

Томский университет систем управления и радиоэлектроники

С.И. Богомолов

**Принципы построения инфокоммуникационных  
систем и сетей**

Руководство к лабораторным работам

2016

Министерство образования и науки РФ  
Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Радиотехнический факультет  
Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

«Утверждаю»  
Зав. кафедрой ТОР  
  
\_\_\_\_\_ А.Я. Демидов  
\_\_\_\_\_ 2015 г.

## **Принципы построения инфокоммуникационных систем и сетей**

Руководство к лабораторным работам  
для студентов специальности 090302.65  
Информационная безопасность телекоммуникационных систем

Разработчик:  
доцент кафедры ТОР  
С.И. Богомолов

Томск - 2016 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Общие положения	4
Правила выполнения лабораторных работ	4
Содержание и оформление отчета	5
Защита работы	5
1. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАТОРА SCICOS 7	
Цель работы	7
Общие сведения о пакете SCICOSLAB/SCICOS	7
Начало работы с продуктом SCICOS	8
Создание модели	11
Краткие сведения о M-последовательностях	15
Предварительная подготовка	15
Контрольные вопросы и задания	16
Лабораторное задание	17
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ	30
Цель работы	30
Краткие сведения о псевдослучайных последовательностях	30
Предварительная подготовка	32
Контрольные вопросы и задания	32
Лабораторное задание	34
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ГАУССОВСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ	39
Цель работы	39
Краткие сведения о характеристиках канала передачи	39
Предварительная подготовка	41
Контрольные вопросы и задания	42
Лабораторное задание	44
ЛИТЕРАТУРА	51

# **ВВЕДЕНИЕ**

## ***ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ***

Лабораторный практикум по курсу «Принципы построения инфокоммуникационных систем и сетей» имеет целью закрепление и расширение теоретических знаний студентов при изучении принципов построения и функционирования устройств и систем инфокоммуникационных сетей. В процессе выполнения практикума студенты также знакомятся с методиками исследования основных компонентов и процессов инфокоммуникационных систем, в том числе, и с использованием моделирования устройств и систем связи.

Данный цикл лабораторного практикума, предназначенного для студентов специальности 090302.65, содержит описание следующих работ:

Исследование компонентов систем связи с помощью имитатора Scicos.

Исследования псевдослучайных последовательностей.

Исследование сетей с помощью имитатора Scicos.

Работа «Исследование сетевых компонентов с помощью имитатора Scicos» является вводной и предназначена для получения первичных навыков работы с программным продуктом Scicos. Последующие работы цикла ориентированы на исследование отдельных вопросов функционирования компонентов инфокоммуникационных систем с помощью симулятора Scicos.

## ***ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ***

Перед выполнением работы студенты на этапе предварительной подготовки:

- а) изучают соответствующие разделы теоретического курса;
- б) знакомятся с описанием лабораторной работы и готовят шаблон отчета по лабораторной работе;
- в) выполняют необходимые предварительные расчёты, изложенные в разделе «Предварительная подготовка».

К выполнению лабораторных работ допускается только студенты, выполнившие требования предыдущего раздела, и подтвердившие свою подготовленность при собеседовании с преподавателем.

Лабораторные работы выполняются индивидуально фронтальным методом. При выполнении работ рекомендуется следовать методическим указаниям. Разрешается проведение дополнительных исследований (не в ущерб основному заданию).

В процессе выполнения работы составляется предварительный отчёт, который должен содержать таблицы и графики полученных экспериментально зависимостей.

Если при составлении предварительного отчёта выявится недостаточность или сомнительность полученных данных, то необходимо экспериментально получить недостающие данные и произвести проверку сомнительных результатов.

Работа считается выполненной после утверждения предварительного отчёта преподавателем.

Студенты, не выполнившие работу в часы занятий, выполняют её в специально отведённое время.

### ***СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА***

Отчёт по выполненной работе составляется индивидуально каждым студентом.

Отчёт оформляется на листах формата А4 (достаточно электронной копии в редакторе OpenOffice.org Writer). У осей графиков должна быть проставлены числовые значения и единицы размерности.

Отчёт должен содержать:

- а) цель исследования;
- б) результаты расчётов, полученных на этапе предварительной подготовки;
- в) структурные схемы устройств и систем, характеристик которых исследуются в данной работе;
- г) структурные схемы измерительных установок для исследования характеристик устройств и систем связи;
- д) результаты исследований в виде таблиц, графиков и изображений, получаемых на экранах измерительных приборов;
- е) выводы, полученные на основании анализа расчётных и экспериментальных данных.

### ***ЗАЩИТА РАБОТЫ***

Лабораторная работа считается выполненной после защиты

результатов работы.

При защите результатов работы студент должен представить оформленный отчёт, сохраненные результаты компьютерного эксперимента и продемонстрировать свои знания в следующих разделах работы:

а) структурные схемы исследуемых устройств и систем и основы их функционирования;

б) структурные схемы измерительных установок для исследования характеристик устройств и систем связи и характеристики, которые могут быть получены с помощью данных установок;

в) результаты расчетов предварительной подготовки;

г) теоретическое обоснование полученных экспериментальных зависимостей.

# **1. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАТОРА SCICOS**

## ***ЦЕЛЬ РАБОТЫ***

Целью работы «Исследование компонентов систем связи с помощью имитатора Scicos» является изучение возможностей программного продукта Scicos и получение первичных навыков работы с имитатором Scicos при экспериментальном исследовании характеристик компонентов инфокоммуникационных систем.

## ***ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПАКЕТЕ SCICOSLAB/SCICOS***

Пакет программ Scilab разработан в 1994 году во Франции в национальном исследовательском институте информатики и автоматизации INRIA и Национальной школе дорожного ведомства ENPC.

Scicos (Scilab Connected Object Simulator) – составная часть пакета Scilab. Scicos в составе Scilab включает в себя инструмент редактирования блочных диаграмм и обеспечивает возможность визуального моделирования динамических систем, а также конвертор Matlab. Программа Scicos является расширением пакета ScicosLab и позволяет использовать команды ScicosLab, получать данные от ScicosLab и сохранять результаты в его формате. По своему назначению программа Scicos аналогична пакету визуального моделирования Simulink, входящему в состав Matlab.

Пакет программ ScicosLab представляет собой свободно расширяемую мультиплатформенную среду компьютерной математики, предназначенную для выполнения инженерных и научных вычислений. Scicos включает в себя графический редактор, который может быть использован для создания сложных моделей с помощью соединения блоков, которые представляют либо основные функции, определяемые библиотекой Scicos, либо функции, определяемые пользователем. Большой класс гибридных систем может быть смоделирован данным пакетом. Так же ScicosLab включает в себя несколько дополнительных приложений к нему, например Modnum Toolbox – набор инструментов для симуляции систем связи.

## **НАЧАЛО РАБОТЫ С ПРОДУКТОМ SCICOS**

Скачать дистрибутив ScicosLab 4.4.1 можно на странице загрузки официального сайта: <http://www.scicos.org/downloads.html>. Далее запускается установочный файл и остается следовать указаниям установщика. Поддерживаются операционные системы Windows, Mac OS и Linux. К сожалению, русификация для данной программы не предусмотрена.

Для создания диаграмм моделирования систем связи используется приложение Modnum. Скачать дистрибутив данного свободно распространяемого программного обеспечения для своей операционной системы можно со страницы: [http://www.scicos.org/ScicosModNum/modnum\\_web/web/eng/eng.htm](http://www.scicos.org/ScicosModNum/modnum_web/web/eng/eng.htm).

Для установки приложения необходимо запустить файл `modnum_43b_scicoslab_bin.exe` и следовать дальнейшим указаниям. После завершения установки необходимо указать путь в Scicoslab к папке с данной программой (рис.1.1).

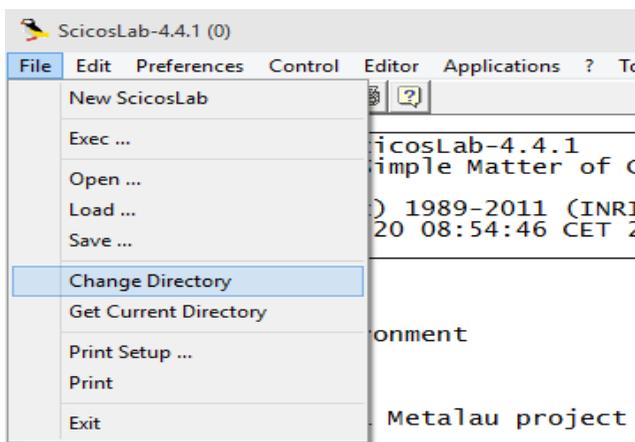


Рис.1.1. Изменение текущей директории

Затем запускается компилятор (`builder.sce`) с помощью команды меню `File/Exec` (рис. 1.2)

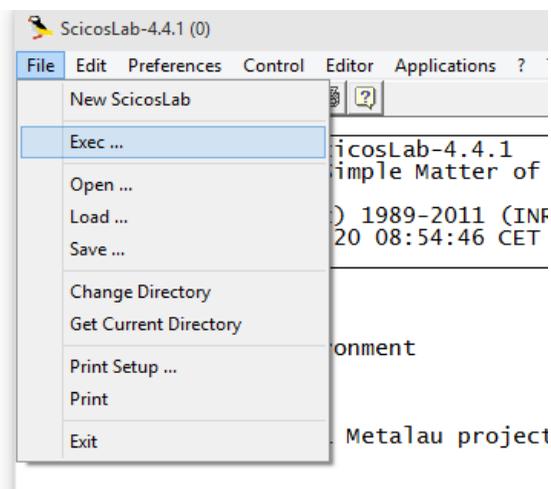


Рис.1.2. Запуск компилятора

Запуск Scicos осуществляется в командном окне Scicoslab командами меню Applications/Scicos (рис. 1.3).

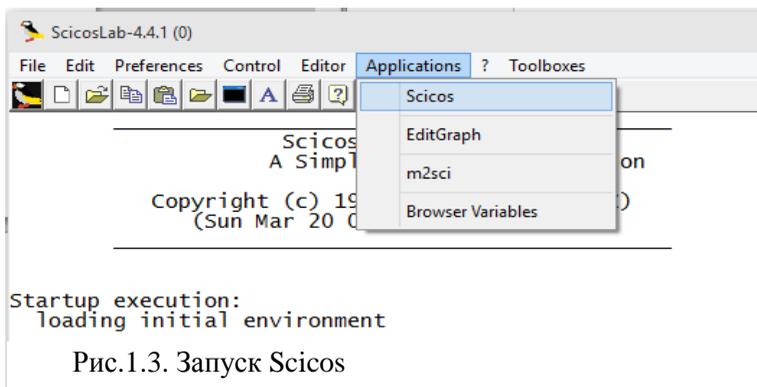


Рис.1.3. Запуск Scicos

Чтобы вызвать палитру компонентов Scicos, необходимо воспользоваться командой меню Palette и выбрать Pal Tree, после чего появится дерево компонентов, и можно будет выбирать необходимые блоки (рис.1.4).

Команда Palettes позволяет выбрать одну из палитр и раскрыть набор блоков, не переходя к дереву палитры.

