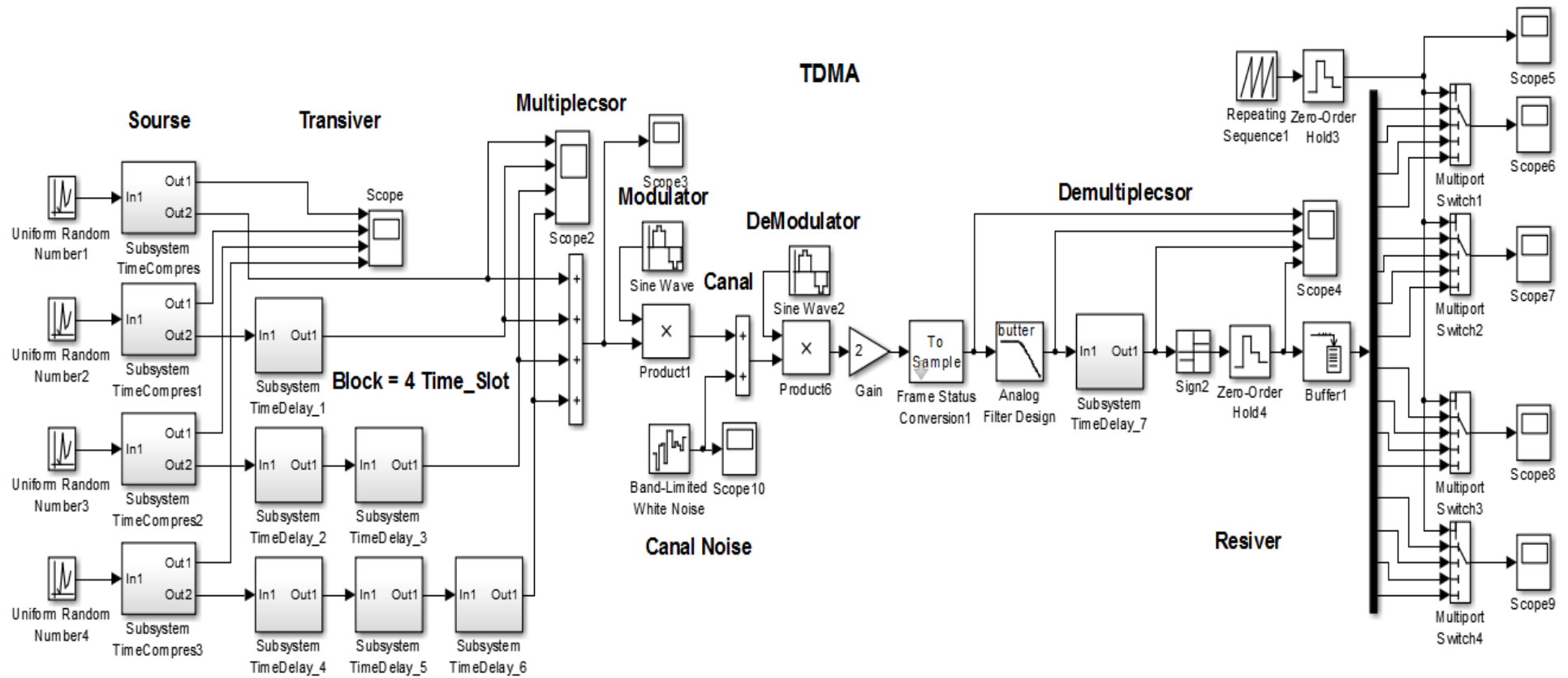


Рисунок 2.1 – Функциональная *Sim*-модель *СПИ* по технологии *TDMA*

Приведем краткое описание работы *СПИ* по технологии *TDMA* на основе

Функциональная *Sim*-модель состоит из передатчика (рисунок 2.2), канала связи с аддитивным шумом (*Channel*) и приемника (рисунок 2.3).

