



**Кафедра  
проектирования радиоэлектронных систем  
летательных аппаратов**

**И.В. Барышев, А.В. Мазуренко**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ  
РАДИОУПРАВЛЕНИЯ В СРЕДЕ  
MATLAB**

**Учебное пособие по лабораторному практикуму**

**<http://k501.xai.edu.ua/>**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского  
*«Харьковский авиационный институт»***

**И.В. Барышев, А.В. Мазуренко**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ В  
СРЕДЕ MATLAB**

**Учебное пособие по лабораторному практикуму**

**Харьков «ХАИ» 2002**

**УДК 621.396**

Моделирование систем радиуправления в среде Matlab / И. В. Барышев, А. В. Мазуренко. – Учеб. пособие по лаб. практикуму. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2002.– 29 с.

Представлены общие сведения о среде MATLAB. Описан порядок создания имитационных моделей динамических систем в среде MATLAB с использованием инструментального приложения SIMULINK. Приведен пример построения и исследования модели радиотехнического устройства с большим числом иллюстраций. Даны методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Для студентов радиотехнических специальностей.

Ил. 13. Табл. 8. Библиогр.: 4 назв.

**Р е ц е н з е н т ы:** д-р техн. наук, проф. Г.П. Кулемин,  
к-т техн. наук, проф. А.Т. Иванов

© Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт», 2002 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. СИСТЕМА МАТЛАВ И ЕЁ ВОЗМОЖНОСТИ .....	3
2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИГ SIMULINK .....	7
2.1. Порядок создания новой модели .....	7
2.2. Пример создания модели .....	13
3. ОПИСАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	18
3.1. Состав программного обеспечения.....	18
3.2. Лабораторная работа № 1 .....	18
3.3. Лабораторная работа № 2 .....	20
3.4. Лабораторная работа № 3 .....	22
3.5. Лабораторная работа № 4 .....	23
3.6. Лабораторная работа № 5 .....	25
Библиографический список .....	26
Приложение .....	27

## 1. СИСТЕМА MATLAB И ЕЁ ВОЗМОЖНОСТИ

Система MATLAB (сокращение от **MA**Trix **LAB**oratory - **MA**Tричная **LAB**оратория) разработана фирмой The MathWorks, Inc. (США, г. Нейтик, шт. Массачусетс) и является системой инженерных и научных расчетов для различных областей науки и техники.

Наиболее известные области применения системы MATLAB:

- математика и вычисления;
- разработка алгоритмов;
- вычислительный эксперимент, имитационное моделирование;
- анализ данных, исследование и визуализация результатов;
- разработка приложений, включая графический интерфейс пользователя;
- исследования в области автоматического управления;
- статистическая обработка сигналов и процессов.

Система MATLAB – это:

во-первых – интерактивная система, которая позволяет производить вычисления с помощью непосредственного ввода команд с клавиатуры;

во-вторых – большая библиотека готовых функций (в версии 5.3 их более 800), реализующих наиболее распространённые в научном мире методы вычислений. Для облегчения поиска функции разбиты на разделы. Наиболее общие функции включены в ядро системы MATLAB. Функции, которые являются специфическими для конкретной области, включены в состав соответствующих специализированных разделов. Эти разделы называются *Toolboxes* (Инструментальные приложения - ИП). Каждое из инструментальных приложений имеет свое название, отражающее его предназначение. Функции из любого ИП могут быть использованы в интерактивном режиме работы в качестве команд с параметрами;

в-третьих – еще и язык программирования, позволяющий пользователю создавать собственные функции, а также законченные программные приложения, в том числе и с использованием библиотечных функций системы.

Системы семейства MATLAB 5.x включают базовые программные продукты (табл.1.1) и инструментальные приложения (табл.1.2).

Таблица 1.1

**Базовые программные продукты**

№ п/п	Наименование программного продукта	Назначение
1	MATLAB for Windows	Система инженерных и научных расчетов
2	MATLAB Compiler	Компилятор языка MATLAB на язык C
3	MATLAB C Math Library	Библиотека математических функций системы MATLAB на языке C
4	MATLAB C++ Math Library	Библиотека математических функций системы MATLAB на языке C++
5	SIMULINK for Windows	Инструментальное приложение визуального моделирования динамических систем
6	Real-Time Workshop (RTW)	Инструментальное приложение моделирования систем реального времени
7	SIMULINK RTW Ada Extension	Расширение RTW на базе языка Ada
8	SIMULINK Accelerator	Ускоритель процедур моделирования
9	Applix Link	Интерфейс с семейством продуктов Applixware для платформ UNIX и Windows NT
10	Exel Link	Интерфейс с системой Exel 5.x

Таблица 1.2

**Инструментальные приложения**

№ п/п	Наименование программного продукта	Назначение
<i>Математика</i>		
1	NAG Foundation Toolbox	Библиотека математических функций The Numerical Algorithms Group Ltd.
2	Spline Toolbox	Сплайн-аппроксимация
3	Statistics Toolbox	Статистика
4	Optimization Toolbox	Оптимизация
5	Fuzzy Logic Toolbox	Моделирование систем с нечеткой логикой

Продолжение табл. 1.2

№ п/п	Наименование программного продукта	Назначение
6	Neural Network Toolbox	Нейронные сети
7	Partial Differential Equations Toolbox	Решение дифференциальных уравнений в частных производных
8	Symbolic Math Toolbox	Символьная математика
9	Extended Symbolic Math Toolbox	Расширенная символьная математика (включает систему Maple)
<i>Анализ и синтез систем управления</i>		
10	Control System Toolbox	Системы управления
11	Nonlinear Control Design Toolbox	Проектирование нелинейных систем
12	Robust Control Toolbox	Робастное управление
13	Model Predictive Control Toolbox	Управление с эталонной моделью
14	$\mu$ -Analysis and Synthesis Toolbox	$\mu$ -анализ и синтез
15	Quantitative Feedback Theory Toolbox	Проектирование робастных систем с обратной связью
16	Linear Matrix Inequality (LMI) Control Toolbox	Синтез систем управления на основе линейных матричных неравенств
17	System Identification Toolbox	Идентификация параметров
18	Frequency Domain System Identification Toolbox	Идентификация в частотной области
<i>Обработка сигналов и изображений</i>		
19	Data Signal Processing (DSP) Blockset	Обработка цифровых сигналов
20	Signal Processing Toolbox	Обработка сигналов
21	Higher-Order Spectral Analysis Toolbox	Спектральный анализ с учетом моментов высшего порядка
22	Image Processing Toolbox	Обработка изображений
23	Wavelet Toolbox	Импульсная декомпозиция

№ п/п	Наименование программного продукта	Назначение
<i>Разное</i>		
24	Fixed Point Blockset	Моделирование систем с фиксированной разрядностью
25	Power System Blockset	Моделирование энергетических систем
26	Stateflow Toolbox	Моделирование событий
27	Communication Toolbox	Системы связи и коммуникаций
28	Financial Toolbox	Финансы
29	Mapping Toolbox	Картография
30	Database Toolbox	Работа с базами данных
31	Notebook Toolbox	Написание М-книг

Важным программным приложением системы MATLAB является ИП SIMULINK – средство визуального моделирования динамических систем. В определенном смысле SIMULINK можно рассматривать как самостоятельный продукт фирмы The MathWorks, Inc., однако он работает только при наличии ядра системы и использует функции, входящие в его состав.

