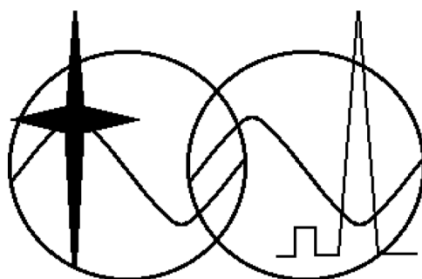


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра средств радиосвязи (СРС)

Утверждаю:
Зав. каф. СРС, проф., д.т.н.
_____ Мелихов С.В.
_____ 2013 г.



Кологривов В.А., Мосин С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ FDMA

Учебно-методическое пособие по лабораторной работе
для студентов направления
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
по дисциплине
«Системы и сети связи с подвижными объектами»

Разработчики:

Доц. каф СРС Кологривов В.А. _____
Студент гр. 1В9 Мосин С.А. _____

Томск 2013

Кологривов В. А., Мосин С. А.

«Исследование технологии FDMA»: Учебно-методическое пособие по лабораторной работе для студентов направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Системы и сети связи с подвижными объектами». – Томск: ТУСУР. Образовательный портал, 2013.– 22 с.

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

В пособии приведены краткие теоретические сведения технологии *FDMA*, 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.

© Кологривов В. А., Мосин С. А., 2013 г.

© ТУСУР, РТФ, каф. СРС, 2013 г.

АННОТАЦИЯ

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

Работа «Исследование технологии *FDMA*» 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 *FDMA*, 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 FDMA	5
2. Краткое описание функциональной Sim-модели СПИ по технологии FDMA	11
3. Краткое описание пакета Simulink и используемых блоков	15
4. Экспериментальное задание	20
5. Контрольные вопросы	21
Список использованных источников	22

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ FDMA

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

Теоретические сведения технологии FDMA

FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), *FDM* (*Frequency Division Multiplexing*) – множественный доступ с частотным уплотнением/разделением каналов. Такие термины метода частотного разделения каналов (*ЧРК*) 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 ресурса линии связи между информационными источниками. Принцип *FDMA* заключается в том, что весь выделенный частотный диапазон разделяется между пользователями на равные или неравные частотные полосы. Причем каналы могут быть как симметричными в обоих направлениях, так и асимметричными. Источники информации могут использовать выделенный им частотный ресурс неограниченно по времени, но при этом не должны создавать помехи соседним каналам. Чтобы избежать переходных помех вводят специальный защитный частотный интервал между соседними каналами. Это так называемая “полоса расфильтровки”. Она не используется для передачи информации и поэтому снижает общую пропускную способность имеющегося канала связи.

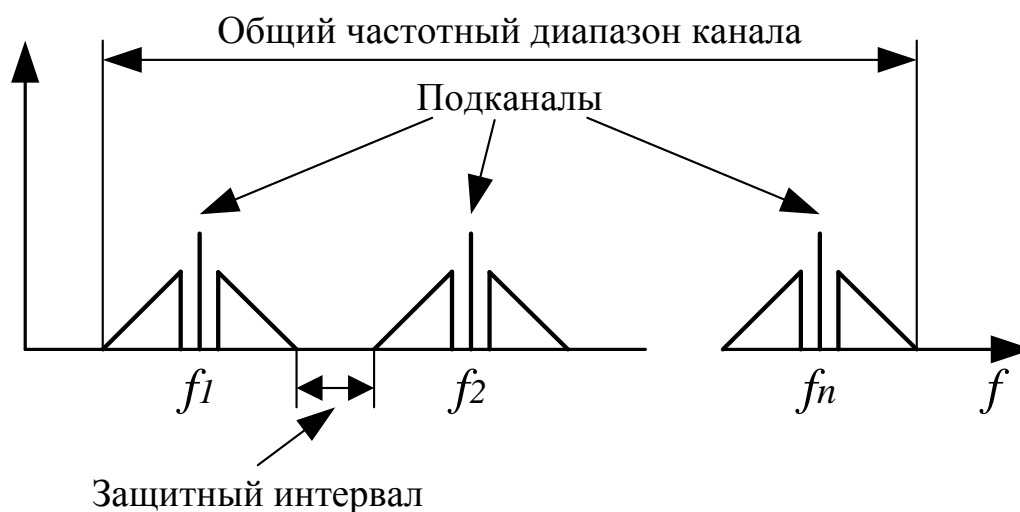


Рисунок 1.1 – Принцип организации *FDMA*

Функциональная схема простейшей системы многоканальной связи с разделением каналов по частоте представлена на рисунке 1.2.