Передатчик (рисунок 2.2) включает в себя источники первичных цифровых сигналов (*Source*), в виде блоков *Uniform Random Number*, подсистем сжатия цифровых потоков (*Subsystem TimeCompres*), линий задержки (*Subsystem TimeDelay*), сумматора, который в данной реализации выполняет роль мультиплексора и *BPSK*-модулятор для переноса спектра общего потока на частоту радиоканала.

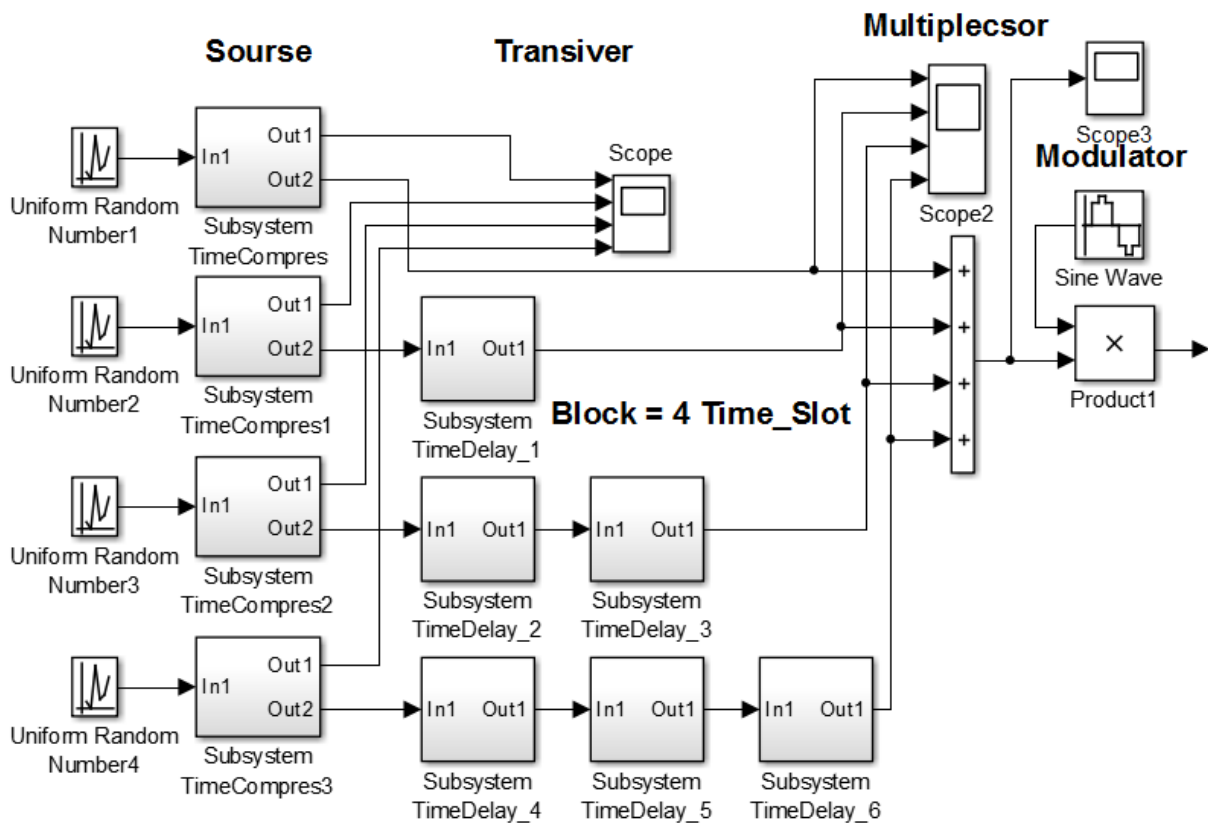


Рисунок 2.2 – *Sim*-модель передатчика

Входные потоки данных реализуются блоками источников случайных сигналов с равномерным распределением (*Uniform Random Number*) (рисунок 2.3), к выходам которых подключены подсистемы сжатия цифрового потока (*Subsystem TimeCompres*). Подсистема с помощью блока *Sign* преобразует случайный поток в биполярную псевдослучайную последовательность имитирующую входной поток данных. Данные, с 4-х источников передаются кадрами по 4-е временных слота, каждый слот по 4 бита с каждого источника. Далее данные сжимаются по времени с помощью буфера (*Bufere*), мультиплексора (*Mux*) и мультипортового переключателя (*Multiport Switch*) и подаются через блоки задержек (*Subsystem TimeDelay*) на сумматор (*Add*). Подсхемы линии задержки (*Subsystem TimeDelay*)