Разработка моделей средствами SIMULINK (в дальнейшем S-модели) основано на использовании технологии Drag-and-Drop (Перетаски и Оставь). В качестве «кирпичиков» для построения S-модели используют блоки, хранящиеся в библиотеке SIMULINK. Блоки могут быть связаны друг с другом как по информации, так и по управлению. Тип связи зависит от типа блока и логики работы модели. Данные, которыми обмениваются блоки, могут быть скалярными величинами, векторами или матрицами произвольной размерности.

Любая S-модель может иметь иерархическую структуру, то есть состоять из моделей более низкого уровня, причем число уровней иерархии практически не ограничено.

В ходе моделирования можно наблюдать за процессами, происходящими в системе через специальные «смотровые окна», входящие в состав библиотеки SIMULINK.

Еще одно важное достоинство SIMULINK заключается в том, что он является открытой системой: состав библиотеки может быть пополнен пользователем за счет разработки собственных блоков.

## 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИП SIMULINK

### 2.1. Порядок создания новой модели

Для создания новой модели необходимо:

1. Запустить систему MATLAB. Для этого в меню «Пуск» ⇒ «Программы» ⇒ «Matlab» выбрать пункт «Matlab 5.3».

После запуска системы MATLAB на дисплее компьютера появляется главное окно (рис.2.1), содержащее панель меню и панель инструментов. Его называют командным окном MATLABa (MATLAB Command Window).

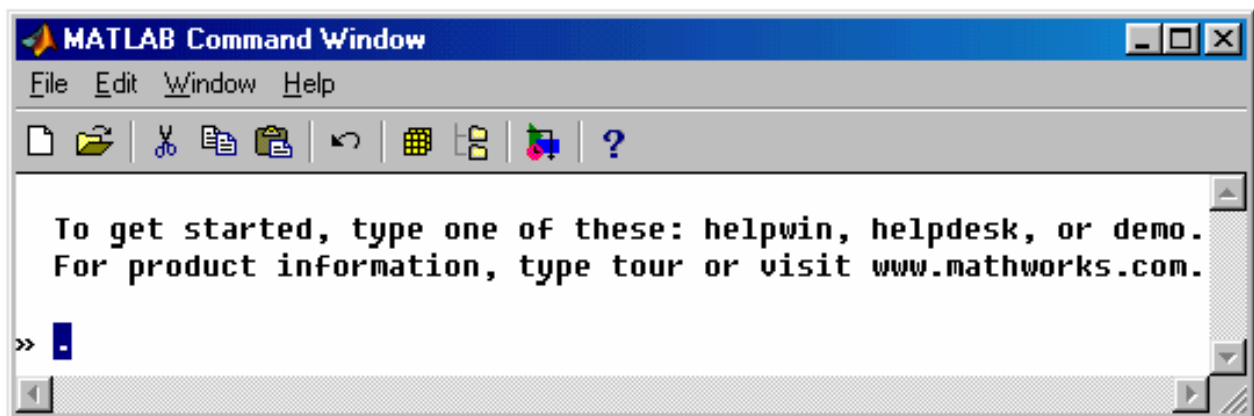


Рис.2.1. Командное окно системы MATLAB

Главное меню по форме такое же, как и меню пользователя любого Windows-приложения. Оно содержит следующие разделы:

- **File** (команды работы с файлами и опции настройки системы);
- **Edit** (команды редактирования информации, отображаемой в рабочем поле окна);
- **Window** (список открытых окон приложения);
- **Help** (команды вызова доступных средств помощи).

Ниже расположена панель инструментов, обеспечивающая быстрый доступ к наиболее часто используемым командам из разделов меню (рис.2.2).

После запуска MATLABa в клиентской области командного окна появляется *знак приглашения* “>>”, после которого можно вводить команды MATLABa.

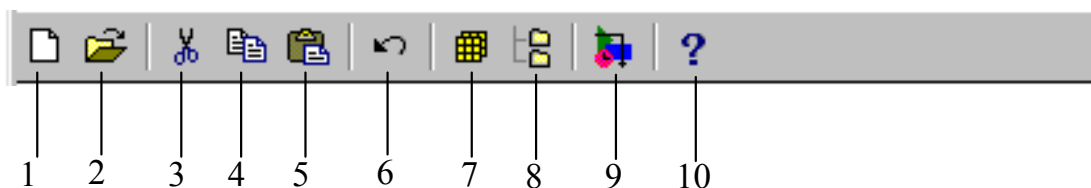


Рис.2.2. Панель инструментов командного окна системы MATLAB:

1 – создание нового M-файла; 2 – открытие существующего M-файла; 3 - 5 – стандартные операции редактирования (вырезать, копировать, вставить); 6 – отмена предыдущего действия (команды); 7 – Workspace Browser – просмотр содержимого рабочей области памяти MATLABa; 8 – Path Browser – вывод на экран диалогового окна настройки путей доступа к файлам и директориям; 9 – New Simulink Model – запуск ИП Simulink; 10 – вызов справки по функциям MATLABa

Подробное описание команд системы MATLAB 5.x, а также её возможностей приведено в [1,2].

2. Запустить ИП Simulink. Для этого можно воспользоваться двумя путями:

а) ввести с помощью клавиатуры, в командном окне системы (после значка приглашения «»») следующий текст:

» ***simulink***

и нажать клавишу «Enter»;

б) «щелкнуть» левой клавишей «мыши» на пиктограмме New Simulink Model, находящейся на панели инструментов командного окна (рис.2.2, поз.9).

После запуска ИП Simulink на дисплее компьютера появляется окно просмотра библиотек – Simulink Library Browser (рис.2.3), состоящее из трёх частей: меню пользователя (1), области разделов библиотеки ИП Simulink (2) и области комментария (3).

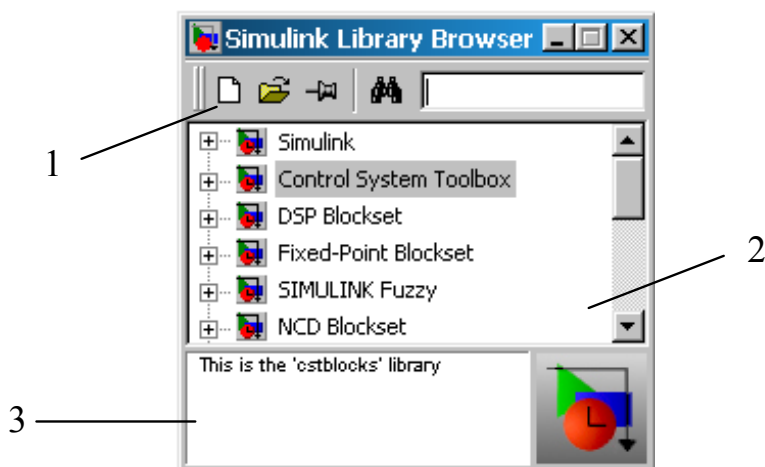



Рис.2.3. Окно просмотра библиотек ИП Simulink (Simulink Library Browser)

Библиотека ИП Simulink содержит следующие основные разделы:

- **Simulink** – основные блоки ИП Simulink;
- **Control System Toolbox** – моделирование систем управления;
- **DSP Blockset** – цифровая обработка сигналов;
- **Fixed-Point Blockset** – моделирование систем с фиксированной разрядностью;
- **Power System Blockset** – моделирование энергетических систем;
- **и другие.**

Меню пользователя окна просмотра библиотек ИП Simulink представлено рис.2.4.