В библиотеку компонентов входят следующие разделы:

- Sources – Источники сигналов;
- Sinks – Регистрирующие устройства;
- Events – Обработка событий;
- Branching – Маршрутизация сигналов;
- Linear – Линейные системы;
- Non Linear – Нелинейные системы;
- Matrix – Матричные операции;
- Integer – Целочисленные операции;
- Iterators – Циклические конструкции;
- Modelica – Программа Modelica;
- Lookup Tables – Задание табличных значений;

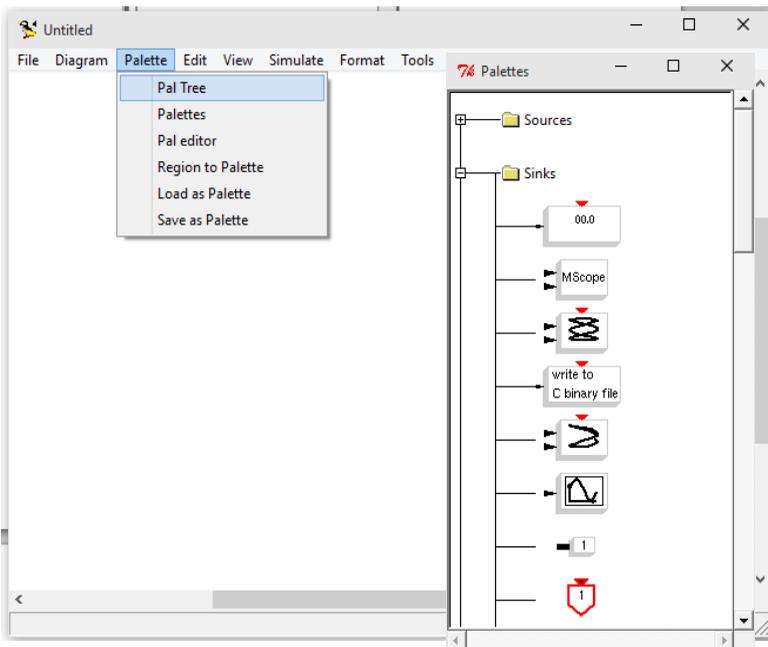


Рис.1.4. Выбор дерева палитры компонентов

- Threshold – Порог (Обнаружение перехода через ноль);
- Others – Другие блоки;
- DemoBlocks – Демонстрационные блоки;
- OldBlocks – Устаревшие версии блоков.

После установки и запуска Modnum Toolbox в списке палитр появляется палитра Modnum, содержащая несколько дополнительных наборов блоков для симуляции коммуникаций.

Палитра компонентов Modnum состоит из следующих наборов блоков:

- Sinks – дополнительные регистрирующие устройства. Здесь содержатся, анализатор спектра, построитель глазковых диаграмм и др.;
- Sources – дополнительные источники сигналов, например генераторы псевдослучайных последовательностей или двоичных случайных чисел;
- Tools – различные инструменты;
- Old – старые блоки;
- Communications – коммуникации, например модуляторы и демодуляторы QPSK, X-QAM, X-PSK, симулятор канала с шумом и т. п.;
- Filter – фильтры;
- Integer – блоки целочисленных операций, например конверторы целых чисел из двоичной системы счисления в десятичную и наоборот;
- NonLinear – нелинейные системы, например аналого-цифровой преобразователь; PLL (Phase Locked Loop) – блоки фазовой автоподстройки частоты;
- Signal – обработка сигналов, например блок быстрых преобразований Фурье.

### ***СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ***

Для выполнения моделирования в Scicos необходимо выбрать стандартные блоки для создания модели, организовать связь между ними и установить необходимые параметры блоков и модели, после чего организовать вывод результатов и запустить симуляцию.

Рассмотрим это на простом примере. Выведем сигнал синусоиды и случайного сигнала на осциллограф.

Для этого вынесем необходимые блоки из палитры (рис 1.5):  
Из раздела Sources:

- RAND\_m (генератор случайного сигнала);
- GENSIN\_f (генератор гармонического сигнала);

CLOCK\_c (блок активации)

Для вывода информации из раздела Sinks:

CMSCOPE (многоканальный осциллограф).

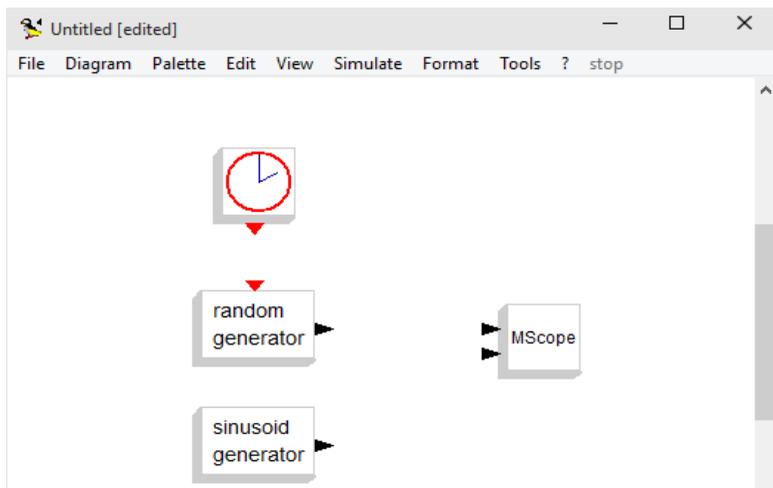


Рис.1.5. Пример добавления блоков

Для переноса блока в модель, необходимо перетащить его из палитры, удерживая левую кнопку мыши, в нужное место. Для соединения блоков необходимо указать курсором на выход блока, и, не отпуская левую кнопку мыши, провести линию к входу соседнего блока, а не наоборот. По умолчанию Scicos проводит соединения блоков по прямой линии (по кратчайшему расстоянию). Чтобы создавать «более красивые» прямоугольные связи, необходимо во время проведения соединения щёлкнуть левой кнопкой мыши, как правило, Scicos сам определяет точки изгибов. Если один блок должен быть соединён с несколькими другими, необходимо создать ответвление(я) от основной связи. Для этого нужно щёлкнуть дважды левой кнопкой мыши на основной линии и далее «тянуть» побочную связь мышью в нужное место.

На рис. 1.5 видно, что блоки содержат два вида соединений: регулярные (чёрные линии) и управляющие (красные линии). Регулярные соединения необходимы для передачи данных, а

управляющие – для передачи активирующих воздействий.

Собрать схему как указано на рис. 1.6. Для корректного отображения графиков результата моделирования задать необходимые параметры оси ординат осциллографа. Для этого необходимо дважды щелкнуть правой кнопкой мыши на блок. Нужные параметры приведены на рис. 1.7

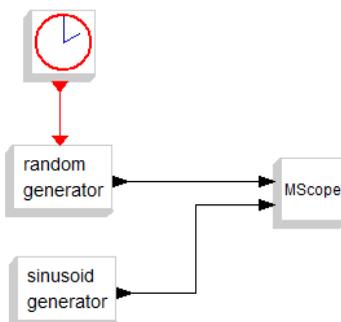


Рис.1.6. Собранная схема

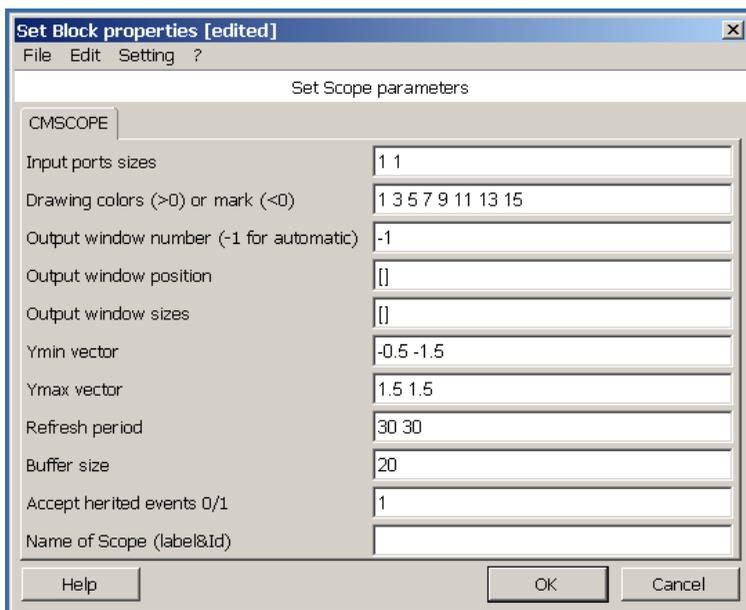


Рис.1.7 Параметры осциллографа

Установки общих параметров моделирования вызываются поочередным вызовом вкладок Simulate/Setup и представлены на рисунке 1.8.

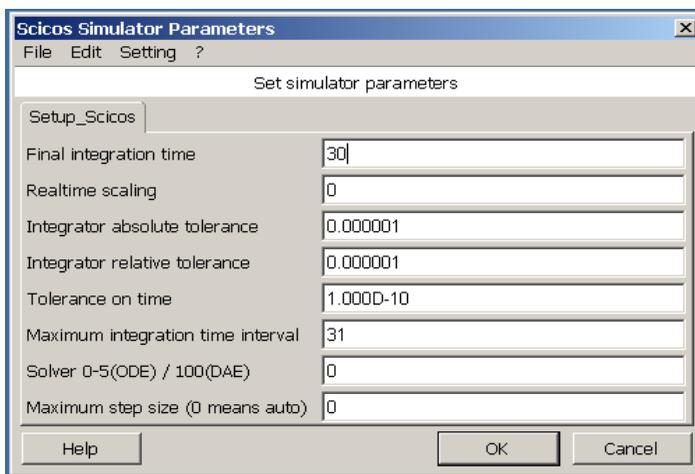


Рис.1.8 Параметры моделирования

Запуск модели на выполнение осуществляется командами меню Simulate/Run. После запуска можем наблюдать результаты моделирования сигналов (рис. 1.9).

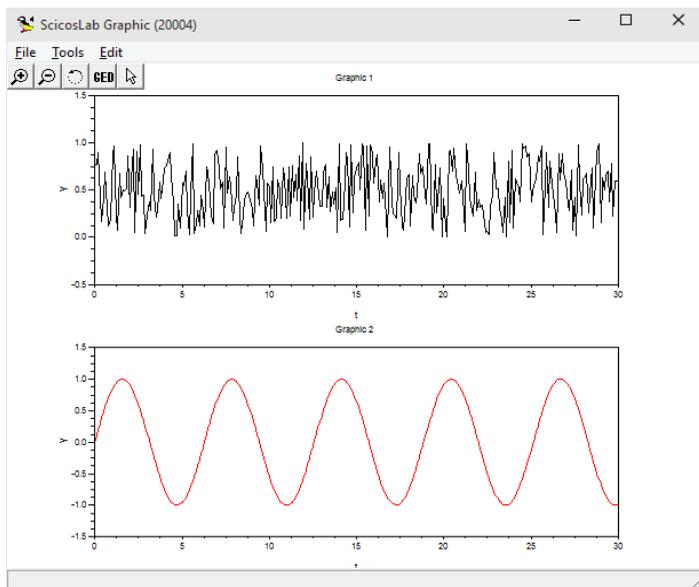


Рис.1.9 Результаты моделирования сигналов

Этих навыков достаточно для начала работы в программе. В ходе дальнейшего изучения некоторые моменты будут рассмотрены более подробно.

### ***КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О М-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ***

М-последовательность или последовательность максимальной длины – псевдослучайная двоичная последовательность, порожденная регистром сдвига с линейной обратной связью и имеющая максимальный период.

Основные свойства М-последовательностей:

М-последовательности являются периодическими с периодом  $N$ , равным  $N=2^n-1$ , где  $n$  – разрядность регистра;

М-последовательности на периоде  $N$  содержат все  $n$ -разрядные комбинации двоичных символов, кроме нулевой;

любые комбинации символов длины  $n$  на длине одного периода М-последовательности за исключением комбинации из  $n$  нулей встречаются не более одного раза. Комбинация из  $n$  нулей является запрещённой: на её основе может генерироваться только последовательность из одних нулей;

сумма по модулю 2 любой М-последовательности с её произвольным циклическим сдвигом также является М-последовательностью.

### ***ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА***

Ознакомиться с основами функционирования пакета имитационного моделирования Scicoslab и возможностями визуального моделирования динамических систем по материалам рекомендуемой литературы [1, 2], данного пособия и информации, встроенной в справочную документацию программного продукта Scicoslab.

Оригинальная информация о составе, функционировании и версиях обновления и развития продукта Scicos размещены на сайте разработчиков [3].