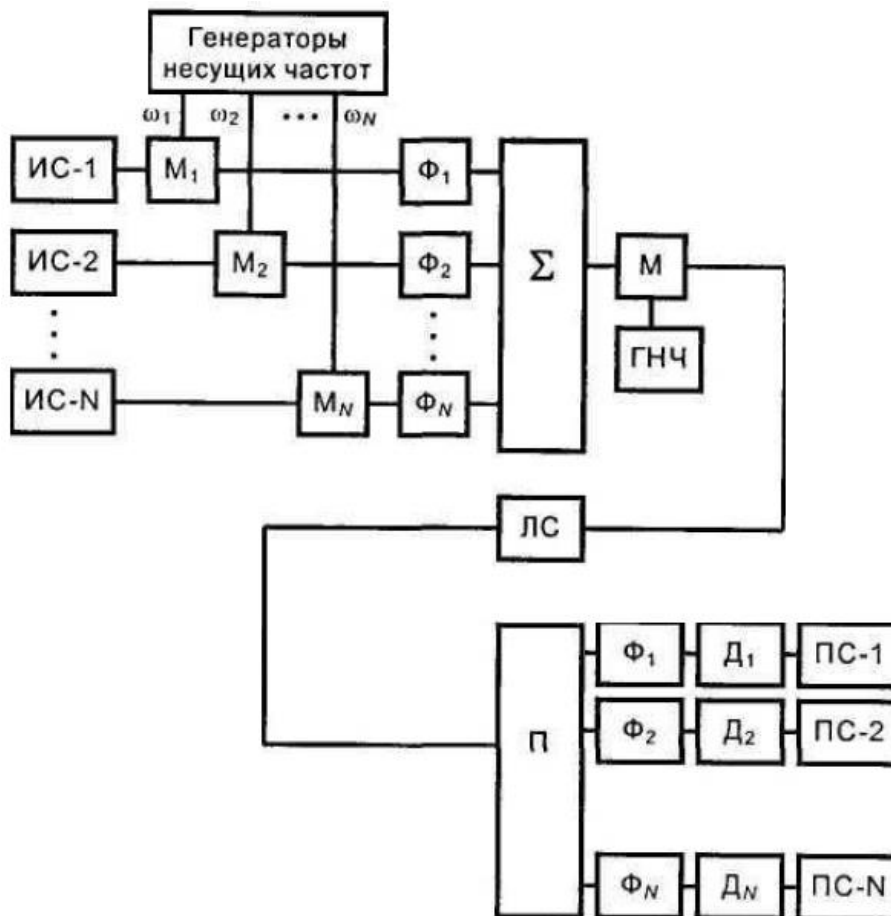


Рисунок 1.2 – Функциональная схема системы многоканальной связи по технологии *FDMA*

Сначала в соответствии с передаваемыми сообщениями первичные (индивидуальные) сигналы (ИС), имеющие энергетические спектры $G_1(\omega), G_2(\omega), \dots, G_N(\omega)$ модулируют несущие частоты ω_k каждого канала. Эту операцию выполняют модуляторы M_1, M_2, \dots, M_N канальных передатчиков. Полученные на выходе частотных фильтров $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$ спектры $g_k(\omega)$ канальных сигналов занимают соответственно полосы частот $\Delta\omega_1, \Delta\omega_2, \dots, \Delta\omega_N$.

Проследим основные этапы образования сигналов, а также изменение этих сигналов в процессе передачи (рисунок 1.2). Будем полагать, что спектры индивидуальных сигналов конечны. Тогда можно подобрать поднесущие частоты ω_k так, что полосы $\Delta\omega_1, \Delta\omega_2, \dots, \Delta\omega_k$ попарно не перекрываются. При этом условии сигналы $S_k(t)$ ($k = 1, \dots, N$) взаимноортогональны. Затем спектры $g_1(\omega), g_2(\omega), \dots, g_N(\omega)$ суммируются (Σ) и их совокупность $g(\omega)$ поступает на групповой модулятор (М). Здесь спектр $g(\omega)$ с помощью колебания несущей частоты (ГНЧ) ω_0

переносится в область частот, отведенную для передачи данной группы каналов, т. е. групповой сигнал $S(t)$ преобразуется в линейный сигнал $S_n(t)$. При этом может использоваться любой вид модуляции.

На приемном конце линейный сигнал поступает на групповой демодулятор (приемник П), который преобразует спектр линейного сигнала в спектр группового сигнала $g^*(\omega)$. Спектр группового сигнала затем с помощью частотных фильтров $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$ вновь разделяются на отдельные полосы $\Delta\omega_k$, соответствующие отдельным каналам. Наконец, каналные демодуляторы (Д) преобразуют спектры сигналов $g_k(\omega)$ в спектры сообщений $G_k^*(\omega)$, предназначенные получателям.

Для упрощения будем считать, что используется амплитудная модуляция с одной боковой полосой (АМ-ОБП) (как это принято в аналоговых системах передачи информации с методом *FDMA*), т. е. $\Delta\omega_k = \Omega$ и $\Delta\omega = N\Omega$.