Для открытия раздела библиотек нужно «щелкнуть» ЛКМ на значке  либо дважды «щелкнуть» на самом разделе.

Разделы библиотеки содержат подразделы, а те, в свою очередь, - блоки – основную структурную единицу моделей. При выборе какого-либо из блоков в области комментария (рис.2.3, поз.3) появляется краткое описание блока.

Описание основных блоков ИП Simulink приведено в [3].

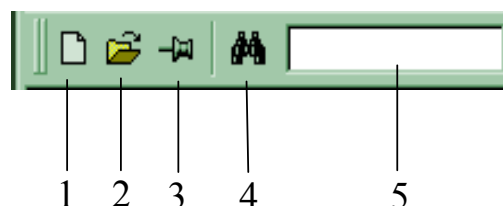


Рис.2.4. Меню пользователя окна Simulink Library Browser:

- 1 – создать новую модель;
- 2 – открыть существующую модель;
- 3 – расположить окно поверх всех открытых окон;
- 4 – найти блок в библиотеке;
- 5 –

3. Используя меню пользователя окна Simulink Library Browser, открыть окно новой модели (рис.2.5). Окно новой модели по умолчанию имеет имя **untitled** (*безымянное*), которое может быть изменено при записи файла модели на диск.

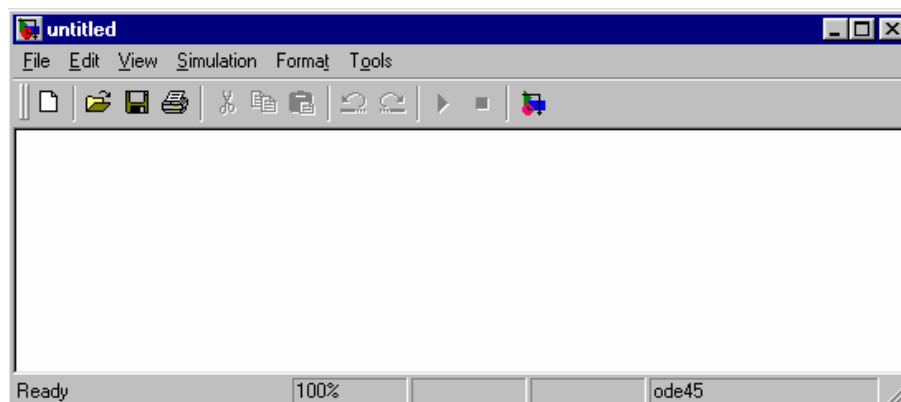


Рис.2.5. Окно новой модели

Окно содержит панель меню пользователя, панель инструментов и строку состояния.

Меню пользователя содержит четыре основных раздела:

- **File** (команды работы с файлами и опции настройки печати);
- **Edit** (команды редактирования модели);
- **Simulation** (команды управления моделированием);
- **Format** (команды изменения оформления модели и её отображения в окне).

Более подробно состав меню пользователя и назначение всех команд описаны в [3].

Общий вид и назначение элементов панели инструментов иллюстрирует рис.2.6.

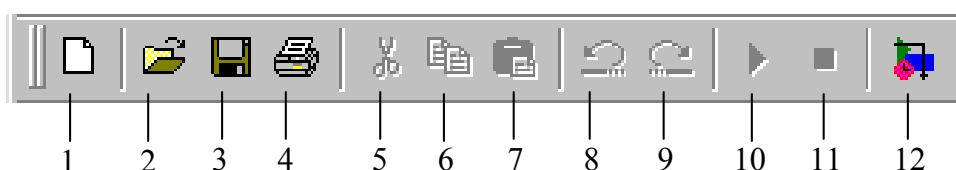


Рис.2.6. Панель инструментов окна модели ИП Simulink:

1 – открыть новое окно модели; 2 – открыть существующую модель; 3 – сохранить файл модели; 4 – печатать модель; 5 - 9 – стандартные операции редактирования (вырезать, копировать, вставить, отменить, вернуть); 10 – запуск/приостановка процесса моделирования; 11 – остановка процесса моделирования; 12 – вызов окна Simulink Library Browser

В строке состояния отражаются: информация о текущем состоянии модели, индикация степени завершенности сеанса моделирования, текущее значение модельного времени, используемый алгоритм расчета состояний модели.

4. Создать новую модель. Для этого открыть требуемый раздел библиотеки, выбрать необходимый блок, нажать ЛКМ и, не отпуская её, перетащить выбранный блок в окно модели.

Аналогичным образом перетащить все, необходимые для создания модели блоки.

Соединить входы и выходы блоков в соответствии с их назначением и логикой работы модели.

Для соединения блоков на их изображениях имеются значки входных и выходных портов (рис.2.7).

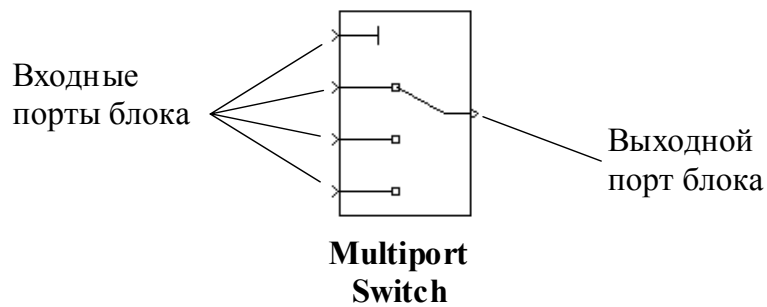


Рис.2.7. Входные и выходные порты блока **Multiport Switch**

Чтобы соединить два блока, нужно установить курсор на выходной порт одного блока (курсor примет форму крестика), нажать ЛКМ и, не отпуская её, протянуть линию до входного порта другого блока. Отпустить ЛКМ. При соединении блоков значки портов исчезнут.

Чтобы подсоединить связь к уже существующей линии, нужно: установить курсор на линию, нажать правую клавишу «мыши» (ПКМ), протянуть линию к нужному входному порту, и отпустить ПКМ.

После соединения блоков необходимо установить их параметры. Для этого «двойным щелчком» ЛКМ на изображении блока открыть окно установки параметров блока и установить необходимые параметры. На рис.2.8 приведен пример окна установки параметров блока.