По справочной документации пакета Scicoslab ознакомиться с параметрами моделей блоков, используемых при выполнении данной работы.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ**

1. Перечислить основные характеристики М-последовательностей.
2. Раскрыть содержание параметров моделей импульсного и тактирующего генераторов.
3. Раскрыть содержание параметров модели генератора гармонических колебаний.
4. Раскрыть содержание основных параметров модели многоканального осциллографа.
5. Раскрыть содержание основных параметров модели анализатора спектра.
6. Раскрыть содержание параметров модели блока квантования.
7. Раскрыть содержание параметров модели аналого-цифрового преобразователя.
8. Раскрыть содержание параметров модели цифро-аналогового преобразователя.
9. Раскрыть содержание параметров модели фильтра с характеристикой приподнятого косинуса.
10. Раскрыть содержание параметров модели дисплея.
11. Раскрыть содержание параметров моделей сумматора и интегратора.
12. Раскрыть содержание основных параметров блока моделирования
13. Для чего используется постпроцессорная обработка результатов моделирования? Показать на примере.
14. Раскрыть основные операции преобразования аналогового сигнала в цифровой.
15. Указать основные требования к операции дискретизации аналогового сигнала.
16. Какие параметры влияют на характеристики квантования?
17. Из каких соображений выбирается фильтр, используемый для восстановления дискретизированных ранее сигналов?

## ***ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ***

1. Ознакомиться с основами функционирования пакета имитационного моделирования Scicoslab и возможностями визуального моделирования динамических систем по материалам рекомендуемой литературы [1, 2], данного пособия и информации, встроенной в справочную документацию программного продукта Scicoslab.

Оригинальная информация о составе, функционировании и версиях обновления и развития продукта Scicos размещены на сайте разработчиков [3].

По справочной документации пакета Scicoslab ознакомиться с параметрами моделей блоков, используемых при выполнении данной работы.

Запустить программу ScicosLab. На вкладке Toolboxes выбрать пакет Modnum. На вкладке Applications выбрать приложения Scicos.

Выполнить операции по подготовке к моделированию, рассмотренные в разделе «Создание модели», при необходимости обращаясь к справочной системе Scicos.

2. На рабочем поле Scicos собрать схему для исследований, приведенную на рис.1.10. Для этого на вкладке Palette открыть библиотеку компонентов ScicosLab. Часы активации Activation clock и генератор импульсов Pulse Generator размещены в разделе Sources библиотеки, многоканальный осциллограф MScore – в разделе Sinks, элемент задержки Delay operator – в разделе Linear, анализатор спектра Spectrum analyzer scope block – в разделе Modnum/Sinks.

Параметры блока активации (тактирования) анализатора спектра установить в соответствии со значениями, приведенными на рис.1.11а, блока активации элемента задержки - в соответствии с параметрами рис.1.11б. Параметры анализатора спектра, блока задержки и многоканального осциллографа установить в соответствии со значениями, приведенными, соответственно, на рис.1.12...рис.1.14. Параметры импульсного генератора, формирующего последовательность импульсов, установить следующими: единичной амплитуды без задержки во времени со скважностью 2 и периодом повторения 2 с.

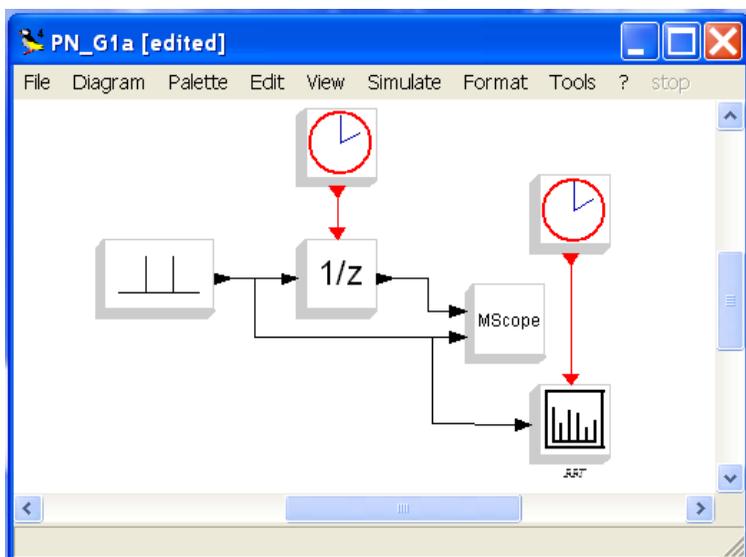


Рис.1.10. Схема для исследования характеристик сигналов

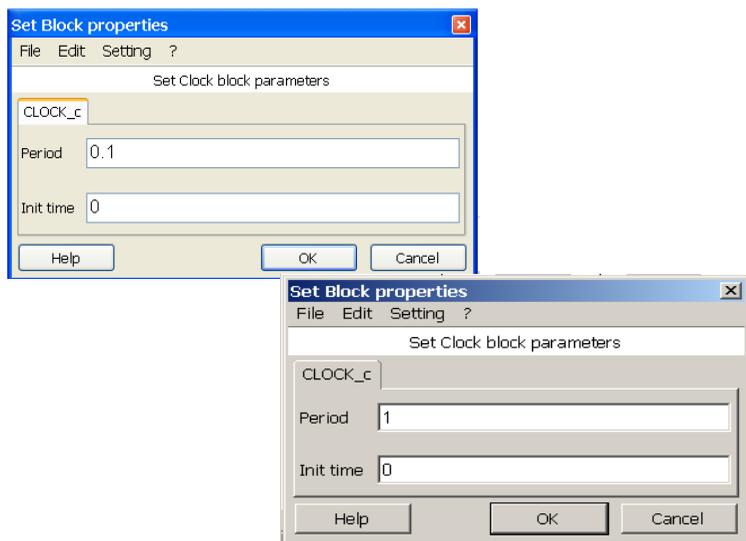


Рис.1.11 Установки часов активации блоков FFT и 1/z

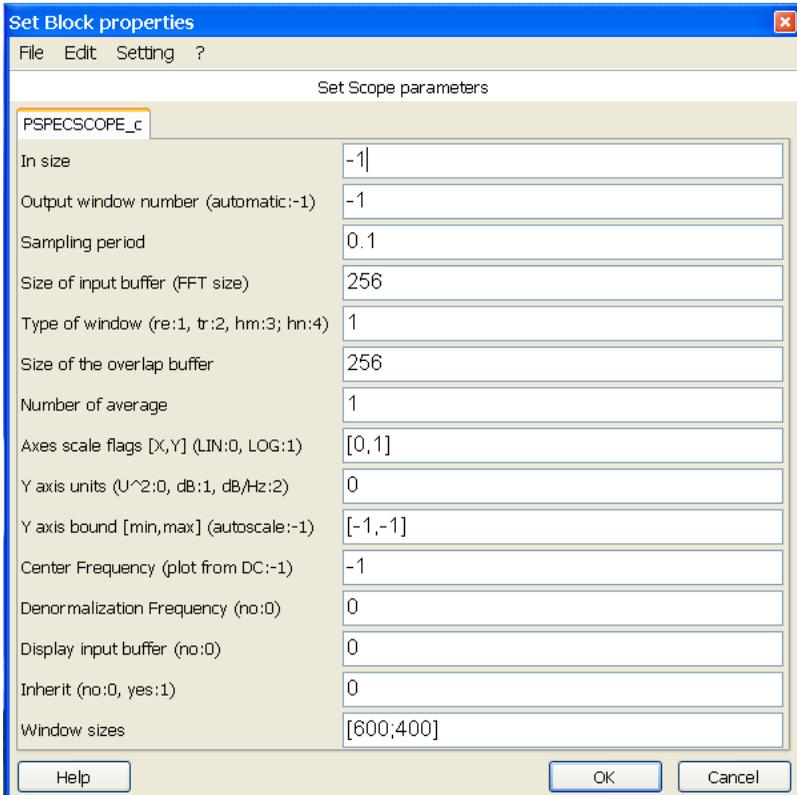


Рис.1.12. Установки анализатора спектра

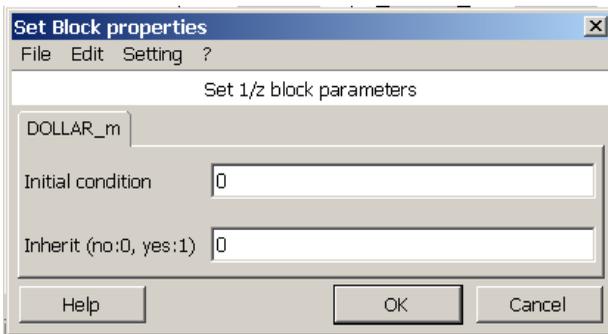


Рис.1.13. Установки блока задержки

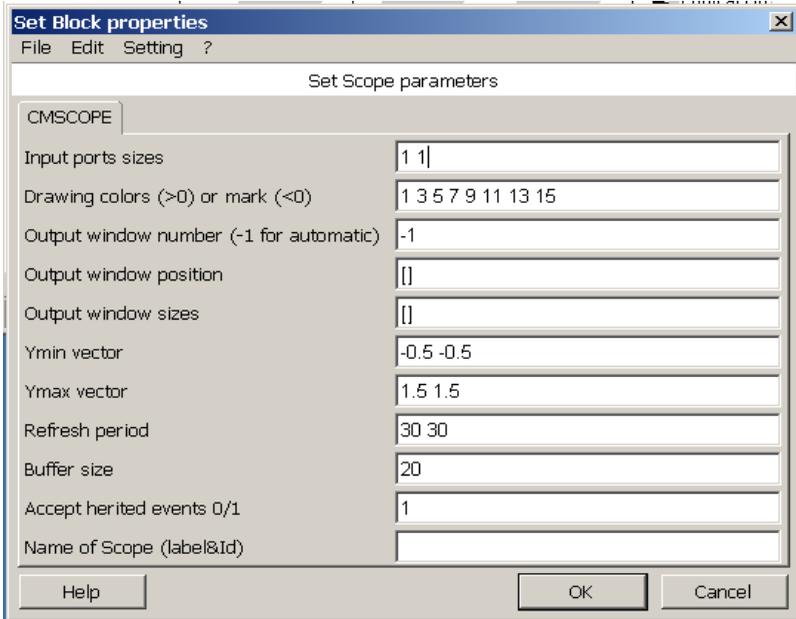


Рис.1.14. Установки многоканального осциллографа

Параметры моделирования исследуемой схемы установить в соответствии с данными, указанными на рис.1.15 (вкладка Simulate/Setup).

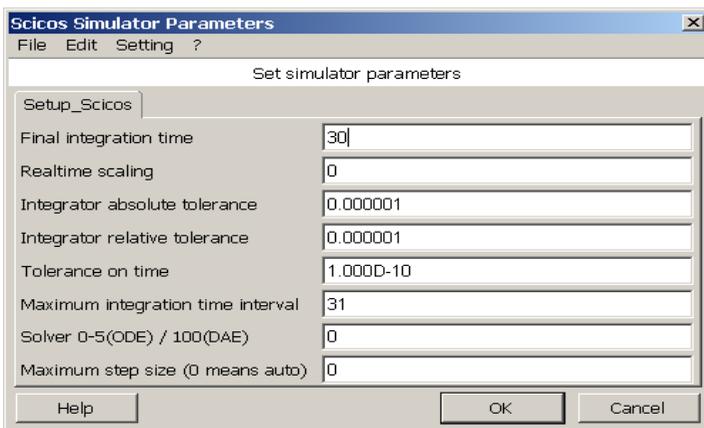


Рис.1.15. Общие параметры моделирования

3. Запустить процесс моделирования (вкладка Simulate/Run). Результаты моделирования будут представлены на графиках, отображающих экраны измерительных приборов. Для корректного представления результатов наблюдения целесообразно проводить постпроцессорную обработку графиков (указания стиля построения графика, уточнения масштаба осей и эффективных пределов вывода результирующих характеристик...). Например, для ступенчатой интерполяции вывода результатов моделирования следует на соответствующем графическом окне вызвать графический редактор (GED), и на вкладке Style в окне Polyline style выбрать staircase. Пример редактирования графиков приведен на рис.1.16. Для эффективного представления графических материалов рекомендуется выбирать масштабы осей

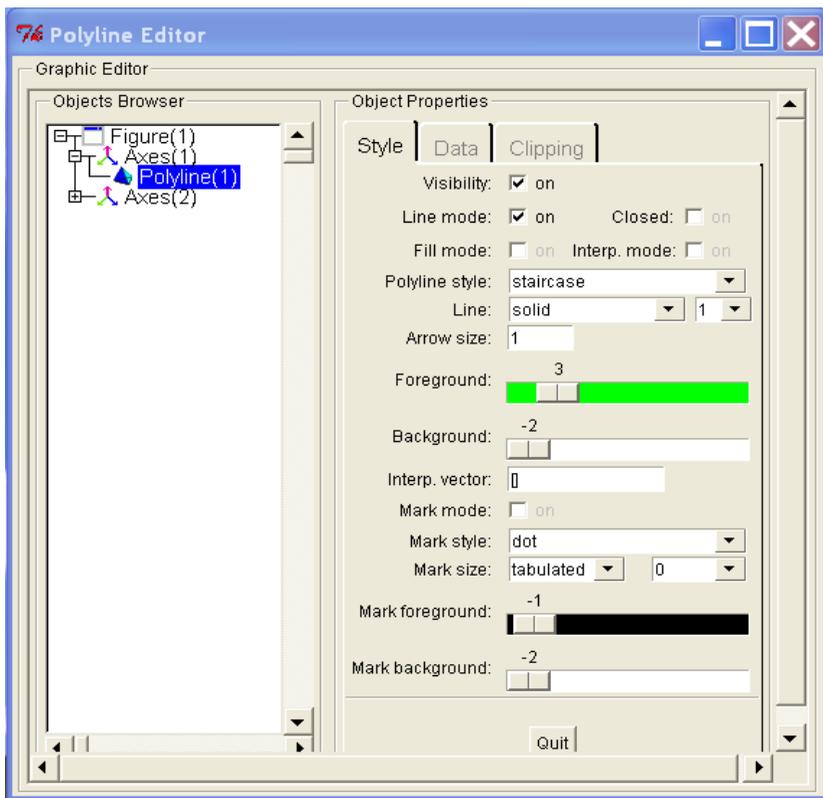


Рис.1.16. Окно редактора графики

У и пределы вывода результирующих характеристик таким образом, чтобы графики занимали не менее 80% площади окна.