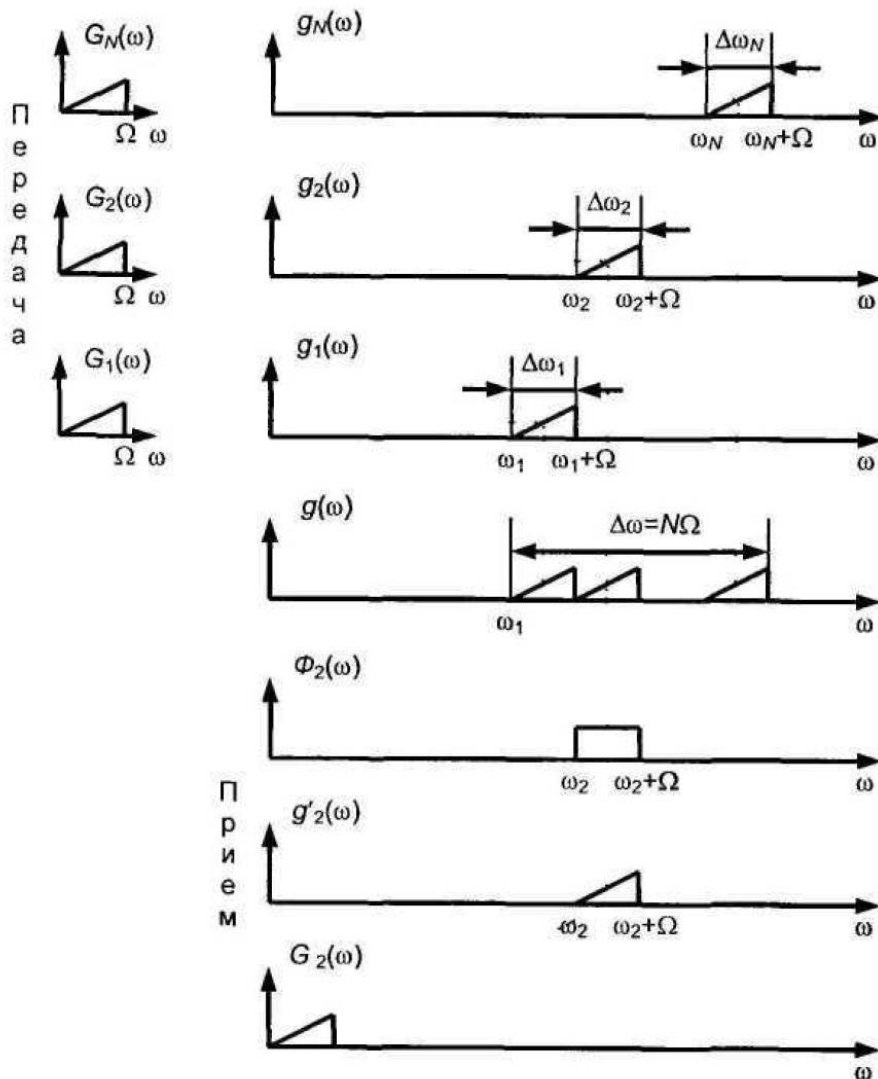


Рисунок 1.3 – Этапы преобразования спектров сигналов в системе по технологии *FDMA*

Из приведенных пояснений легко понять смысл частотного способа разделения каналов. Поскольку всякая реальная линия связи обладает ограниченной полосой пропускания, то при многоканальной передаче каждому отдельному каналу отводится определенная часть общей полосы пропускания. На приемной стороне одновременно действуют сигналы всех каналов, различающиеся положением их частотных спектров на шкале частот. Чтобы без взаимных помех разделить такие сигналы, приемные устройства должны содержать частотные фильтры. Каждый из фильтров Φ_k должен пропустить без ослабления лишь те частоты $\omega \in \Delta\omega_k$ которые принадлежат сигналу данного канала, частоты сигналов всех каналов $\omega \notin \Delta\omega_k$ фильтр должен подавить. На практике это невыполнимо. Результатом являются взаимные помехи между каналами. Они возникают как за счет неполного сосредоточения энергии сигнала k -го канала в пределах заданной полосы частот $\Delta\omega_k$, так и за счет неидеальности реальных полосовых фильтров. В реальных условиях приходится учитывать также взаимные помехи нелинейного происхождения, например из-за нелинейности характеристик группового канала.

Для снижения переходных помех до допустимого уровня приходится вводить защитные частотные интервалы $\Delta\omega_{\text{защ}}$ (рисунок 1.4).