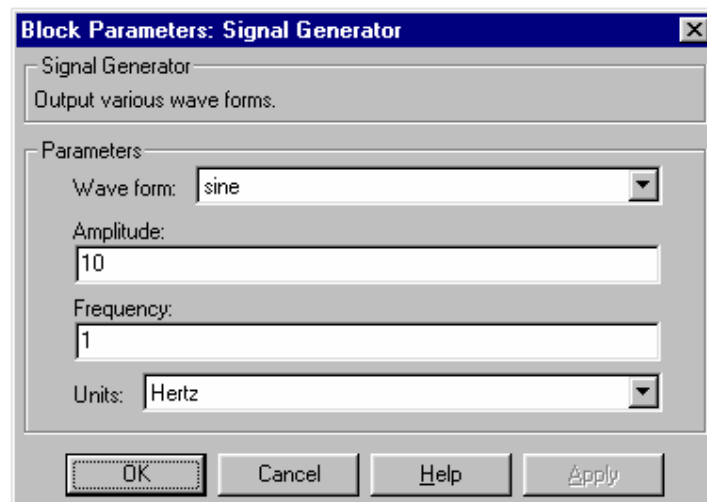


Рис.2.8. Окно установки параметров блока **Signal Generator**

Оно состоит из области описания блока, одной или нескольких строк установки параметров блока и управляющих кнопок: **Ok** (применить установленные параметры и закрыть окно установки), **Cancel** (отменить), **Help** (вызвать файл справки), **Apply** (применить установленные параметры).

Перед запуском модели на выполнение нужно сохранить файл созданной модели. Для сохранения файла можно воспользоваться панелью инструментов (см. рис.2.6, поз.3), либо командой сохранения файла из раздела **File**. В появившемся диалоговом окне ввести имя файла, и файл модели будет сохранен в текущей директории MATLABa (по умолчанию – директория Work).

5. Установить параметры моделирования. Для этого в разделе **Simulation** меню пользователя выбрать команду **Parameters**, которая откроет окно настроек параметров моделирования (рис.2.9).

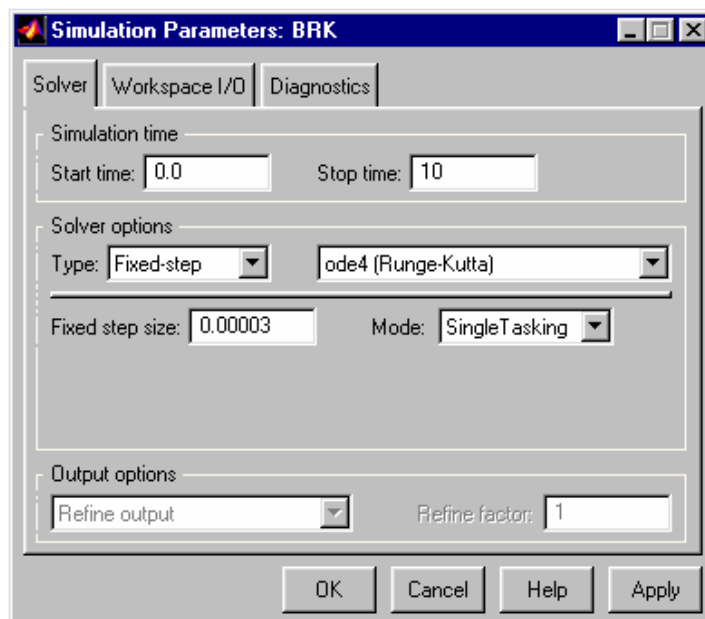


Рис.2.9. Окно установки параметров моделирования

Окно содержит три вкладки:

- **Solver** (установка параметров расчета модели);
- **Workspace I/O** (установка параметров обмена данными с рабочей областью MATLABa);
- **Diagnostics** (выбор уровня диагностики).

На вкладке **Solver** нужно произвести следующие установки:

- ✓ **Simulation time** (интервал моделирования) задается посредством указания начального (**Start time**) и конечного (**Stop time**) значений модельного времени;
- ✓ **Solver options** – выбор метода расчета модели. С помощью меню **Type** задается способ изменения модельного времени (**Variable-step** – моделирование с переменным шагом, **Fixed-step** – моделирование с постоянным шагом) и метод решения обыкновенных дифференциальных уравнений, которыми опи-

сываются блоки модели. Как правило, **Variable-step** используется для моделирования непрерывных систем, а **Fixed-step** – дискретных. При моделировании первых возможно задание максимальной величины шага моделирования (**Max step size**) и начального значения шага моделирования (**Initial step size**), а также относительной (**Relative tolerance**) и абсолютной (**Absolute tolerance**) точности вычислений. При моделировании дискретных систем задается величина фиксированного шага моделирования (**Fixed step size**).

После установки соответствующих параметров моделирования нужно применить их нажатием кнопки **Apply** или **Ok**.

6. Запустить процесс моделирования, воспользовавшись панелью инструментов окна модели (рис.2.6, поз.10) или командой **Start** раздела **Simulation**.

## 2.2. Пример создания модели

Рассмотрим пример создания модели широтно-импульсного модулятора (ШИМ).

Для создания модели запустим систему MATLAB, ИП Simulink и откроем окно новой модели. В окне Simulink Library Browser двойным «щелчком» ЛКМ откроем библиотеку **Simulink**, а в ней раздел – **Sources (Источники)**. В этом разделе найдем блоки: **Repeating Sequence**, **Sine Wave** и перетащим их в окно новой модели. Аналогично поступим с блоками: **Sum**, **Sign** (раздел **Math (Математические функции)**), **Mux** (раздел **Signals & Systems (Сигналы и системы)**), **Scope** (раздел **Sinks (Получатели)**). Соединим блоки, как показано на рис.2.10.

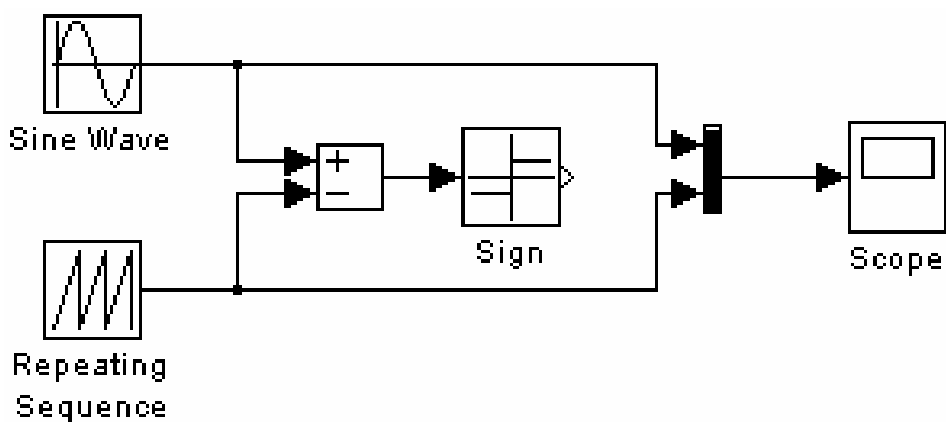


Рис.2.10. Модель широтно-импульсного модулятора

Далее нужно настроить каждый из блоков модели. Для этого необходимо открыть окно настройки параметров каждого из блоков двойным «щелчком» ЛКМ на изображении блока и ввести нужные значения параметров.

Рассмотрим особенности настройки блоков, входящих в нашу модель.