В отчете по работе приводить схемы исследований, первоначальные установки блоков (в дальнейшем, если параметры блоков или моделирования будут изменяться, достаточно только указаний на конкретные изменения) и результаты исследований в виде соответствующих графиков.

4. Изменить период часов активации блока задержки вдвое (в обе стороны). Запустить моделирование. Обосновать полученные результаты. Восстановить исходный период.

5. Повторить то же самое для часов активации анализатора спектра. По окончании исследований восстановить период. Оценить влияние этого параметра на результат измерений.

6. Собрать схему генератора  $m$ -последовательности ( $m=3$ ) в соответствии со схемой, приведенной на рис.1.17. Блок суммирования по модулю 2 (Logical operation) размещен в разделе Others библиотеки компонентов.

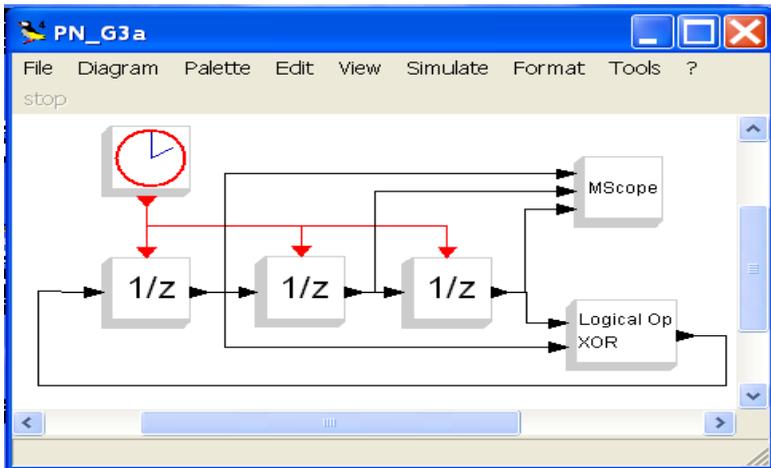


Рис.1.17. Генератор  $m$ -последовательности ( $m=3$ )

Начальное состояние каждого элемента задержки устанавливать равным значению соответствующего символа двоичного кода номера рабочего места (старшему разряду полагать соответствующим крайний левый блок).

Установки блока логического суммирования выполнить в соответствии с рис.1.18. Период активации на каждом рабочем месте увеличить на величину  $\Delta T$ , равную  $\Delta T=0,1 \cdot N_0$ , где  $N_0$  - номер рабочего места. Параметры моделирования оставить прежними.

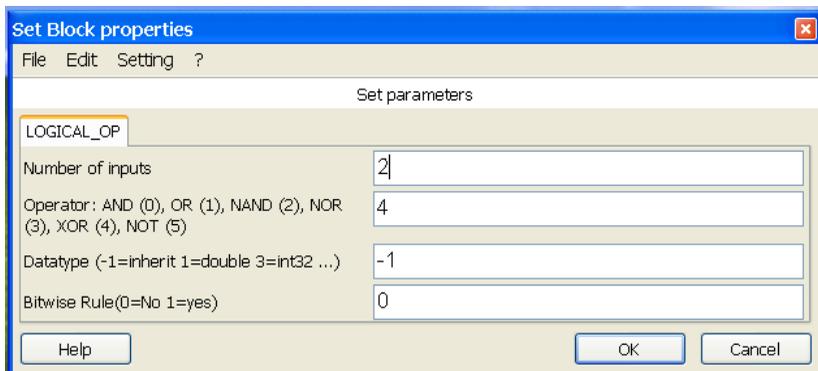


Рис.1.18. Установки сумматора по модулю 2

7. Запустить процесс моделирования. Зафиксировать коды всех комбинаций состояний элементов памяти (на интервале периодичности, начиная с исходного кода). Убедиться, что формируемый сигнал соответствует свойствам  $m$ -последовательности. Определить минимальный интервал повторения  $m$ -последовательности.

8. Подключить анализатор спектра к выходу генератора. Выполнить моделирование. Сравнить со спектром сигнала, формируемым устройством, приведенным на рис.1.10.

9. Собрать схему генератора  $m$ -последовательности ( $m=5$ ) в соответствии со схемой, приведенной на рис.1.19.

Начальное состояние каждого элемента задержки устанавливать равное значению соответствующего символа двоичного кода номера рабочего места.

10. Повторить операции по п.п.7 и 8 для схемы, приведенной на рис.1.19. При необходимости увеличить время анализа (для определения периодичности процесса).

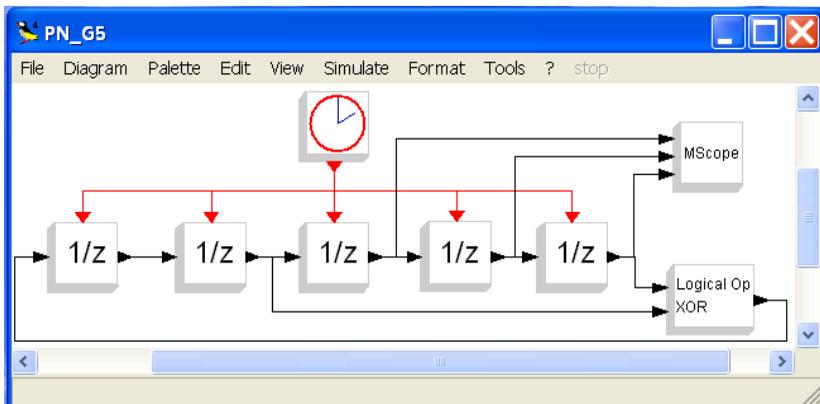


Рис.1.19. Генератор  $m$ -последовательности ( $m=5$ )

11. Собрать схему для исследований модели преобразования аналогового сигнала в цифровой в соответствии со схемой, приведенной на рис.1.20. Генератор сигналов Sinusoid Generator размещен в разделе Sources библиотеки, блок дискретизации Sample and hold – в разделе Linear, блок квантования Quantization – в разделе Non-linear, блок АЦП Analog to Digital Converter block – в разделе Modnum/NonLinear.

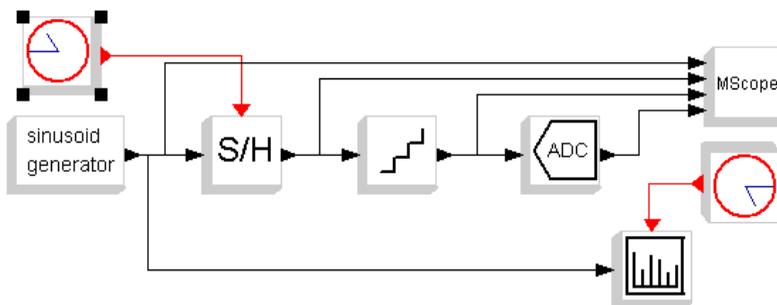


Рис.1.20. Модель преобразования аналог-цифра

Период блока активации анализатора спектра установить равным 0.1, блока активации устройства выборки и хранения – равным сумме  $0,5+0.05 \cdot N$ , где  $N$  – номер рабочего места.

Параметры аналого-цифрового преобразователя установить в соответствии с рис.1.21.

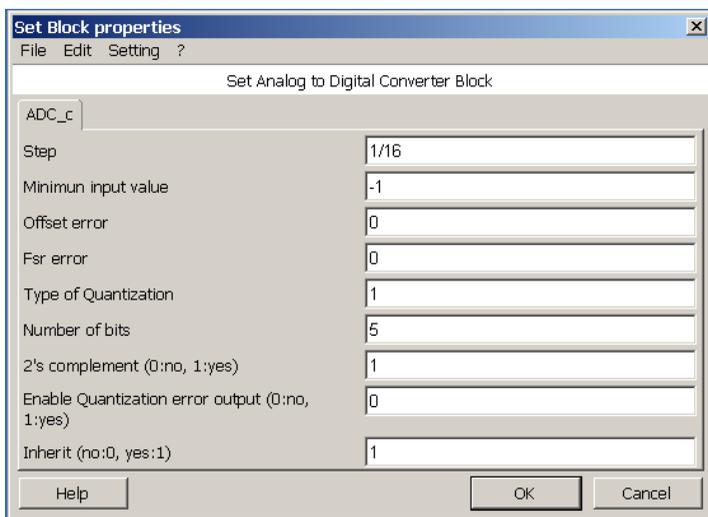


Рис.1.21. Параметры АЦП

Параметры многоканального осциллографа и анализатора спектра установить в соответствии со значениями, приведенными, соответственно, на рис.1.22 и рис.1.23.

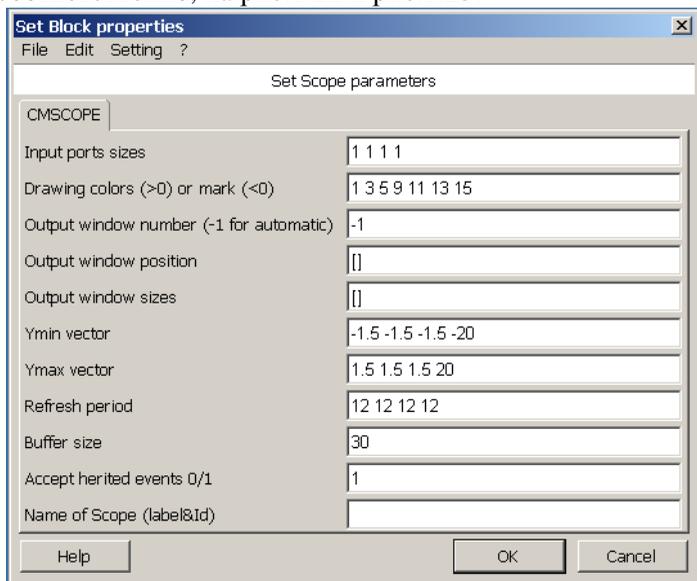


Рис.1.22. Установки осциллографа

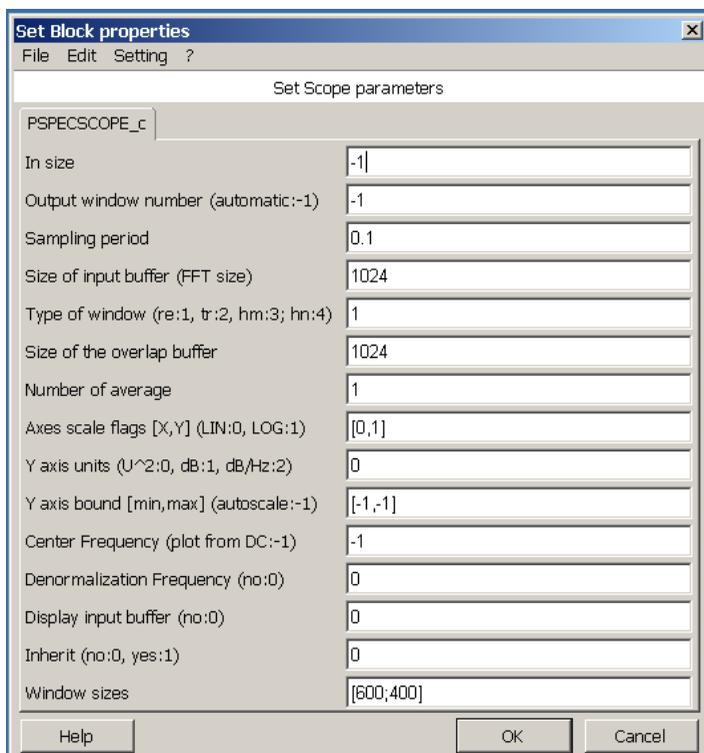


Рис.1.23. Установки анализатора спектра

Период гармонического сигнала установить равным сумме  $1+0.1 \cdot N$ , где  $N$  – номер рабочего места. Общее время моделирования изменить на 120.