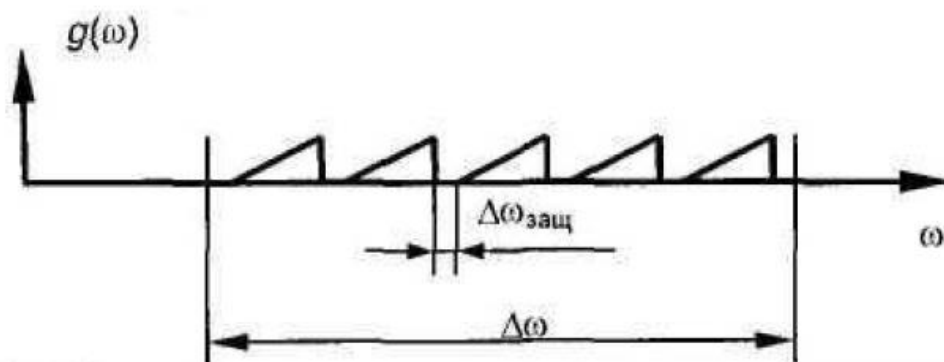


Рисунок 1.4 – Спектр группового сигнала с защитным интервалом

Так в системах многоканальной телефонной связи каждому телефонному каналу выделяется полоса частот 4 кГц , хотя частотный спектр передаваемых звуковых сигналов ограничивается полосой от 300 до 3400 Гц , т. е. ширина спектра составляет примерно $3,1 \text{ кГц}$. Между полосами частот соседних каналов предусмотрены интервалы шириной по $0,9 \text{ кГц}$, предназначенные для снижения уровня взаимных помех при “расфильтровке” сигналов. Это означает, что в многоканальных системах связи с методом *FDMA* эффективно используется лишь около 80% полосы пропускания линии связи. Кроме того, необходимо обеспечить высокую степень линейности всего тракта группового сигнала.

В рассмотренном случае система с частотным уплотнением каналов имеет две степени модуляции: модуляция первичных поднесущих информационными сигналами отдельных каналов и модуляция основной несущей суммой сигналов модулированных поднесущих. Возможно построение систем по более сложным схемам, чем представленная на рисунке 1.3, хотя их суть работы фактически остается неизменной: групповой сигнал формируется из канальных. В простейшем варианте канальный сигнал получается путем модуляции первичной поднесущей исходным информационным сигналом, а групповой – путем модуляции несущего колебания суммой канальных. Такой групповой сигнал называется первичным. Если сформировать описанным способом несколько первичных групповых сигналов с разными несущими (вторичными поднесущими) и обеспечить такой разнос по частоте между ними, чтобы их спектры не перекрывались, то из таких первичных групповых сигналов можно сформировать вторичный канальный сигнал. Точно так же можно получить третичный, четверичный и т. д. групповые сигналы, которые вводятся в волноводную среду.

Применение технологии FDMA в стандартах сотовой связи

Метод *FDMA* используется как в аналоговых системах связи, так и в цифровых обычно наряду вместе с другими методами множественного доступа *TDMA* (*Time Division Multiple Access* – множественный доступ с разделением по времени) и *CDMA* (*Code Division Multiple Access* – множественный доступ с кодовым разделением). В сотовой связи *FDMA* применяется во всех стандартах: *NMT* (*Nordic Mobile Telephone*), *GSM* (*Global System for Mobile Communications*), *UMTS* (*Universal Mobile Telecommunications System*), *LTE* (*Long Term Evolution*), *Mobile WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). Такое широкое распространение *FDMA* в первую очередь обусловлено тем, что все системы сотовой связи используют радио соединение на участке между мобильной станцией и базовой, а частота – это самый важный и ценный ресурс такого соединения. Дело в том, что в отличие от проводных соединений, доступ к которым имеют лишь абоненты данной сети, в радио соединениях доступ к эфиру имеют одновременно несколько абонентов/операторов систем сотовой связи и они не могут работать на одной частоте в одной точке пространства. В связи с этим появляется необходимость в разделении всего имеющегося ресурса на частотные полосы.

В цифровых системах связи вводится понятие ортогональных несущих колебаний удовлетворяющих условию ортогональности

$$\int_0^{\tau} \cos(2\pi f_1 t + \varphi) \cdot \cos(2\pi f_2 t) \cdot dt = \int_0^{\tau} \sin(2\pi f_1 t + \varphi) \cdot \sin(2\pi f_2 t) \cdot dt = 0,$$

где τ – длительность бита, f_1, f_2 – частоты несущих колебаний; φ – начальная фаза колебания.

При этом доказывается, что разнос частот несущих $\Delta f = f_2 - f_1$, обеспечивающий ортогональность колебаний, зависит от длительности бита τ и способа приема цифровых сигналов.

При когерентном приеме, когда опорные генераторы приемника устанавливаются с точностью до частоты и фазы опорных генераторов передатчика разнос частот должен удовлетворять соотношению

$$\Delta f = k/2\tau,$$

где $k = 1, 2, \dots$ – любое целое число.

При некогерентном приеме, когда опорные генераторы приемника устанавливаются только с точностью до частоты опорных генераторов передатчика разнос частот должен удовлетворять соотношению

$$\Delta f = k/\tau.$$

Естественно, что “расфазировка” колебаний опорных генераторов передатчика и приемника приведет к потере мощности принятого сигнала и снижению помехоустойчивости, поэтому при некогерентном приеме каждый канал несущей частоты выполняют по квадратурной схеме [3]. При этом, канал каждой несущей разветвляется на синфазный и квадратурный и таким образом выделяются квадратурные проекции сигнала. Далее выделенные проекции возводятся в квадрат и суммируются. В результате, при совпадении несущей частоты с частотой канала приема на выходе получаем реакцию пропорциональную “полной мощности” принимаемого сигнала. При несовпадении несущей частоты с частотой канала на выходе канала, в силу ортогональности, получаем почти нулевую шумоподобную реакцию.