Блок **Repeating Sequence**. Генерирует пилообразное колебание с заданными параметрами. Блок имеет 2 параметра настройки (рис.2.11):

- **Time values** (*временные значения*) – числовой массив, состоящий из двух значений: первое – начальное время генерации, а второе – период генерации.
- **Output values** (*входные значения*) – числовой массив, состоящий из двух значений: – первое – значение на выходе блока в начальный момент времени, а второе – в конце периода генерации.

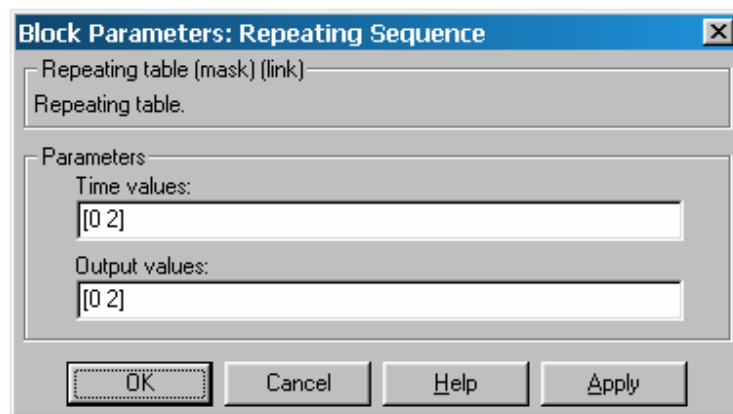


Рис.2.11. Окно настроек блока **Repeating Sequence**

Установим следующие значения параметров блока:

**Time values** = [ 0 0.5 ];

**Output values** = [ 1 -1 ].

После ввода новых значений соответствующих параметров следует применить их нажатием управляющих кнопок **Ok** или **Apply**.

Блок **Sine Wave**. Генерирует гармоническое колебание с заданными параметрами. В нашей модели он моделирует напряжение команды, подаваемое на вход ШИМ. Блок имеет 4 параметра настройки:

- **Amplitude** (*амплитуда*) – амплитуда синусоиды;
- **Frequency (rad/sec)** (*частота (рад/сек)*) – частота синусоиды;
- **Phase (rad)** (*фаза (рад)*) – начальная фаза колебания;
- **Sample time** (*модельное время*) – служебный параметр.

Установим следующие значения параметров блока:

**Amplitude** = 0.7;

**Frequency** = 2;

**Phase (rad)** = 0.

Блок **Sum**. Представляет собой блок суммирования входных сигналов. Его используют в двух режимах:

- 1) сложения входных сигналов (в том числе с разными знаками);
- 2) суммирования элементов вектора, поступающего на вход.

Блок имеет один параметр настройки – **List of sings** (*список знаков*), значения которого могут задаваться одним из трёх способов:

- в виде последовательности знаков «+» и «-»; при этом число знаков определяет число входов, а сам знак – полярность входного сигнала;
- в виде целой положительной константы (больше 1); ее значение равно числу входов блока, а все входы считаются положительными;
- в виде символа «1», который указывает на использование блока во втором режиме.

Установим значение параметра **List of sings** в виде «списка знаков»: «+ -».

Блок **Sign**. Реализует функцию определения знака входного сигнала. На выходе блока появляется значение, равное «1», если значение входного сигнала больше нуля, «-1» – если меньше, и «0» – если сигнал на входе равен нулю.

Блок **Mux**. Выполняет объединение входных величин в один линейный вектор. Размерность результирующего вектора равна суммарному количеству элементов, поступающих на входные порты блока. Блок имеет один параметр настройки – **Number of inputs** (*число входов*). Установим значение параметра **Number of inputs** = 2.

Блок **Scope**. Позволяет в процессе моделирования наблюдать динамику изменения сигналов в системе. Создаваемое с его помощью «смотровое окно» напоминает экран измерительного прибора. Открыть окно блока можно только после того, как блок помещен в окно модели (дважды «щелкнув» на изображении блока ЛКМ). Размер и пропорции окна можно менять произвольно, используя курсор «мыши».

По оси ординат шкалы измерений откладываются значения наблюдаемой величины, по оси абсцисс – значения модельного времени.

В случае векторного входного сигнала для каждого элемента вектора в окне строится отдельная кривая. Выводимые кривые различаются цветом, который устанавливается автоматически.

Для управления параметрами окна блока в нем имеется панель меню (рис.2.12).

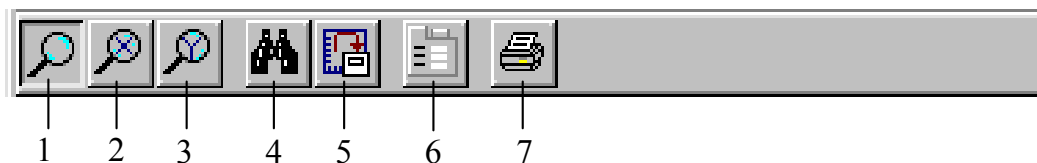


Рис.2.12. Панель инструментов блока **Scope**:

1 – изменение масштаба осей графика; 2 – изменение масштаба по оси абсцисс; 3 – изменение масштаба по оси ординат; 4 – автоматическая установка оптимального масштаба осей; 5 – запоминание установленного масштаба осей; 6 – вызов диалогового окна настройки параметров блока; 7 – печать содержимого окна блока

Для изменения масштаба по выбранной оси координат необходимо сначала нажать на одну из кнопок изменения масштаба, подвести курсор «мыши» к участку графика, который должен быть отображен в новом масштабе, и щелкнуть ЛКМ.

Окно настройки параметров блока (окно Properties) открывается «щелчком» ЛКМ на управляющей кнопке (рис.2.12, поз.6). Оно содержит две вкладки:

- **Axes** (оси), позволяющая устанавливать параметры осей графика;
- **Setting** (установки), предназначенная для ввода дополнительных параметров блока.

Подробное описание полей этих вкладок приведено в [3].

Установим значение поля **Number of axes** =2, после чего применим новые значения параметров, щелкнув ЛКМ на кнопке **Ok**. При этом на изображении блока в окне модели появится дополнительный входной порт, к которому мы подключим выход ШИМ (выход блока **Sign**).

Откроем окно настроек параметров моделирования с помощью команды **Parameters** в разделе **Simulation** меню пользователя окна модели (см. рис.2.9).

Установим следующие значения полей на вкладке **Solver**:

**Start time** = 0;

**Stop time** = 4;

**Max step size** = 0.05.

После ввода соответствующих значений применим их нажатием кнопки **Apply** или **Ok**.

Модель готова к исследованию.

Сохраним файл созданной модели в текущей директории, для чего воспользуемся командой **Save** раздела **File** меню пользователя окна модели, либо управляющей кнопкой (см. рис.2.6, поз. 3) панели инструментов окна модели.

Воспользовавшись управляющей кнопкой (см. рис.2.6, поз.10) панели инструментов окна модели, запустим процесс моделирования. После окончания процесса моделирования окно блока **Scope** будет иметь вид, представленный рис.2.13.

Названия блокам SIMULINK присваивает автоматически, но при желании их можно изменить, щелкнув ЛКМ на названии соответствующего блока и введя новое (допустим также ввод названий с использованием символов кириллицы).