(рисунок 2.4) в совокупности с сумматором (*Add*) образуют мультиплексор общего потока, который поступает на модулятор, а далее в канал связи. Модулятор представляет собой умножитель (*Product*), на первый вход которого поступает сформированный общий поток, а на второй вход с генератора (*Sine Wave*) подается гармоническое колебание несущей частоты.

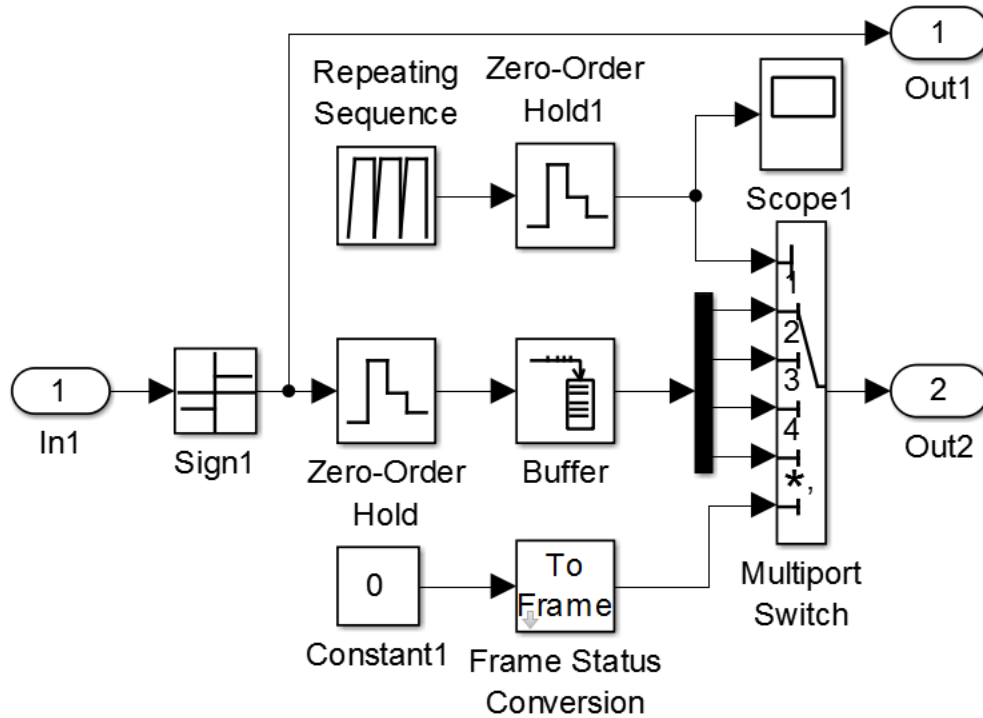


Рисунок 2.3 – Подсистема сжатия цифрового

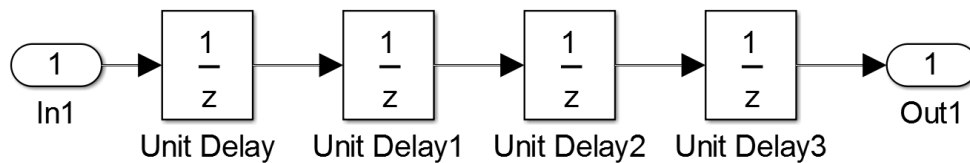


Рисунок 2.4 – Подсхема линий задержки (*Subsystem TimeDelay*)