Использование ортогональности несущих колебаний обычно ассоциируется с частотной манипуляцией *FSK (Frequency Shift Keying)*, широко используемой в цифровой радиосвязи. В связи с этим на выходе приемной части *FSK* модемов зачастую используют “схему принятия решений”, выделяющую частотный канал

с полезным сигналом. В тоже время ортогональность несущих колебаний удачно сочетается и с технологией *FDMA*.

FDMA часто применяется в совокупности с другими методами разделения каналов. В *GSM* частотный метод разделения применяется вместе с *TDMA*. Весь частотный диапазон разделяется на последовательно пронумерованные частотные симметричные в обоих направлениях полосы, каждый шириной 200 кГц. В свою очередь каждый частотный канал разделяется на 8 таймслотов, в которых уже и передается информация абонентов и системы. Между частотными каналами используется полоса “расфильтровки” для того, чтобы избежать переходных помех. В стандарте *UMTS* также используется *FDMA* вместе с *CDMA*. Однако в этом случае используют более широкие частотные каналы и меньшие полосы “расфильтровки” за счет меньшего уровня излучаемой мощности.

2 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ SIM-МОДЕЛИ СПИ ПО ТЕХНОЛОГИИ FDMA [6,7]

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

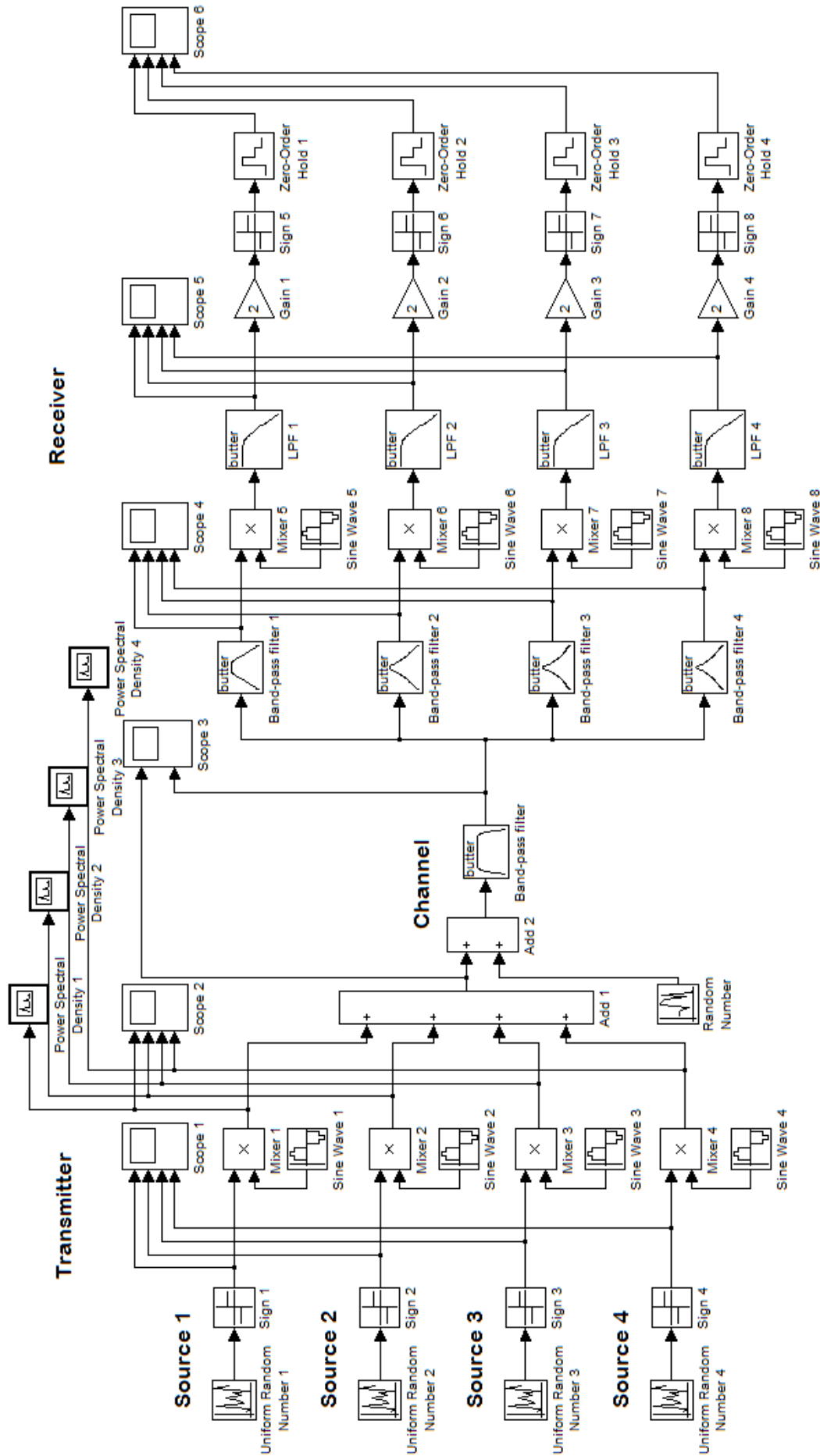


Рисунок 2.1 – Функциональная Sim-модель СПИ по технологии FDMA

Приведем краткое описание работы *СПИ* по технологии *FDMA* на основе *Sim*-модели представленной на рисунке 2.1.

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

Передатчик (*Transmitter*, см. рисунок 2.2) состоит из нескольких источников сигнала (*Source*), в виде блоков *Uniform Random Number* и *Sign*, смесителей (*Mixer*) (блок *Product*), гетеродинов (блок *Sine Wave*) и сумматора каналов (блок *Add*).