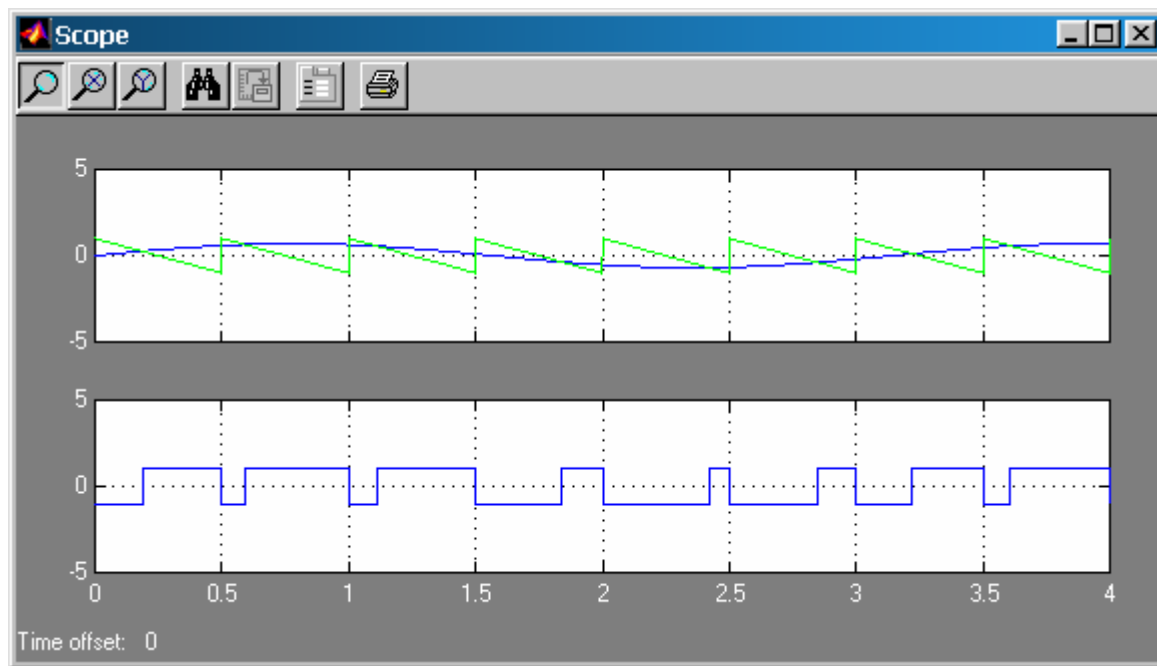


Рис.2.13. Вид окна блока **Scope** после окончания процесса моделирования

Если созданную модель предполагается использовать в качестве составной части более сложной модели, то удобнее объединить её в подсистему (**Subsystem**). Для этого следует открыть раздел **Signals & Systems**, перетащить в окно модели блок **Subsystem**, открыть его двойным щелчком ЛКМ и перетащить в появившееся окно все блоки, которые предполагается объединять в подсистему (в нашем случае – все, кроме блоков **Sine Wave** и **Scope**). В то же окно из раздела **Signals & Systems** нужно перетащить один блок **In** и два блока **Out**. Блок **In** подключается к свободному входу блока **Sum**, а блоки **Out** – к выходам блоков **Mux** и **Sign**, а окно подсистемы закрыть. В окне модели вместо выделенных блоков появится изображение одного блока с названием **Subsystem** и тремя портами – одним входным и двумя выходными, к которым следует подключить блоки **Sine Wave** и **Scope**. Процесс моделирования можно повторить – результат должен быть таким же.

### 3. ОПИСАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

#### 3.1. Состав программного обеспечения

Лабораторные работы выполняются на ЭВМ, на которой установлена система MATLAB версии не ниже 5.3, включая ИП Simulink.

Для выполнения лабораторных работ необходимо также наличие, установленного дополнительно раздела библиотеки ИП Simulink – **Лабораторные работы по курсу РТН и У**, который содержит пять подразделов. Каждый из подразделов включает в себя блоки для создания модели системы, соответствующей одной из пяти лабораторных работ.

Порядок создания моделей описан выше (см. разд. 1 и 2).

При необходимости дополнительного исследования моделей могут использоваться блоки из других разделов библиотеки ИП Simulink.

#### 3.2. Лабораторная работа № 1

##### ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ БОКОВОГО радиоУПРАВЛЕНИЯ

1. Запустить систему MATLAB и ИП Simulink. Открыть окно новой модели.

2. В окне «Simulink Library Browser» открыть разделы библиотеки **Control System Toolbox \ Лабораторные работы по курсу РТН и У \ Лабораторная работа №1 \**. Ознакомиться с назначением блоков и их параметрами (табл. п.1).

3. В окне новой модели создать модель передающего тракта системы бокового управления. Сохранить файл модели в текущей директории. Установить параметры блоков модели. Рекомендуемые значения параметров системы бокового управления и соответствующие им параметры некоторых блоков модели приведены в табл.3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

##### Рекомендуемые значения параметров системы

Название параметра	ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
Верхняя граничная частота сигнала команды, Гц	$F_{k \max} = 4$ Гц
Частота манипуляции, Гц	$F_{\text{МН}} = 20$ Гц

Окончание табл. 3.1

Название параметра	ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
Частота несущей, Гц	$f_{\text{нес}} = 5000$ Гц
Частота F1, Гц	F1 = 500 Гц
Частота F2, Гц	F2 = 700 Гц

Таблица 3.2

### Рекомендуемые значения параметров блоков модели

Название блока	Значения параметров блока
Электронный коммутатор	Пороговое значение – 0,5
Генератор НЧ F1 (F2)	Амплитуда – 0,7. Частота – 500 (700) Гц
Синхронизатор	Период – 0,05. Скважность – 50%
Передающее устройство	Амплитуда несущей – 0,7. Частота несущей – 5000 Гц
Амплитудный детектор 1	Порядок выходного ФНЧ – 5. Частота среза выходного ФНЧ – 7000 Гц
Амплитудный детектор 2	Порядок выходного ФНЧ – 5. Частота среза выходного ФНЧ – 550 Гц
Амплитудный детектор 3	Порядок выходного ФНЧ – 5. Частота среза выходного ФНЧ – 750 Гц
Фильтр, подавляющий частоту манипуляции	Порядок фильтра – 3. Частота среза фильтра – 360 Гц
Фильтр, настроенный на частоту манипуляции	Порядок фильтра – 8. Нижняя граничная частота фильтра – 15 Гц Верхняя граничная частота фильтра – 25 Гц.
Формирователь импульсов	"Точка включения" – 0,2. "Точка выключения" – 0,1. Выходное значение при пересечении входным сигналом "точки включения" – 1. Выходное значение при пересечении входным сигналом "точки выключения" – 0
Фазовый детектор	Порядок выходного ФНЧ – 5. Частота среза выходного ФНЧ – 10 Гц

4. Установить параметры моделирования

**Type:** *Fixed-step, ode5 (Dormand Prince)*,

**Fixed step size:** *0,00003 или 3e-5*

и запустить модель на выполнение. Просмотреть эпюры напряжения на выходах блоков передающего тракта с помощью блока **Scope** и зарисовать их.

5. Создать модель приемного тракта системы бокового управления. Установить параметры блоков модели. Запустить модель на выполнение. Просмотреть эпюры напряжения на выходах блоков приемного тракта и зарисовать их.