Блоки приемника (рисунок 2.5) выполняют обратные операции, реализуемые в передатчике. Входом приемника является демодулятор возвращающий после (*ФНЧ*) общий поток в область нижних частот, важно чтобы опорные частоты генераторов (*Sine Wave*) передатчика и приемника совпадали. Демодулированный поток с помощью блока (*Subsystem TimeDelay*) задерживается на необходимое число тактов для совмещения по времени начала кадра с началом периода генератора *Repeating Sequence* определяющего длительность кадра. Далее демодулированный битовый поток регенерируется блоком *Sign* и с помощью блоков *Zero-Order Hold*, буфера (*Bufen*) и демультплексора (блок *Demux*) выполняется операция векторизации - параллельного представления кадра (по 4 бита в каждом временном слоте). Так как в один канальный интервал Временной

слот) входит 4 бита, то группируя выходы демультиплексора по 4, с выходов мультипортовых переключателей (*Multiport Switch*) получаем исходные потоки.

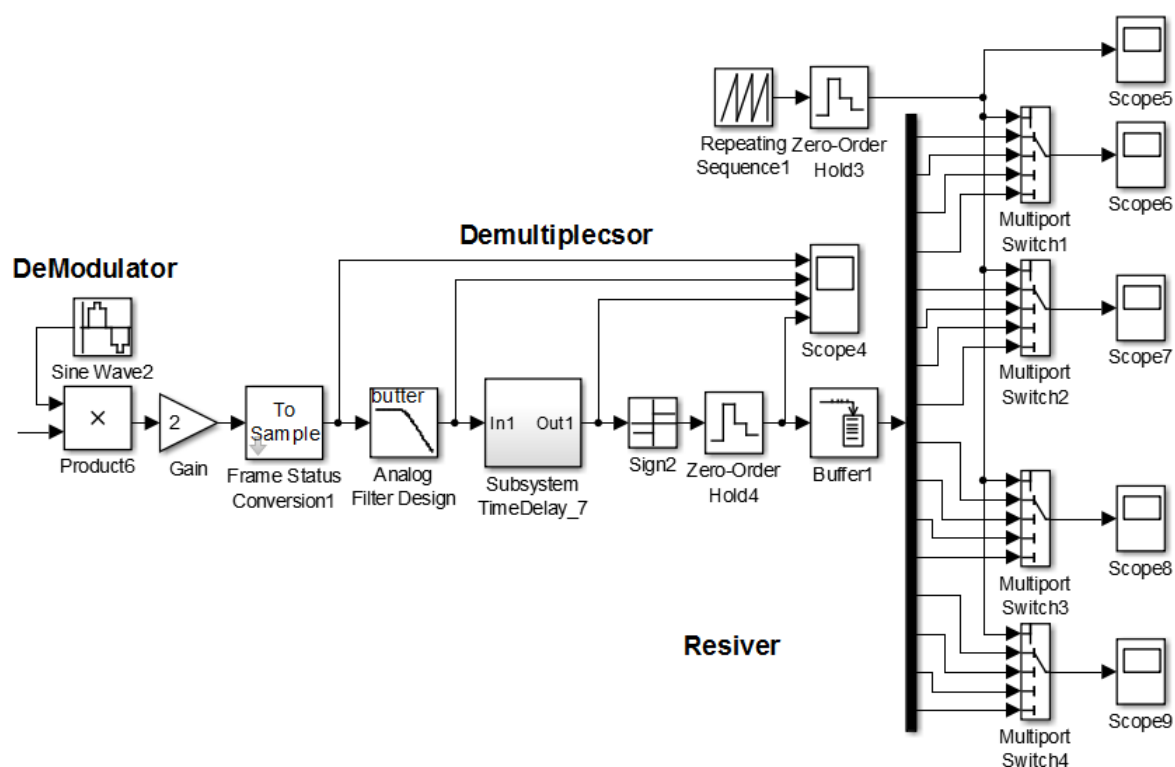


Рисунок 2.5 – *Sim*-модель приемника


В качестве условных получателей служит блок осциллографов (*Scope*). С их помощью мы можем следить за правильностью реализации систем в контрольных точках.