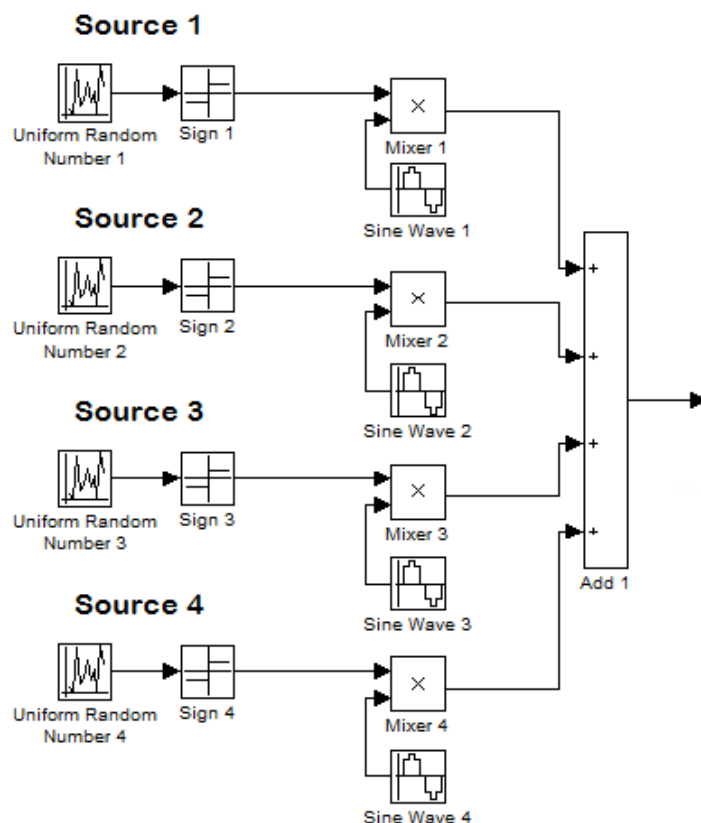


Рисунок 2.2 – *Sim*-модель передатчика

Входные потоки данных реализуется блоком источника случайного сигнала с равномерным распределением (*Uniform Random Number*), на выходе которого включен блок определения знака сигнала (*Sign*). Изменяя параметры блока источника *Seed* и *Sample time*, задается вид случайной последовательности и длительность импульсов. Для каждого из источников выбираются разные значения параметра *Seed*, тем самым задавая вид случайной последовательности. Модуляторы реализованы на основе умножителей (*Product, Mixer*), на первые входы которых подаются модулирующие последовательности прямоугольных импульсов, а на вторые входы умножителей поступают сигналы с опорных генераторов несущей частоты (*Sine Wave*). Несущие частоты подбираются так,

чтобы полосы сигналов не перекрывались. При этом условии сигналы взаимноортогональны. Выходным блоком модуляторов является сумматор (*Add*).

Канал связи с аддитивным шумом (*Channel*) состоит из сумматора (*Add*) на один вход которого подается сигнал на несущей частоте, а на другой вход подается случайная импульсная последовательность (блок *Random Number*), которая используется в качестве имитатора шумов.

Приемник (*Receiver*, см. рисунок 2.3) состоит из набора полосовых фильтров (*Band-Pass Filter*) (блоки *Analog Filter Design*), смесителей (*Mixer*) (блок *Product*), гетеродинов (блок *Sine Wave*), набора фильтров нижних частот (*LPF – Low-Pass Filter*) (блоки *Analog Filter Design*), усилителей (блок *Gain*), блоков нормировки уровня сигнала (*Sign*) и экстраполяторов (блок *Zero-Order Hold*).