6. Задать закон движения цели относительно равносигнальной зоны антенной системы передающего устройства в виде гармонического колебания частотой  $\leq F_{k_{max}}$  и амплитудой  $\leq 0,14$  (подается на вход передающего тракта). Запустить модель на выполнение. Сравнить сигнал на выходе приемного тракта с заданным законом движения цели. Просмотреть и зарисовать график ошибки наведения.

7. Включить между приемным и передающим трактами системы блок «Сумматор», ко второму входу последнего подключить выход блока «Шум». Изучить влияние шумов на ошибку наведения.

8. Сделать выводы по лабораторной работе. При необходимости провести дополнительные исследования модели.

9. Подготовить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- блок-схему модели передающего тракта системы бокового управления;
- эпюры напряжений на выходах блоков передающего тракта;
- блок-схему модели приемного тракта системы бокового управления;
- эпюры напряжений на выходах блоков приемного тракта;
- графики ошибок наведения;
- выводы.

### 3.3. Лабораторная работа № 2

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОЛИНИИ УПРАВЛЕНИЯ С МЕТОДОМ

#### МОДУЛЯЦИИ сигнала управления ШИМ-ЧМн-АМ

1. Запустить систему MATLAB и ИП Simulink. Открыть окно новой модели.

2. В окне «Simulink Library Browser» открыть разделы библиотеки **Control System Toolbox \ Лабораторные работы по курсу РТН и У \**

**Лабораторная работа №2 \ .** Ознакомьтесь с назначением блоков, и их параметрами (см. табл. п.1).

3. В окне новой модели создать модель передающего тракта радиолнии управления. Сохранить файл модели в текущей директории. Установить параметры блоков модели. Рекомендуемые значения параметров тракта радиолнии управления и соответствующие им параметры некоторых блоков приведены в табл.3.4 и 3.5.

Таблица 3.4

**Рекомендуемые значения параметров радиолнии**

Название параметра	Значения параметров
Верхняя граничная частота сигнала команды, Гц	$F_k \max = 4$ Гц
Частота манипуляции, Гц	$F_{mn} = 20$ Гц
Частота F1, Гц	$F1 = 8000$ Гц
Частота F2, Гц	$F2 = 11000$ Гц

Таблица 3.5

**Рекомендуемые значения параметров блоков модели**

Название блока	Значения параметров блока
Электронный коммутатор	Пороговое значение – 0
Амплитудный детектор 1 (2)	Порядок выходного ФНЧ – 3. Частота среза выходного ФНЧ– 9100 (12100)Гц
Фильтр, настроенный на частоту F1 (F2)	Порядок фильтра – 3. Нижняя граничная частота фильтра– 6900 (9900) Гц. Верхняя граничная частота фильтра– 9100 (12100) Гц
Формирователь импульсов	"Точка включения" – 0,4. "Точка выключения" – 0,3. Выходное значение при пересечении входным сигналом "точки включения" – 1. Выходное значение при пересечении входным сигналом "точки выключения" – 0
Фильтр, моделирующий детектор ШИМ 1 (2)	Порядок фильтра – 4. Нижняя граничная частота фильтра – 30 (30) Гц

4. Установить параметры моделирования

**Type:** *Fixed-step, ode5 (Dormand Prince)*,

**Fixed step size:** *0,00003 или 3e-5*

и запустить модель на выполнение. Просмотреть эпюры напряжения на выходах блоков передающего тракта с помощью блока **Scope** и зарисовать их.

5. Создать модель приемного тракта радиолнии управления. Запустить модель на выполнение. Установить параметры блоков модели. Просмотреть эпюры напряжения на выходах блоков приемного тракта и зарисовать их.

6. Подать на вход передающего устройства гармонический сигнал с частотой  $\leq F_{K_{\max}}$  и амплитудой  $\leq 0,95$ . Запустить модель на выполнение. Сравнить сигнал на выходе приемного тракта с сигналом на входе радиолнии. Просмотреть и зарисовать график ошибки передачи сигнала команды.

7. Включить между приемным и передающим трактами системы блок «Сумматор», ко второму входу последнего подключить выход блока «Шум». Изучить влияние шумов на работу радиолнии.

8. Сделать выводы по лабораторной работе. При необходимости провести дополнительные исследования модели.

9. Подготовить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- блок-схему модели передающего тракта радиолнии управления с методом модуляции ШИМ-ЧМн-АМ;
- эпюры напряжений на выходах блоков передающего тракта;
- блок-схему модели приемного тракта радиолнии управления;
- эпюры напряжений на выходах блоков приемного тракта;
- графики ошибок передачи сигнала команды;
- выводы.

### 3.4. Лабораторная работа № 3

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОЛИНИИ УПРАВЛЕНИЯ С МЕТОДОМ

#### МОДУЛЯЦИИ сигнала управления КИМ-АМ

1. Рассчитать параметры радиолнии управления с методом модуляции КИМ-АМ.

2. Запустить систему MATLAB и ИП Simulink. Открыть окно новой модели.

3. В окне «Simulink Library Browser» открыть разделы библиотеки **Control System Toolbox \ Лабораторные работы по курсу РТН и У \**

**Лабораторная работа №3 \ .** Ознакомиться с назначением блоков, и их параметрами (см. табл. п.1).

4. В окне новой модели создать модель передающего тракта радиолнии управления. Сохранить файл модели в текущей директории. Установить параметры блоков модели в соответствии с рассчитанными параметрами радиолнии.

5. Подобрать параметры моделирования и запустить модель на выполнение. Просмотреть эпюры напряжения на выходах блоков передающего тракта с помощью блока **Scope** и зарисовать их.

6. Создать модель приемного тракта радиолнии управления. Установить параметры блоков модели. Запустить модель на выполнение. Просмотреть эпюры напряжения на выходах блоков приемного тракта и зарисовать их.

7. Подать на вход передающего устройства гармонический сигнал с частотой  $\leq F_{kmax}$  и амплитудой  $\leq 0,95$ . Запустить модель на выполнение. Сравнить сигнал на выходе приемного тракта с сигналом на входе радиолнии. Просмотреть и зарисовать график ошибки передачи сигнала команды.

8. Включить между приемным и передающим трактами системы блок «Сумматор», ко второму входу последнего подключить выход блока «Шум». Изучить влияние шумов на работу радиолнии.

9. Сделать выводы по лабораторной работе. При необходимости провести дополнительные исследования модели.

10. Подготовить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- блок-схему модели передающего тракта радиолнии управления с методом модуляции КИМ-АМ;
- эпюры напряжений на выходах блоков передающего тракта;
- блок-схему модели приемного тракта радиолнии управления;
- эпюры напряжений на выходах блоков приемного тракта;
- графики ошибок передачи сигнала команды;
- выводы.

### 3.5. Лабораторная работа № 4

#### ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО МОНОИМПУЛЬСНОГО ПЕЛЕНГАТОРА

1. Запустить систему MATLAB и ИП Simulink. Открыть окно новой модели.

2. В окне «Simulink Library Browser» открыть разделы библиотеки **Control System Toolbox \ Лабораторные работы по курсу РТН и У \ Лабораторная работа №4 \**. Ознакомиться с назначением блоков и их параметрами (см. табл. п.1).