Параметр Datatype блока Sample and hold установить равным -1. Параметр Step блока Quantization установить равным 1/16, параметр Quantization Type – установить в 1.

12. Запустить процесс моделирования. Наблюдать процесс преобразования сигнала. Проанализировать сигналы на всех этапах преобразования.

13. Дополнить схему блоками, позволяющими оценить ошибки квантования в соответствии со схемой, приведенной на рис.1.24. Сумматор и интегратор размещены в разделе Linear библиотеки, блок перемножения – в разделе Non-linear, дисплей – в разделе Sink.

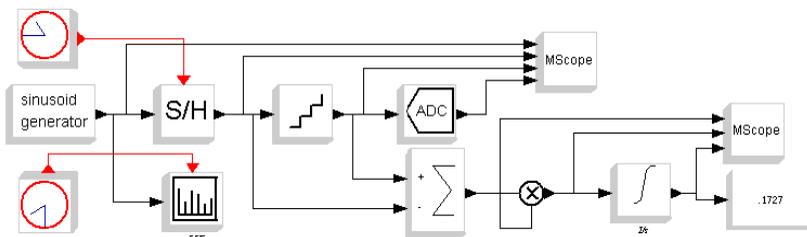


Рис.1.24. Схема для исследования ошибок квантования  
Сумматор настроить на режим вычитания (рис.1.25). Пара-

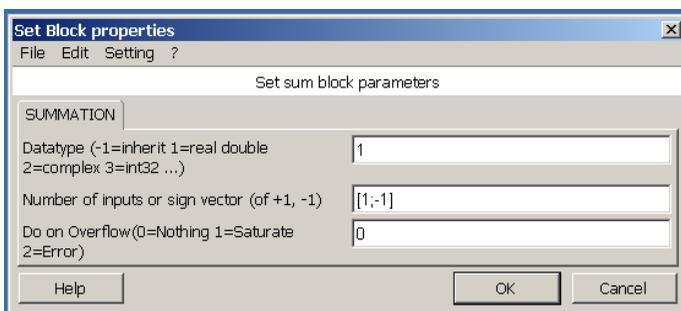


Рис.1.25. Установки сумматора

метры интегратора и дисплея установить в соответствии со значениями, приведенными, соответственно, на рис.1.26 и рис.1.27. Параметры дополнительного осциллографа корректировать для

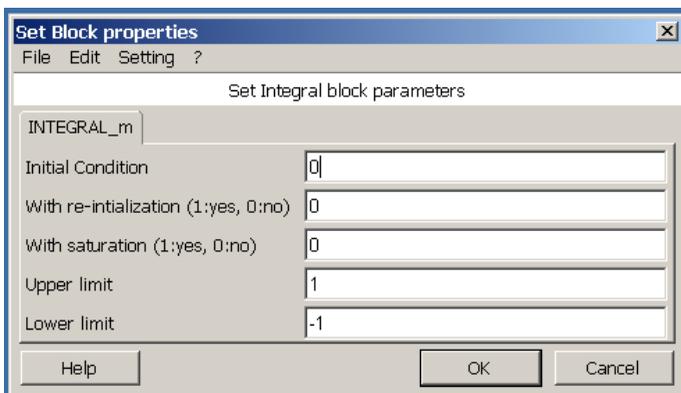


Рис.1.26. Установки интегратора

успешного наблюдения поступающих сигналов.

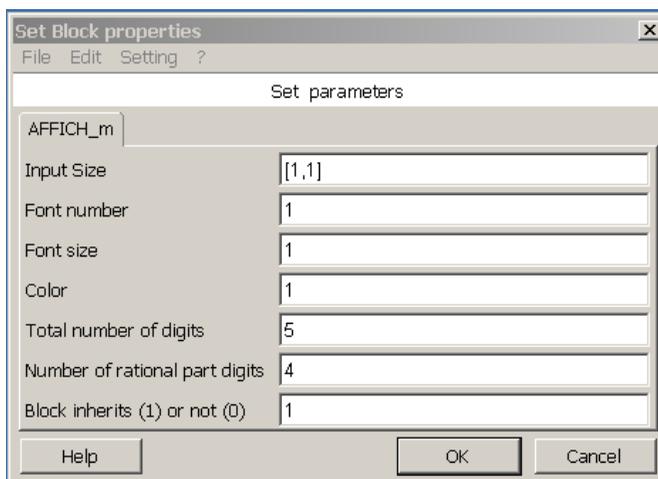


Рис.1.27. Параметры дисплея

14. Запустить процесс моделирования. Зафиксировать значение накопленных ошибок квантования. Поочередно изменяя параметр Quantization Type блока квантования определить величины накопленных ошибок квантования в каждом случае.

15. Дополнить модель преобразования аналог-цифра обратным преобразованием в соответствии со схемой на рис.1.28. Блок ЦАП Digital to Analog Convertor block размещен в разделе Modnum/NonLinear, фильтр с характеристикой Raised Cosine filter block – в разделе Modnum/Filter.

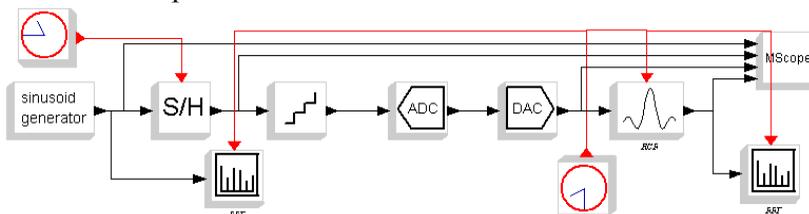


Рис.1.28. Модель преобразования аналог-цифра-аналог

Параметры ЦАП установить в соответствии с рис.1.29, параметры фильтра – в соответствии с рис. 1.30.

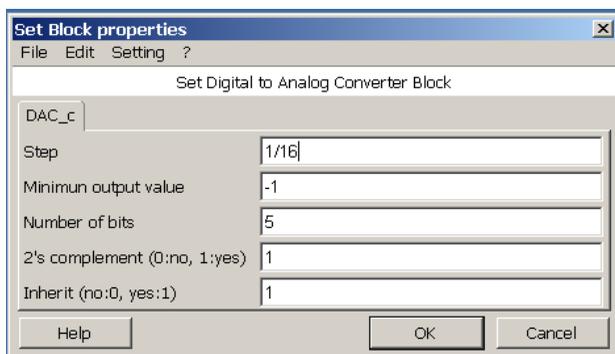


Рис.1.29. Параметры ЦАП

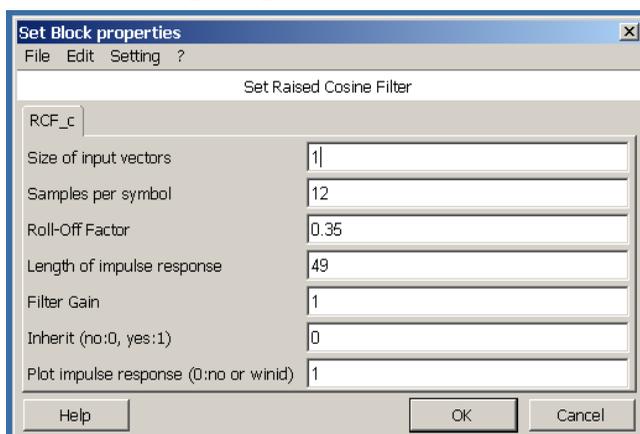


Рис.1.30. Параметры фильтра

16. Запустить процесс моделирования. Изменяя частоту гармонического сигнала снять амплитудно-частотную преобразования аналог-цифра-аналог.

17. Изменить параметры фильтра: установить параметр Samples per symbol равным 24, параметр Roll-Off Factor – равным 0.9. Повторить п.16. Сравнить результаты моделирования.

## **2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ**

### ***ЦЕЛЬ РАБОТЫ***

Целью работы «Исследования псевдослучайных последовательностей» является экспериментальное исследование характеристик М-последовательностей и закрепления на практике навыков использования в радиотехнике и технике связи основных свойств и особенностей псевдослучайных сигналов.

### ***КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ***

Псевдослучайная последовательность (ПСП) – последовательность чисел, которая была вычислена по некоторому определённом арифметическому правилу, но имеет все свойства случайной последовательности чисел в рамках решаемой задачи.

М-последовательность или последовательность максимальной длины – псевдослучайная двоичная последовательность, порожденная регистром сдвига с линейной обратной связью и имеющая максимальный период.

Основные свойства М-последовательностей:

М-последовательности являются периодическими с периодом  $N$ , равным  $N=2^n-1$ , где  $n$  – разрядность регистра;

М-последовательности на периоде  $N$  содержат все  $n$ -разрядные комбинации двоичных символов, кроме нулевой;

любые комбинации символов длины  $n$  на длине одного периода М-последовательности за исключением комбинации из  $n$  нулей встречаются не более одного раза. Комбинация из  $n$  нулей является запрещённой: на её основе может генерироваться только последовательность из одних нулей;

сумма по модулю 2 любой М-последовательности с её произвольным циклическим сдвигом также является М-последовательностью;

периодическая автокорреляционная функция (АКФ) любой М-последовательности имеет постоянный уровень боковых лепестков, равный  $(-N^{-1})$ ;

АКФ усечённой М-последовательности, под которой по-

нимается непериодическая последовательность длиной в период  $N$ , имеет величину боковых лепестков, близкую к  $(-N^{-0.5})$ . Поэтому с ростом  $N$  величина боковых пиков уменьшается.

Свойства последовательностей, характеризующие псевдослучайные признаки:

количество символов, принимающих значение единица, на длине одного периода  $M$ -последовательности на единицу больше, чем количество символов, принимающих значение нуль (свойство сбалансированности);

в течение периода последовательности половина серий единиц и нулей (серией называется последовательность одинаковых цифр) имеет длину 1, одна четверть – 2, одна восьмая – 3 и т. д. до тех пор, пока это продолжение имеет смысл (свойство серий).

$M$ -последовательности легко генерировать, и они обладают хорошими автокорреляционными свойствами, однако взаимная корреляция двух различных последовательностей одной длины может достигать относительно высоких значений, сравнимых с максимумом автокорреляционной функции. Этот недостаток существенно влияет на системы связи, обслуживающие пользователей, использующих различные последовательности.

Для решения этой проблемы служат последовательности Голда, который обнаружил, что некоторые пары  $M$ -последовательностей длиной  $2^n - 1$  имеют функцию взаимной корреляции, значения которой намного меньше максимальных значений функции взаимной корреляции любой пары  $M$ -последовательностей такой же длины. Такие пары называются предпочтительными последовательностями. Последовательности Голда генерируются на базе пары предпочтительных последовательностей при помощи сложения по модулю 2 первой  $M$ -последовательности с любой циклически сдвинутой копией второй  $M$ -последовательности.