3 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПАКЕТА SIMULINK И ИСПОЛЪЗУЕМЫХ БЛОКОВ

Пакет *Simulink* разработан компанией *Mathworks* 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 [6,7].

Запуск и работа с пакетом *Simulink*

Для запуска пакета *Simulink* необходимо предварительно выполнить запуск системы *MatLab*. После открытия командного окна системы *MatLab* нужно запустить систему *Simulink*. Это можно сделать одним из трех способов:

- 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).

Последний способ предпочтителен при запуске уже готовой и отлаженной модели, когда требуется лишь провести моделирование и не нужно добавлять новые блоки в модель. При применении двух первых способов открывается окно обозревателя библиотеки блоков (*Simulink Library Browser*) (рисунок 3.1).

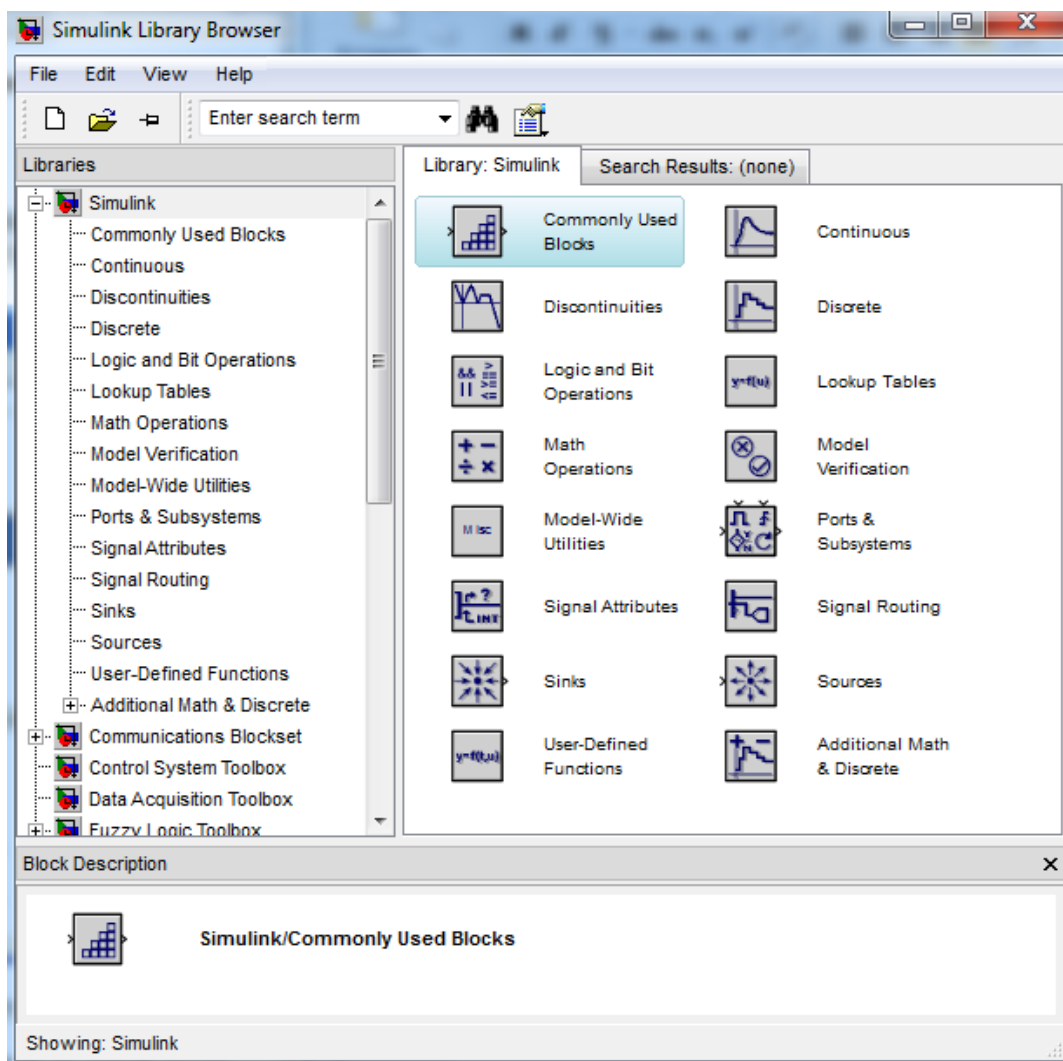


Рисунок 3.1 – Библиотека блоков *Simulink Library Browser*

На рисунке 3.1 выведена библиотека системы *Simulink* (в левой части окна) и показаны ее разделы (в правой части окна). Основная библиотека системы содержит следующие разделы:

- *Continuous* – блоки аналоговых элементов;
- *Discontinuous* – блоки нелинейных элементов;
- *Discrete* – блоки дискретных элементов;
- *Look-Up 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 маршрутизации сигналов;
- *Signal Routing* – блоки маршрутизации сигналов;
- *Sinks* – блоки приема и отображения сигналов;
- *Sources* – блоки источников сигнала;
- *User-Defined Function* – функции, определяемые пользователем.

Описание используемых блоков библиотеки *Simulink*

Ниже описаны основные блоки базовых разделов библиотеки *Simulink*, используемые в функциональной схеме организации *СПИ* по технологии *TDMA*.



Uniform Random Number – источник случайного дискретного сигнала с нормальным распределением. Назначение: формирование случайного сигнала с равномерным распределением уровня. Параметры блока: *Minimum* – минимальный уровень сигнала; *Maximum* – максимальный уровень сигнала; *Seed* – начальное значение генератора случайного сигнала; *Sample time* – такт дискретности.



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

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