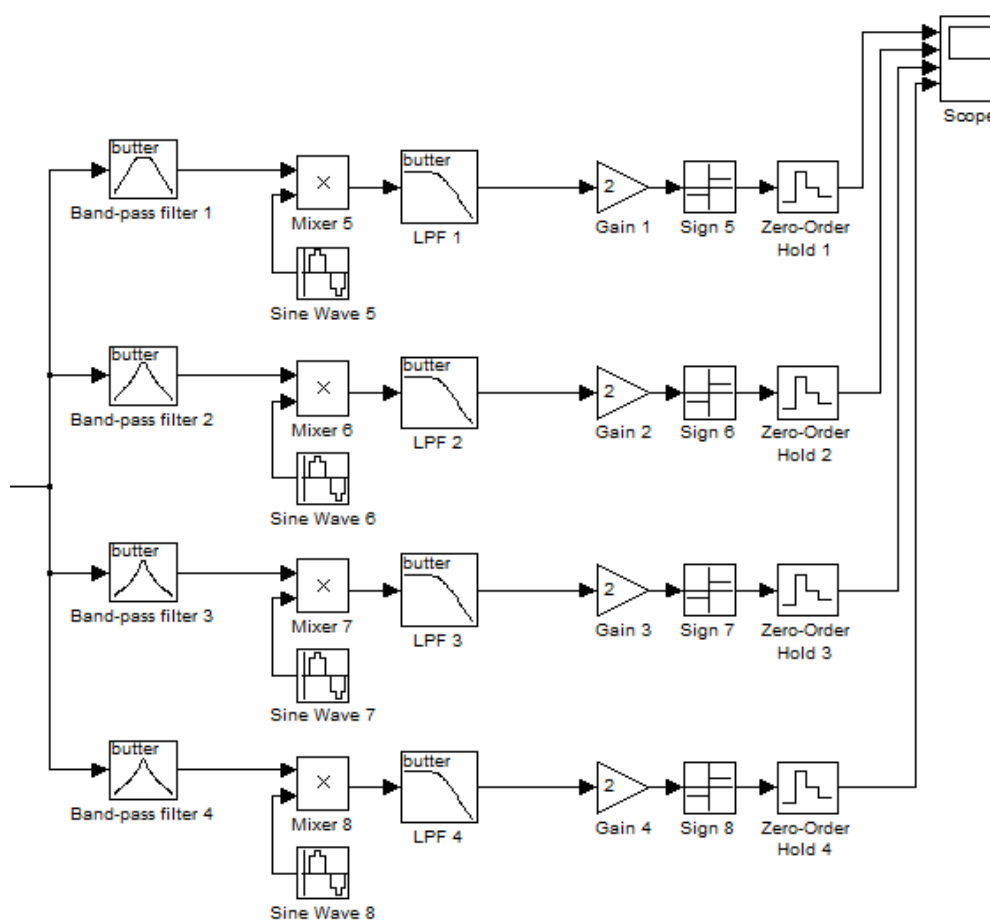


Рисунок 2.3 – Sim-модель приемника

Входные полосовые фильтры (*Analog Filter Design, Band-Pass Filter*) на приемной части селективируют (фильтруют) полезные сигналы, выделяя информацию с нужного канала. Поэтому необходимо настроить центральную частоту полосового фильтра на несущую частоту сигнала с нужного канала. Демодуляторы реализованы на основе умножителей (*Product, Mixer*), на первые


входы которых подаются принятые сигналы, а на вторые входы умножителей поступают сигналы с опорных генераторов несущей частоты (*Sine Wave*). С выходов умножителей сигналы поступают на ФНЧ (*Analog Filter Design, LPF – Low-Pass Filter*), которые отфильтровывают высокочастотные гармоники. С выходов ФНЧ сигналы усиливаются блоками *Gain*, поступают на блоки нормирования уровня сигнала (*Sign*) и экстраполируются блоками *Zero-Order Hold*. В качестве условных получателей служит блок осциллографов (*Scope*).

3 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПАКЕТА SIMULINK И ИСПОЛЬЗУЕМЫХ 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).