В результате этой операции формируется новая периодическая последовательность с периодом  $2^n - 1$ . Количество полученных таким образом и образующих одно семейство последовательностей Голда составляет  $2^n + 1$ , поскольку количество возможных сдвинутых копий второй последовательности равно  $2^n - 1$ , и обе предпочтительные последовательности без сдвига

также включаются в семейство.

Более подробное изложение свойств псевдослучайных последовательностей приведено монографии [1] и в учебно-методическом пособии [2].

### ***ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА***

Ознакомиться с основными характеристиками и особенностями псевдослучайных последовательностей импульсов по материалам рекомендуемой литературы [4, 5] и данного пособия.

Основы функционирования пакета имитационного моделирования Scicoslab и возможности визуального моделирования динамических систем изложены в учебных пособиях [1, 2], а также информации, встроенной в справочную документацию программного продукта Scicoslab.

Оригинальная информация о составе, функционировании и версиях обновления и развития продукта Scicos размещены на сайте разработчиков [3].

По справочной документации пакета Scicoslab ознакомиться с параметрами моделей блоков, используемых при выполнении данной работы.

Составить эквивалентную схему генератора M-последовательности на основе 4-х разрядного регистра сдвига с обратными связями с выходов третьего и четвертого разрядов. Начальное состояние элементов памяти установить соответствующим номеру (в двоичном исчислении) студента в списке группы.

Провести анализ кодов на выходах вышеупомянутого регистра на интервале периодичности. Проверить свойства полученного кода на принадлежность к M-последовательностям (АКФ, свойства серий и сбалансированности), значения.

### ***КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ***

1. Дать определение псевдослучайной последовательности, M-последовательности и последовательности Голда.
2. Нарисовать структурную схему генератора g-последовательности исходя из своего варианта.
3. Перечислить основные характеристики M-последовательностей.

4. Перечислить свойства М-последовательностей, по которым они похожи на случайные процессы.
5. Описать работу генератора псевдослучайных двоичных последовательностей, разработанного в рамках предварительной подготовки.
6. Рассчитать АКФ для 3-х разрядного регистра сдвига с обратными связями.
7. Перечислить достоинства М-последовательностей.
8. Указать недостатки М-последовательностей.
9. Каким образом можно исправить недостатки М-последовательностей.
10. Какие последовательности обладают наилучшими корреляционными свойствами?
11. На основе экспериментальных данных проиллюстрировать свойство сбалансированности.
12. На основе экспериментальных данных проиллюстрировать свойство серий.
13. Укажите отличия в корреляционных функциях усеченных и периодических М-последовательностей.
14. Пояснить особенности энергетического спектра М-последовательности.
15. В чем заключается операция скремблирования?
16. На чем основана операция дескремблирования. Пояснить на примере.
17. Раскрыть содержание основных параметров модели многоканального осциллографа.
18. Раскрыть содержание основных параметров модели анализатора спектра.
19. Раскрыть содержание параметров модели псевдослучайного генератора.
20. Раскрыть содержание параметров моделей импульсного и тактирующего генераторов.
21. Раскрыть содержание основных параметров блока моделирования
22. Для чего используется постпроцессорная обработка результатов моделирования? Показать на примере.

## ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Запустить программу ScicosLab/Scicos. На рабочем поле Scicos собрать для исследований схему скремблера ( $m=3$ ) в соответствии со схемой, приведенной на рис.2.1. Начальные состояния элементов памяти установить в соответствии с номером рабочего места. Параметры импульсного генератора: последовательность импульсов единичной амплитуды без задержки со скважностью 4 и периодом повторения 4 с.

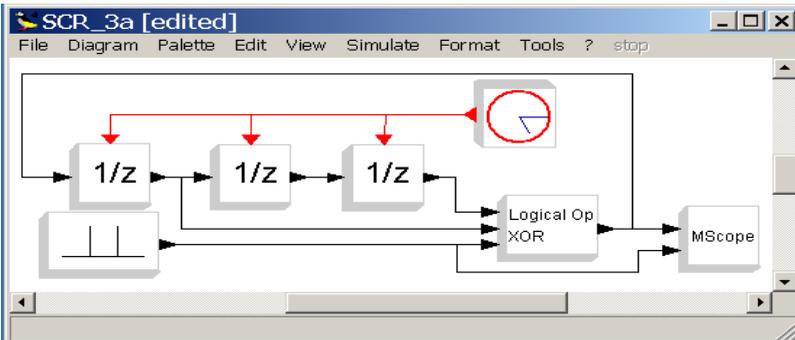


Рис.2.1.. Скремблер на основе 3-х разрядного регистра

2. Выполнить моделирование объекта. Определить минимальный период повторения выходной последовательности (при необходимости увеличить время анализа).

Подключить анализатор спектра. Сравнить спектры сигналов на выходе генератора и скремблированной последовательности.

3. Собрать модель для исследования скремблирования и дескремблирования в соответствии со схемой на рис.2.2.

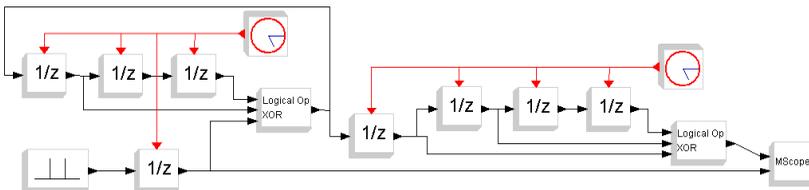


Рис.2.2. Схема 1 для исследования скремблирования

В этой схеме элементы задержки в нижнем ряду являются

непринципиальными для процесса скремблирования, но позволяют согласовать характеристики входов и выходов элементов при моделировании.

4. Запустить процесс моделирования. Убедиться в работоспособности процессов скремблирования и дескремблирования (за пределами интервала вхождения в синхронизм).

5. Изменить параметры генератора таким образом, чтобы сымитировать другую комбинацию нулей и единиц, сохраняя длительность тактового интервала (напр. скважность  $5/2$  при периоде  $5\text{ с}$ ...).

6. Собрать схему скремблера ( $m=5$ ) в соответствии со схемой, приведенной на рис.2.3. Начальные состояния элементов памяти установить в соответствии с номером рабочего места. Параметры импульсного генератора: последовательность импульсов единичной амплитуды без задержки со скважностью 2 и периодом повторения 2 с.

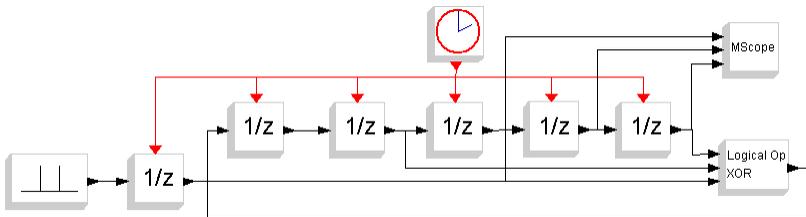


Рис.2.3. Скремблер на основе 5-и разрядного регистра сдвига

7. Выполнить моделирование объекта. Определить минимальный период повторения выходной последовательности (при необходимости увеличить время анализа).

Подключить анализатор спектра. Сравнить спектры сигналов на выходе генератора и сумматора.

8. Собрать модель для исследования операций скремблирования в соответствии со схемой, приведенной на рис.2.4.

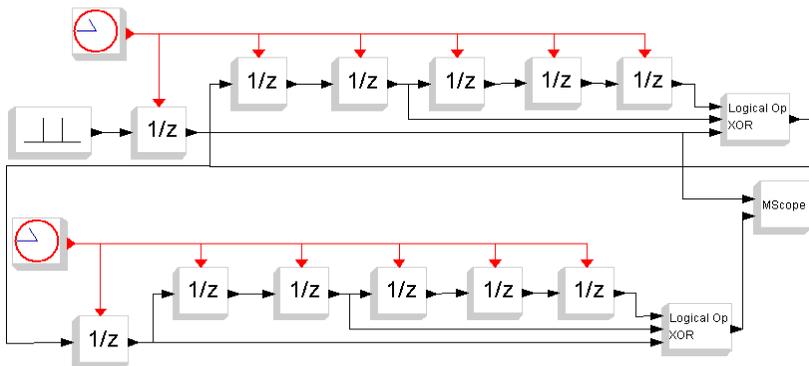


Рис.2.4. Схема 2 для исследования скремблирования

9. Запустить процесс моделирования. Убедиться в работоспособности процессов скремблирования и дескремблирования (за пределами интервала вхождения в синхронизм).

10. Изменить параметры генератора таким образом, чтобы сымитировать другую комбинацию нулей и единиц, сохраняя длительность тактового интервала.

11. Подготовить схему для исследования генератора псевдослучайных последовательностей (Pseudo Noise Generator block в разделе библиотеки Modnum/Sources) в соответствии с рис.2.5.

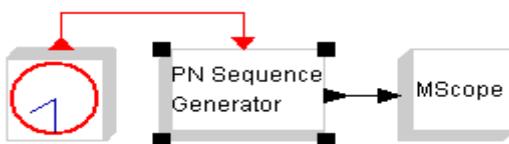


Рис.2.5. Генератор псевдослучайной последовательности

Параметры генератора установить в соответствии с установками, приведенными на рис. 2.6. Вектор начального состояния регистра установить в соответствии с порядковым номером студента в списке группы.

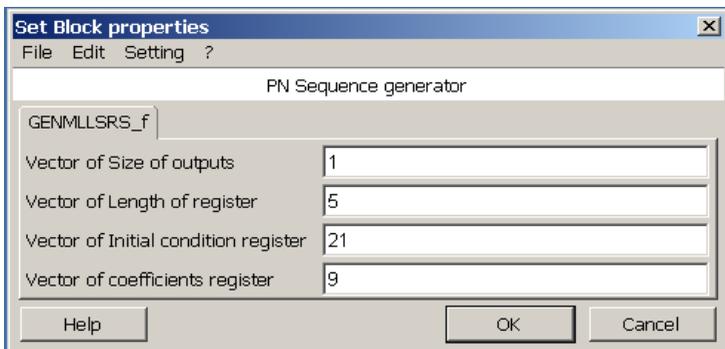


Рис.2.6. Установки генератора псевдослучайного сигнала

12. Выполнить моделирование. Определить минимальный период повторения последовательности. На интервале периодичности проверить сигнал на выполнение свойств, характерных для  $m$ -последовательностей.

13. Собрать схему для исследования корреляционных свойств  $m$ -последовательностей (рис.2.7). Блок перемножения размещен в разделе Non-linear библиотеки компонентов, интегратор – в разделе Linear, дисплей – в разделе Sinks.

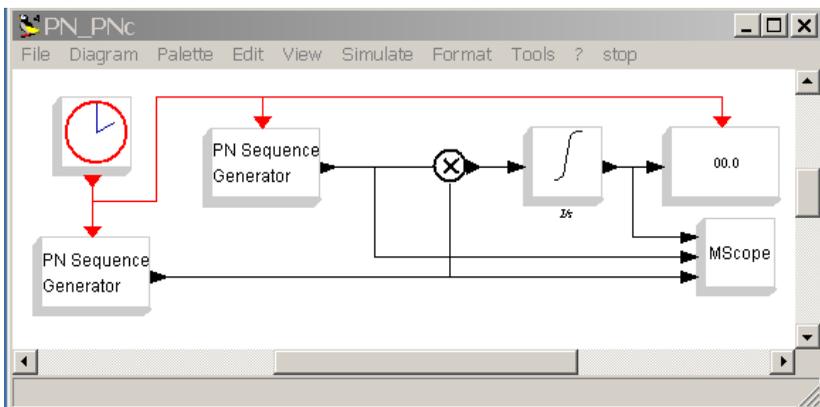


Рис.2.7. Схема для исследования корреляционных характеристик

Начальные состояния обоих регистров установить в соответствии с порядковым номером студента в списке группы.

Расширить пределы измерения осциллографа по каналу кор-

релятора до значений: -5...35.

Общее время моделирования установить равным 32 с.

14. Запустить моделирование. Убедиться в нормальном функционировании модели. Зафиксировать показание дисплея.