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



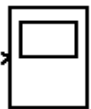
Product

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.



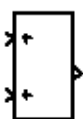
Sine Wave

Sine Wave – блок источника синусоидального сигнала. Назначение: формирование синусоидального сигнала с заданной частотой, амплитудой, фазой и смещением. Параметры блока: *Sine Type* – способ формирования сигнала реализуется двумя алгоритмами: *Time-based* – по текущему времени (для аналоговых систем) или по значению сигнала на предыдущем шаге и величине такта дискретности (для дискретных систем); *Sample-based* – по величине такта дискретности и количеству расчетных шагов на один период синусоидального сигнала. Вид окна задания параметров меняется в зависимости от выбранного способа формирования синусоидального сигнала.



Scope

Scope – блок осциллографа. Назначение: построение графиков исследуемых сигналов как функций времени. Открытие окна осциллографа производится двойным щелчком ЛКМ 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

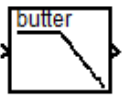
Add – блок сумматора. Назначение: вычисление алгебраической суммы текущих значений входных сигналов. Параметры блока: *Icon shape* – форма блока, выбирается из списка: *round* – круг; *rectangular* – прямоугольник. *List of sign* – список знаков из набора: + – плюс; - – минус, | – разделитель. Флажок *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.



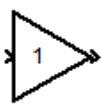
Random Number

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.



Analog Filter Design

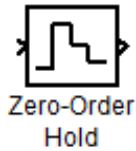
Analog Filter Design – блок аналогового фильтра заданного метода проектирования и типа из подраздела *Filter Design*; подраздела *Filtering*, раздела *DSP Blockset*. Назначение: аналоговая фильтрация низкочастотных составляющих спектра входного сигнала. Параметры блока: *Design method* – метод проектирования, 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. *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.



Gain

Gain – блок усилителя. Назначение: блок *Gain* умножает входной сигнал на постоянный коэффициент; Параметры блока: *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.