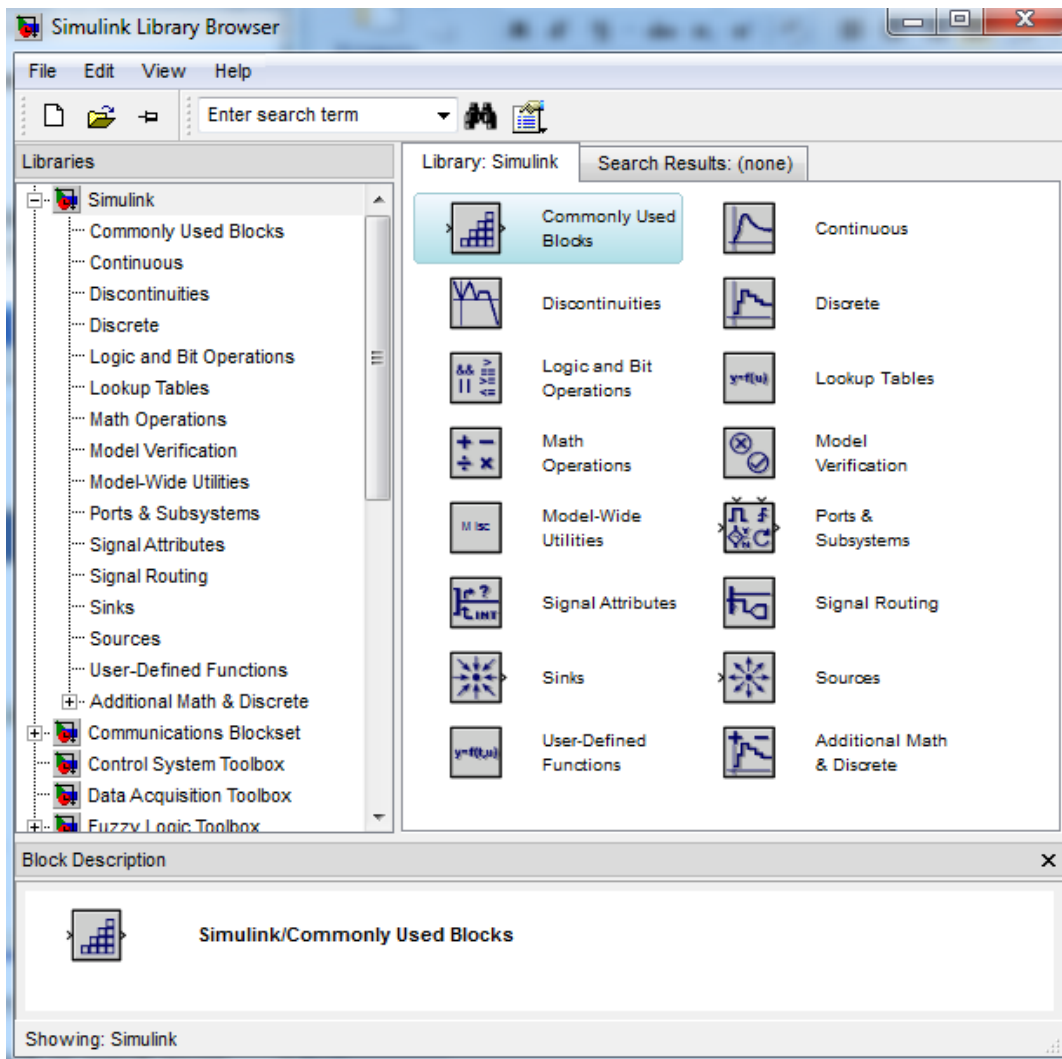


Рисунок 3.1 – Библиотека блоков *Simulink Library Browser*

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 *FDMA*.



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 – 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* –

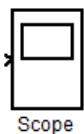
способ выполнения операции, может принимать значения из списка: *Element-wise* – поэлементный; *Matrix* – матричный. Флажок *Show additional parameters* – показать дополнительные параметры. При выставленном флажке отображается окно списка *Output data type mode*, в нашем случае флажок не используется.



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

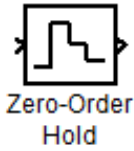
Analog Filter Design – блок аналогового фильтра заданного метода проектирования и типа из подраздела *Filter Design*; подраздела *Filtering*, раздела *DSP Blockset*. Назначение: аналоговая фильтрация низкочастотных составляющих спектра входного сигнала. Параметры блока: *Design method* – метод проектирования,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

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Собрать *Sim*-модель для исследования принципа организации СПИ по технологии *FDMA* 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 *FDMA*.

4. Пронаблюдать и зафиксировать спектры сигналов в характерных точках структуры.

5. Модернизировать собранную *Sim*-модель для исследования некогерентного детектирования принятого сигнала, выставив небольшие (в пределах $10^\circ - 20^\circ$) отклонения начальных фаз в блоках синусоидального сигнала

(*Sine Wave*) на приемной стороне отличной от фаз на передающей стороне. Обойтись без перехода к квадратурной реализации каналов приема несущих. Исследовать влияние отклонения фазы и разноса несущих на помехоустойчивость системы.

6. Пронаблюдать, зафиксировать и пояснить основные осциллограммы, иллюстрирующие работу некогерентной СПИ по технологии *FDMA*.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем основной принцип организации *FDMA*?

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

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

4. Что такое “полоса расфилтровки”?

5. Объяснить, почему в системах многоканальной телефонной связи каждому телефонному каналу выделяется полоса частот 4 кГц ?

6. В чем достоинства и недостатки систем по технологии *FDMA*?

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

8. Опишите принцип организации метода *FDMA* в системах сотовой связи *NMT* и *GSM*?

9. Дать понятие ортогональных несущих колебаний при передаче цифровых сигналов и обосновать возможность применения в технологии *FDMA*.

10. Дать понятия когерентного и некогерентного методов приема цифровых сигналов и обосновать возможность применения в технологии *FDMA*.

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. FDMA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://celnet.ru/FDMA.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.