15. Изменяя последовательно начальное состояние одного из генераторов на единицу, определить корреляционную характеристику выходной последовательности на интервале периодичности. Оценить корреляционные свойства последовательности.

16. Установить вектор коэффициентов одного из регистров в состояние 15 (27, 29). Повторить п.15 для этих комбинаций векторов. Оценить корреляционные свойства этих пар последовательностей.

17. Объединить предпочтительные последовательности, выявленные в результате выполнения п.26, в последовательность Голда. Зафиксировать параметры исходных последовательностей.

### **3. ИССЛЕДОВАНИЕ ГАУССОВСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ**

#### ***ЦЕЛЬ РАБОТЫ***

Целью работы «Исследования канала передачи» является знакомство с методиками и аппаратурой для исследования характеристик канала, моделями каналов связи и их основных компонентов, а также экспериментальное исследование характеристик модели канала передачи.

#### ***КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ***

Под каналом передачи (связи) понимают совокупность технических устройств (преобразователей) и среды распространения (линии передачи), обеспечивающих передачу сигналов на расстояние. Канал передачи начинается и оканчивается у абонентов, но не включает в себя оконечные терминальные устройства.

Каналы и системы связи, использующие искусственную среду распространения (металлические провода, оптическое волокно), называются проводными, а каналы и системы связи, в которых сигналы передаются через открытое пространство - радиоканалами и радиосистемами.

В общем случае каналы классифицируются по характеру входного и выходного сигналов. Канал называют непрерывным (по уровням сигналов), если множество сигналов на входе и выходе является несчетным. Если множество сигналов с дискретным временем на входе и выходе является конечным (по уровням), канал называется дискретным. Известны и смешанные модели каналов (непрерывные по входу и дискретные по выходу, либо наоборот, дискретные по входу непрерывные и по выходу).

Различают также одно- и многолучевые модели каналов, в которых сигнал в точку приема поступает не только с основного направления, но и с направлений, определяемых отраженными сигналами.

Поскольку точное математическое описание реального канала достаточно сложное, используют упрощенные модели каналов. Наиболее часто применяют следующие модели однолу-

чевых каналов:

Идеальный канал связи без помех – линейная цепь с постоянной передаточной функцией, сосредоточенной в ограниченной полосе частот. Допустимы любые входные сигналы, спектр которых лежит в ограниченной полосе частот и имеющие ограниченную среднюю мощность. Выходной сигнал  $y(t)$  в таком канале при заданном входном сигнале  $x(t)$  является детерминированным:

$$y(t) = k \cdot x(t - \tau),$$

где  $k$  и  $\tau$  – константы, отражающие затухание и задержку распространения канала.

Эта модель иногда используется для описания кабельных каналов связи. Однако, она непригодна для реальных каналов, в которых всегда присутствуют помехи.

Канал с аддитивным гауссовским шумом, в котором сигнал на выходе является аддитивной смесью принятого сигнала и помехи. В качестве помехи в этом случае используют гауссовский аддитивный шум с нулевым математическим ожиданием и заданной корреляционной функцией. Такая модель удовлетворительно описывает многие проводные каналы связи и радиоканалы при связи в пределах прямой видимости.

В простых моделях дискретных каналов задают алфавиты объемом  $m$  символов при передаче  $\{S_i\}$  и приеме  $\{S_j\}$ , априорные вероятности появления символов сообщений при передаче  $p(S_i)$  и условные вероятности  $p(S_j|S_i)$  приема символа  $S_j$  при условии передачи символа  $S_i$ .

Так, в симметричном канале без памяти переданный символ  $S_i$  может быть принят ошибочно с фиксированной вероятностью  $p$  и правильно с вероятностью  $(1-p)$ , причем в случае ошибки вместо переданного символа  $S_i$  может быть принят с равной вероятностью любой другой символ. То есть, условная вероятность того, что принят символ  $S_j$ , если был передан символ  $S_j$ , равна:

$$p(S_j | S_i) = \begin{cases} p/(m-1), & \text{при } i \neq j \\ 1-p, & \text{при } i = j \end{cases}$$

В симметричном канале без памяти со стиранием алфавит на выходе дополняется символом «?», когда приемник не может

опознать переданный символ  $S_j$ . Вероятность такого отказа от решения или стирания символа  $p_c$  является постоянной величиной и не зависит от передаваемого символа.

В несимметричном канале без памяти вероятности ошибок не зависят друг от друга, однако зависят от того, какой символ передается. То есть, вероятность правильного приема символа «0» равна  $p(0/0) = 1 - p(1/0)$ , а символа «1», соответственно,  $p(1/1) = 1 - p(0/1)$ , где  $p(1/0)$  и  $p(0/1)$  – вероятности ошибочного приема соответствующих символов.

Основные характеристики, используемые при описании канала:

эффективно передаваемая полоса частот  $\Delta F_k$ ;

динамический диапазон  $D_k = 10 \lg(P_{\max}/P_{\min})$ ;

волновое сопротивление;

пропускная способность;

помехозащищённость  $A = 10 \lg(P_{\min}/P_{\text{noise}})$ ;

объём  $V_k = \Delta F_k \cdot \Delta T_k \cdot D_k$ ,

где  $\Delta T_k$  – время занятия канала сигналом;

$P_{\max}$ ,  $P_{\min}$  – соответственно, значения максимальной и минимальной мощности сигнала;

$P_{\text{noise}}$  – мощность помех.

### ***ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА***

Ознакомиться с основными характеристиками и особенностями каналов передачи по материалам рекомендуемой литературы [6, 7] и данного пособия.

Ознакомиться с основами функционирования пакета имитационного моделирования Scicoslab и возможностями визуального моделирования динамических систем по материалам рекомендуемой литературы [3, 4], данного пособия и информации, встроенной в справочную документацию программного продукта Scicoslab.

Оригинальная информация о составе, функционировании и версиях обновления и развития продукта Scicos размещены на сайте разработчиков [5].

По справочной документации пакета Scicoslab ознакомиться с параметрами моделей блоков, используемых при выполнении данной работы.

Составить эквивалентную схему проводной линии передачи, учитывающей погонные (на 1 километр длины кабеля) активное сопротивление потерь  $r$  и емкость  $C$  кабеля, нагруженной на сопротивление  $R$ . Рассчитать для своего варианта (по номеру рабочего места) полосу пропускания канала по уровню 3 дБ, рабочее затухание в полосе пропускания и время нарастания фронта переходной характеристики от 10% до 90% от установившегося значения. Длину линии  $l$  выбрать из условия:  $l[\text{км}] = 0,2 \cdot N$  для вариантов 1...4, 9, и  $l[\text{км}] = 0,5 \cdot N$  для вариантов 5...8, 10, где  $N$  – номер студента в списке группы.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r$ [Om]	458	296	192	116	229	148	96	58	240	120
$R$ [Om]	600	600	600	600	120	120	120	120	600	120
$C$ [nF]	50	51	52	53	54	55	56	57	52	54

Получить аналитическое выражение для передаточной функции рассмотренной линии передачи.

### ***КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ***

1. Дать определение линии связи, канала связи и системы связи.
2. Классификация каналов по характеру сигналов. Примеры.
3. Основные модели каналов, используемые для анализа?
4. В каких ситуациях может быть использована однолучевая модель канала?
5. Дать характеристику идеального канала без помех.
6. Получить передаточную характеристику идеального канала без помех.
7. Основные черты канала с аддитивным гауссовским шумом.
8. Раскрыть модель симметричного канала без памяти.
9. Построить граф модели симметричного канала без памяти.
10. Особенности симметричного канала без памяти со стиранием.
11. Построить граф модели симметричного канала без памяти со стиранием.
12. Дать характеристику несимметричного канала без памяти.

- ти.
13. Построить граф модели несимметричного канала без памяти.
  14. Какие причины приводят к использованию многолучевой модели канала?
  15. Пояснить, почему при выполнении п. 3 задания последовательности входных и выходных импульсов канала противофазные.
  16. В каких случаях целесообразно использовать фильтры с характеристикой типа «приподнятый косинус»?
  17. Пояснить основные параметры блока фильтрации с характеристикой типа «приподнятый косинус».
  18. Пояснить основные параметры блока генерации случайных сигналов.
  19. Пояснить основные параметры блока генерации аддитивных помех.
  20. Пояснить основные параметры блока логических операций.
  21. Раскрыть основные характеристики виртуального осциллографа.
  22. Раскрыть основные характеристики виртуального анализатора спектра.
  23. Основные характеристики, используемые при описании канала.
  24. Рассчитать помехозащищенность канала по результатам одного из экспериментов (по указанию преподавателя).
  25. Какие задачи выполняет фильтр приемного устройства канала передачи?
  26. Какие соображения принимают во внимание при построении регенератора сигналов?

## ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Запустить программу ScicosLab. На вкладке Toolboxes выбрать пакет Modnum. На вкладке Applications выбрать приложение Scicos.

2. На рабочем поле Scicos собрать схему для исследований модели идеального канала без помех, приведенную на рис.3.1. Для этого на вкладке Palette открыть библиотеку компонентов ScicosLab. Часы активации Activation clock и генератор импульсов Pulse Generator размещены в разделе Sources библиотеки, многоканальный осциллограф MScope – в разделе Sinks, анализатор спектра Spectrum analyzer scope block – в разделе Modnum/Sinks.

Модель, собственно, идеального канала передачи содержит последовательно соединенные линейный четырехполюсник (представляющий линию связи) и регенератор. Свойства среды распространения (проводной линии) моделируются линейным четырехполюсником (Continuous transfer function), параметры которого задаются коэффициентами дробно-рациональной функции. Приемник импульсных сигналов состоит из блока выборки и хранения (Sample and hold) и формирователя импульсов на основе индикатора знака (Signum). Блоки четырехполюсника и выборки размещены в разделе библиотеки Linear, индикатор знака – в разделе Non-linear.

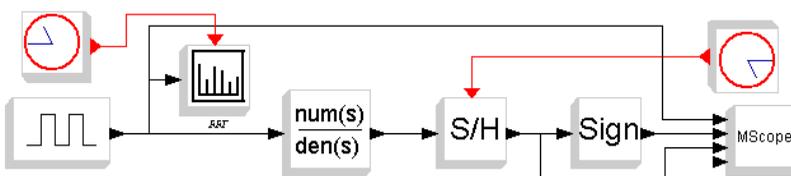


Рис.3.1. Схема для исследования характеристик модели идеального канала без помех

Импульсный генератор формирует знакопеременную последовательность импульсов с минимальным/максимальным уровнями, равными  $-1/1$  без задержки со скважностью 2 и периодом повторения, равным  $2 + 0.02 \cdot N$ , где  $N$  – номер рабочего места.

Период часов активации анализатора спектра установить

равным 0,5% от периода генератора импульсов, период часов активации блока выборки и хранения – равным 50% периода генератора импульсов, время старта обоих блоков – 0.

Параметры линейного четырехполюсника установить соответствующими:

Numerator: 0.1;  
Denominator 1+s/(%pi).

Параметр блока выборки и хранения установить:

Datatype -1.

Параметр индикатора знака установить:

Use zero crossing 1.

Параметры анализатора спектра и осциллографа устанавливать такие, чтобы обеспечить наибольшую информативность графиков (размер буфера FFT принять равным 1024). Период обновления экрана осциллографа и общее время анализа выбрать равные 12.

3. Запустить процесс моделирования. Для корректного представления результатов наблюдения целесообразно проводить постпроцессорную обработку графиков (указания стиля построения графика, уточнения масштаба осей и эффективных пределов вывода результирующих характеристик...). Для эффективного представления графических материалов рекомендуется выбирать масштабы осей Y и пределы вывода результирующих характеристик таким образом, чтобы графики занимали не менее 80% площади окна.

В отчете по работе приводить схемы исследований, первоначальные установки блоков (в дальнейшем, если параметры блоков или моделирования будут изменяться, достаточно только указаний на конкретные изменения) и результаты исследований в виде соответствующих графиков.

Примечание: Параметры графиков анализатора спектра в отчете устанавливать таким образом, чтобы наблюдать спектральные составляющие в динамическом диапазоне не более 30...40 дБ.

4. Дополнить модель канала источником помех и собрать схему для исследований модели канала с аддитивным гауссовским шумом, приведенную на рис.3.2.