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 – буфер преобразует длину фрейма. Последовательность фреймов на выходе генерируется с задержкой, определяемой формулой
$$n_{out} = n_{in} - \frac{n_{in} - n_{out}}{T_s}$$
, где n_{in} – длина фрейма на входе, n_{out} – длина фрейма на выходе, T_s – период дискретизации (параметр *Sample time* блока на входе). Блок имеет параметр *Initial conditions* (Начальные условия) — значения начальных отсчетов на интервале задержки.



Constant – константа выдает сигнал в виде данных — численных или логических. Параметры блока задаются на двух вкладках — *Main* (Главная) и *Signal Attributes* (Атрибуты сигнала). Параметр *Constant value* (Значение константы). Данные (константы) записываются по правилам языка *MatLab* и могут быть представлены в виде скаляра, вектора, матрицы и вычисляемого арифметического или логического выражения.



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.



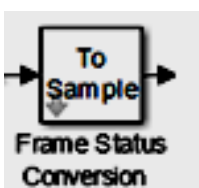
Блок *Multiport Switch* представляет собой автоматический переключатель сигналов. Блок имеет один выход и три или более входа для сигналов $u(1)$ (управляющий), от $u(2)$ до $u(N)$ (входные). Управление между сигналами $u(2)$ и $u(N)$ осуществляется управляющим сигналом $u(1)$: причем управление аналоговое, каждому входному порту соответствует свой порог. Для блока выделяют следующие параметры:

Criteria for the first input (Критерий для первого входа) — условие для управляющего сигнала u_2 на среднем входе;

Threshold (Порог) — пороговое значение в условии *Criteria for the first input*;

Enable zero crossing detection (Доступно обнаружение пересечения нуля) — флаг контроля монотонности сигнала на каждом шаге моделирования.

Sample time (Интервал времени) — интервал времени между соседними значениями сигнала в процессе моделирования.



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

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Собрать *Sim*-модель для исследования принципа организации *СПИ* по технологии *TDMA* в соответствии с рисунком 2.1.

2. Выставить параметры блоков *Sim*-модели, согласованные с исходными параметрами блока источника случайного сигнала с равномерным распределением (*Uniform Random Number*), например: *Minimum* = -1; *Maximum* = 1; *Seed* = 11; *Sample time* = 1. Для каждого из источников случайного

сигнала с равномерным распределением (*Uniform Random Number*) выставить различные параметры *Seed*, например: для первого источника (*Source 1*) параметр *Seed* = 9, для второго источника (*Source 2*) параметр *Seed* = 11, и т. д.

3. Пронаблюдать, зафиксировать и пояснить основные осциллограммы, иллюстрирующие работу когерентной *СПИ* по технологии *TDMA*.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 В чем основной принцип организации *TDMA*?

2 Что используется в качестве устройств уплотнения и разделения канальных сигналов в *СПИ* по технологии *TDMA*?

3 Объясните работу *TDMA* модели *СПИ*, изображенной на рисунке 2.1.

4 Что такое “кадр” и “канальный интервал”?

5 Объяснить что такое тайм-слот (*Time Slot*) и как он рассчитывается?

6 В чем достоинства и недостатки систем по технологии *TDMA*?

7 Наряду с какими методами множественного доступа в современных *СПИ* применяется метод *TDMA*?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гаранин М. В., Журавлев В. И., Кунегин С. В. Системы и сети передачи информации: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2001.– 336 с.
2. TDMA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://celnet.ru/TDMA.php>, свободный.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е изд. исправл.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003.– 1104 с.
4. Гуменюк А. Д., Журавлев В. И., Мартюшев Ю. Ю., Петрухин Г. Д., Струков А. З., Цветков С. И. Основы электроники, радиотехники и связи: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008.– 480 с.
5. Ипатов В. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. – М.: Техносфера, 2007.– 488 с.
6. Черных И. В. Simulink: среда создания инженерных приложений. Под общ. Ред. Потемкина В. Г. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003.– 496 с.
7. Дьяконов В. П. MatLab 6. 5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. Сер. Библиотека профессионала. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005.– 576 с.