3. В окне новой модели создать модель амплитудного моноимпульсного пеленгатора. Сохранить файл модели в текущей директории. Установить параметры блоков модели. Рекомендуемые значения параметров некоторых блоков модели приведены в табл.3.6.

Таблица 3.6

### Рекомендуемые значения параметров блоков модели

Название блока	Значения параметров блока
Генератор несущей	Амплитуда несущей – 1. Частота несущей – 10000 Гц
Гетеродин	Амплитуда сигнала – 1. Частота генерации – 11000 Гц
УПЧ 1 (2)	Коэффициент усиления – 0,6 (0,6)
Амплитудный детектор 1 (2)	Порядок выходного ФНЧ – 4. Частота среза выходного ФНЧ – 100 (100)Гц

4. Подать на вход моноимпульсного пеленгатора гармонический сигнал с амплитудой  $\leq 0,25$ .

5. Установить параметры моделирования

**Type:** *Fixed-step, ode4 (Runge-Kutta)*,

**Fixed step size:** *0,00001 или 1e-5*

и запустить модель на выполнение. Просмотреть эпюры напряжения на выходах блоков моноимпульсного пеленгатора с помощью блока **Scope**.

6. Сравнить сигнал на выходе моноимпульсного пеленгатора с сигналом на его входе. Просмотреть и зарисовать график ошибки наведения.

7. Изменить коэффициент передачи одного из каналов моноимпульсного пеленгатора. Просмотреть и зарисовать график ошибки наведения.

8. Подключить к входу моноимпульсного пеленгатора блок «Шум». Изучить влияние шумов на работу пеленгатора.

9. Сделать выводы по лабораторной работе. При необходимости провести дополнительные исследования модели.

10. Подготовить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- блок-схему модели моноимпульсного пеленгатора;
- эпюры напряжений на выходах блоков пеленгатора;

- графики ошибок наведения;
- выводы.

### 3.6. Лабораторная работа № 5

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМКНУТЫХ КОНТУРОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМ РАДИОТЕЛЕНАВЕДЕНИЯ, РАДИОТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ И САМОНАВЕДЕНИЯ

1. Запустить систему MATLAB и ИП Simulink. Открыть окно новой модели.

2. В окне «Simulink Library Browser» открыть разделы библиотеки **Control System Toolbox \ Лабораторные работы по курсу РТН и У \ Лабораторная работа №5 \**.

3. Перетащить в окно новой модели блок «Контур РТН», представляющий собой модель замкнутого контура управления системы радиотеленаведения. Ознакомиться с составом модели.

4. Исследовать работу контура. Исследования проводятся по индивидуальной программе, определяемой преподавателем для каждой подгруппы.

5. Исследовать работу замкнутого контура управления систем радиотелеуправления и самонаведения согласно пп. 3,4.

6. Сделать выводы по лабораторной работе. При необходимости провести дополнительные исследования модели.

7. Подготовить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- блок-схемы моделей замкнутых контуров систем радиотеленаведения, радиотелеуправления и самонаведения;
- программы исследований для каждого контура;
- результаты исследований, выполненных согласно индивидуальным программам;
- выводы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мартынов Н. Н., Иванов А. П. MATLAB 5.x. Вычисления, визуализация, программирование. – М.:КУДИЦ-ОБРАЗ, 2000. – 336 с.
2. Потемкин В. Г. Система инженерных и научных расчетов MATLAB 5.x: В 2 т. – М.:ДИАЛОГ-МИФИ, 1999. - Т.1 – 366 с.Т.2 – 304 с.
3. Гультяев А. К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows: Практическое пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 1999. –288 с.
4. Типугин В. Н., Вейцель В. А. Радиоуправление. – М.:Сов. радио, 1962. – 750 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

### Описание блоков, используемых в лабораторных работах

Название блока	Назначение	Параметры блока
<b>Генератор НЧ F1 (F2)</b>	Генерирует гармоническое колебание с заданной частотой и амплитудой	<b>Wave form</b> - вид генерируемого колебания. <b>Amplitude</b> - амплитуда колебания. <b>Frequency</b> - частота колебания. <b>Units</b> – единицы измерения
<b>Пилообразное колебание</b>	Генерирует пилообразное колебание с заданными параметрами	<b>Time values</b> – начальное и конечное время нарастания "пилы". Значения вводятся в квадратных скобках через пробел. <b>Output values</b> – амплитуда "пилы" (максимальное и минимальное значения). Значения вводятся в квадратных скобках через пробел
<b>Электронный коммутатор</b>	Подключает вход 1 (считая сверху) к выходу, если значение сигнала на входе 2 больше порогового значения или равно ему, иначе – подключает вход 3.	<b>Threshold</b> - пороговое значение
<b>Синхронизатор</b>	Генерирует прямоугольные импульсы с заданными параметрами	<b>Period</b> – период следования импульсов. <b>Duty cycle</b> – скважность в процентах от периода. <b>Amplitude</b> – амплитуда импульсов. <b>Start time</b> – время начала генерации
<b>Усилитель</b>	Осуществляет линейное усиление сигнала	<b>Gain</b> – коэффициент усиления

Название блока	Назначение	Параметры блока
<b>Формирователь импульсов</b>	Формирует фиксированное выходное значение в зависимости от величины входного сигнала	<b>Switch on point</b> – "точка включения". <b>Switch off point</b> – "точка выключения". <b>Output when on</b> – выходное значение при пересечении входным сигналом "точки включения". <b>Output when off</b> – выходное значение при пересечении входным сигналом "точки выключения"
<b>"СИГНУМ"</b>	Реализует функцию определения полярности входного сигнала ( $\text{sign}(x)$ )	Изменяемых параметров не имеет. Выходное значение равно 1, если входной сигнал больше нуля, или "-1", если меньше нуля, или 0, если равен нулю
<b>Линия задержки</b>	Осуществляет задержку сигнала	<b>Time delay</b> – время задержки. <b>Initial input</b> – значение амплитуды входного сигнала в момент инициализации блока. <b>Initial buffer size</b> – объем памяти для хранения параметров задержанного сигнала
<b>ШУМ</b>	Генерирует "нормальный белый шум"	<b>Mean</b> – математическое ожидание. <b>Variance</b> – дисперсия процесса. <b>Initial seed</b> – начальное значение для инициализации генератора случайных чисел. <b>Sample time</b> – шаг изменения модельного времени.

Барышев Игорь Владимирович  
Мазуренко Александр Владимирович

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ**  
**В СРЕДЕ MATLAB**

Редактор Л. В. Ескевич

Св. план, 2002

Подписано в печать 05.04.2002

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. офс. № 2. Офс. печ.

Усл. печ. л. 1,6. Уч.-изд.л. 1,87. Т. 10 экз. (электронное издание) Заказ 176.

Цена свободная

---

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Х а р ь к о в с к и й а в и а ц и о н н ы й и н с т и т у т»

61070, Харьков–70, ул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Издательский центр «Х А И»

61070, Харьков–70, ул. Чкалова, 17

[mizdat@khai.edu](mailto:mizdat@khai.edu)