Источник белого гауссовского шума (Gaussian White Noise

Generator block) размещен в разделе библиотеки Sources, сумматор (Sources) – в разделе Linear.

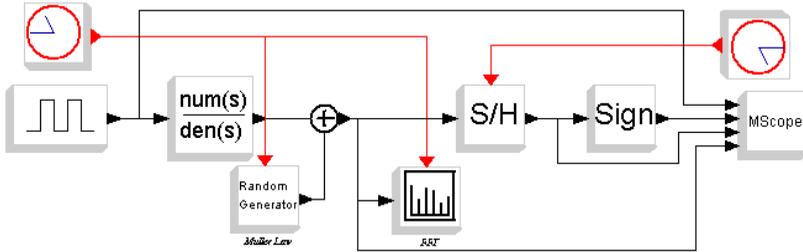


Рис.3.2. Схема для исследования характеристик модели канала с помехами

Установки генератора случайных сигналов выполнить в соответствии с рис.3.3.

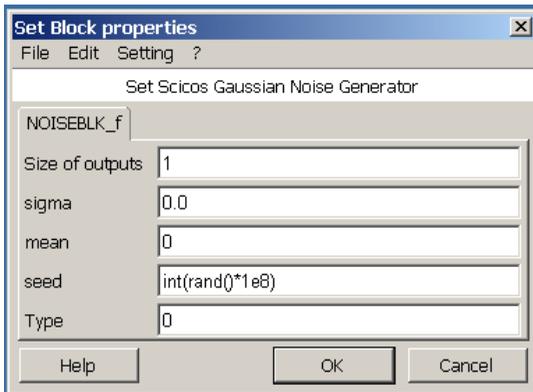


Рис.3.3. Установки источника гауссовского шума

5. Запустить процесс моделирования. Повторить исследование при изменении уровня помех (изменять параметр «sigma» генератора шума от 0.1 до 0.5 через 0.1). Получить зависимость и начертить график числа ошибочно принятых символов от уровня помех (отношения сигнал/шум).

6. Дополнить модель канала фильтром приемника в соответствии со схемой на рис.3.4. Фильтр с характеристикой типа «приподнятый косинус» (Raised Cosine filter block) размещен в разделе библиотеки Modnum/Filter.

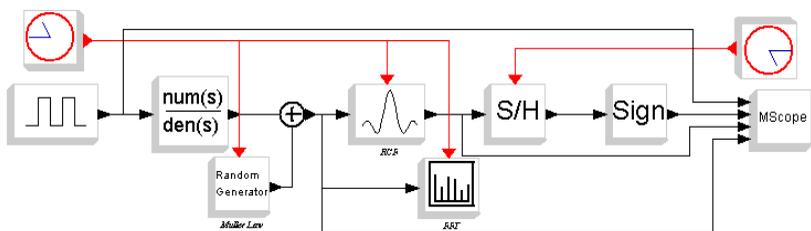


Рис.3.4. Схема для исследования характеристик канала с гауссовскими помехами

Установки параметров фильтра выполнить в соответствии с рис.3.5.

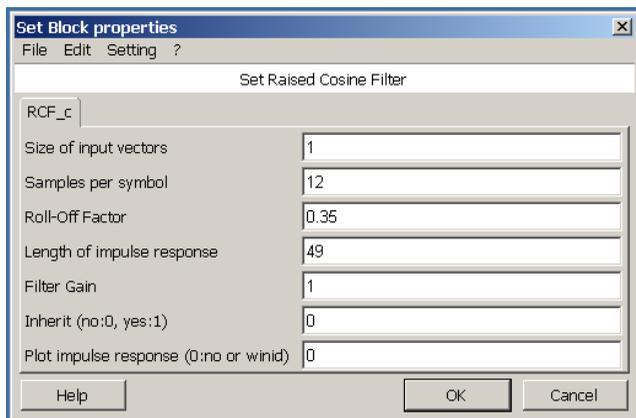


Рис.3.5. Установки фильтра с характеристикой типа «приподнятый косинус».

7. Запустить процесс моделирования в условиях отсутствия шумов. Изменением времени старта часов активации для блока выборки и хранения добиться получения максимального значения отсчета принятого сигнала на тактовом интервале. Повторить п. 5 лабораторного задания (графики желательно совместить).

8. Заменить источник периодического сигнала генератором случайной последовательности. Генератор случайных сигналов (Random Integer Generator block) размещен в разделе библиотеки Modnum/Sources (рис.3.6).

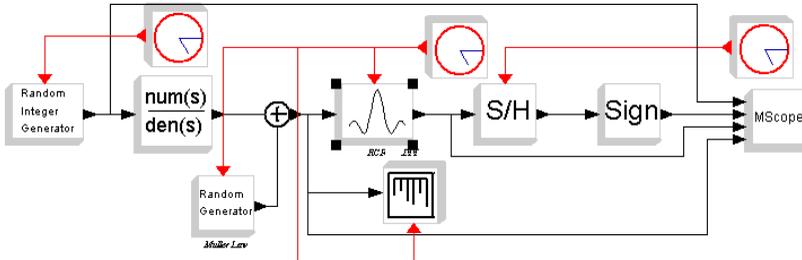


Рис.3.6. Схема для исследования характеристик канала передачи

Установки генератора случайных сигналов выполнить в соответствии с рис.3.7. Период часов активации генератора случайных сигналов установить равным 50% от периода генератора регулярных импульсов, время старта блока – 0.

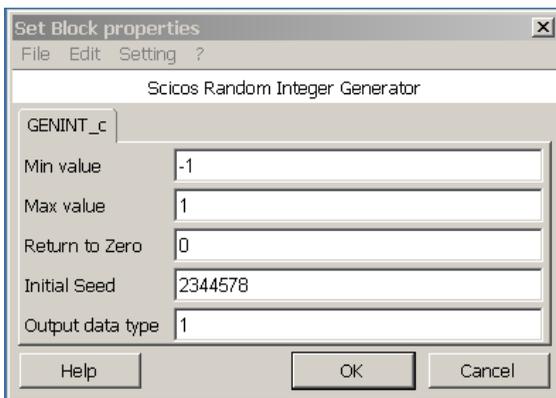


Рис.3.7. Установки источника случайного сигнала

9. Повторить п. 7 лабораторного задания для данной схемы.

10. Для определения числа ошибочно принятых символов ввести задержку исходной последовательности до величины, обеспечивающей совпадение задержанной последовательности с выходной последовательностью канала передачи в отсутствии помех. Количество ошибочно принятых символов считать по числу их несовпадений в обеих последовательностях.

Для этого в схему испытаний канала добавит блок задержки (Shift register for multiplexed signal block), размещенный в раз-

деле библиотеки Modnum/Tools (рис.3.8).

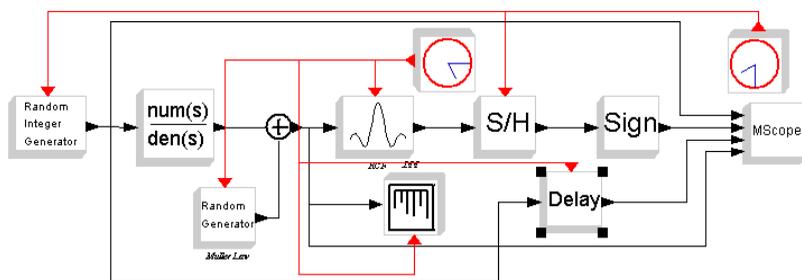


Рис.3.8. Схема для исследования задержки сигнала

Величину задержки в блоке задержки выбирать таким образом, чтобы в отсутствии помех сигналы второго и третьего каналов осциллографа совпадали во времени (использовать увеличение масштаба на этих каналах в моменты приема фронтов совпадающих символов).

11. Собрать схему для подсчета количества ошибочно принятых импульсов, приведенную на рис.3.9. Для выявления несовпадений предварительно синхронизированных последовательностей используется блок логических операций (Logical operation), размещенный в разделе библиотеки Others, настроенный на операцию «исключающее ИЛИ». Накопление несовпадающих импульсов обеспечивает интегратор (Continuous integrator for multiplexed signal block), размещенный в разделе библиотеки Modnum/Tools. Индикация числа ошибок выполняется дисплеем (Display), размещенным в разделе библиотеки Sinks.

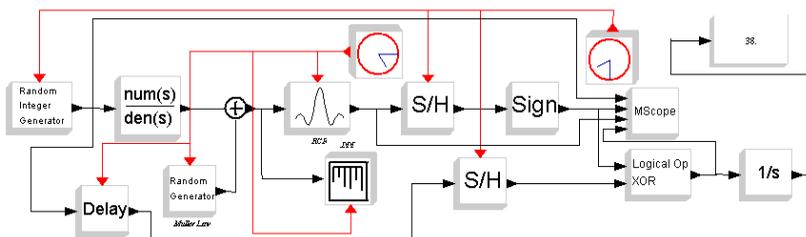


Рис.3.9. Схема для определения числа ошибочно принятых импульсов

Параметры блока логических операций установить в соот-

ветствии с рис.3.10.

Установить общее время моделирования на вкладке Simulate/Setup, равное 1000.

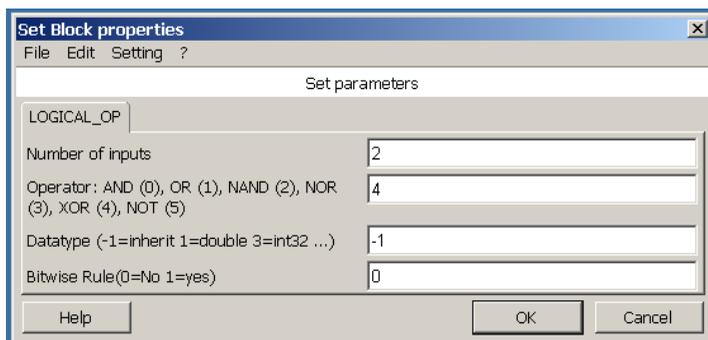


Рис.3.10. Установки блока логических операций

12. Запустить процесс моделирования. Повторить исследование при изменении уровня помех (изменять параметр «sigma» генератора шума от 0.1 до 0.5 через 0.2). Получить зависимость и начертить график вероятности ошибок приема символов от отношения сигнал/шум.

13. В отчете по выполненной работе представить расчеты предварительной подготовки, схемы всех проведенных исследований с установленными параметрами блоков, вычисления и графики, полученные в результате вычислений, выводы по работе.

При защите работы быть готовым показать навыки управления измерительными приборами для представления наиболее полной информации в конкретной ситуации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Скляр Б. Цифровая связь: Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ - 2-е изд. - М. : Вильямс, 2004. - 1099[5] с. [18 экз.]

2. Системы и сети связи: Учебно-методическое пособие к практическим занятиям и самостоятельной работе / Демидов А.Я. – 2012. 61 с. Доступно по адресу: <https://edu.tusur.ru/training/publications/1611>

3. Данилов С.Н. SCICOS. Пакет Scilab для моделирования динамических систем. Руководство: учебное пособие для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 210303 – «Бытовая радиоэлектронная аппаратура» и направления 210400 – «Радиотехника». – Тамбов: ТГТУ, 2011. – 74 с.

4. Кокорева Е.В., Белезекова А.С. Теоретические основы современных технологий беспроводной связи: методические указания к лабораторной работе. – Томск: Факультет дистанционного обучения, ТУСУР, 2014. – 81 с.;

5. Scicos: Block diagram modeler/simulator. Официальный сайт разработчиков :Scicos: <http://www.scicos.org>

6. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: учебник для вузов / В.В. Крухмалев [и др.]; ред.: В.Н. Гордиенко, В.И. Крухмалев. - 2-е изд., - М.: Горячая линия - Телеком, 2008. - 424 с. (8 экз.)

7. Пуговкин А.В.; Телекоммуникационные системы: Учебное пособие. - Томск: ТУСУР, 2007. - 201[1] с. [191 экз.].

8. Пуговкин А.В., Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. Часть 1. Системы передачи: Учебно-методическое пособие. – 2012. 62 с. Доступно по адресу: <https://edu.tusur.ru/training/publications/1267>