

О проекте  
 Новости  
 В работе  
 ChipNews  
 ИМЭ  
 Подписка  
 Новости рынка  
 Рубрикатор  
 Форум  
 Ссылки  
 Реклама

ПОИСК:

НАЙТИ

Список рассылок:

Имя: \_\_\_\_\_  
 E-mail: \_\_\_\_\_

ДОБАВИТЬ

ОПРОСЫ:

Работает ли сайт?  
 Работает  
 Не работает  
 Не разберёшься

ГОЛОСОВАТЬ

Результат опроса

**В. Анохин, А. Ланно**

**MATLAB для DSP. Часть 1. Моделирование аналого-цифрового преобразования**

Среди большого числа пакетов прикладных программ система MATLAB (The Math Works Inc.) занимает особое место. Первоначально ориентированная на исследовательские проекты, система в последние годы стала рабочим инструментом не только учёных, но также инженеров-разработчиков и студентов. В сообществе радиоинженеров, управленцев, физиков и связистов MATLAB получил необычайное распространение и по сути стал средством междисциплинарного и международного общения. Особенно широко, эффективно и эффективно система MATLAB применяется в области обработки сигналов, которая по необходимости затрагивает информатику и связь, управление, радиолокацию и радионавигацию, радиовещание и телевидение, медицинское приборостроение и измерительную технику, автотранспортную и бытовую электронику и многое другое. Не случайно в широком спектре возрастов, затронутых системой MATLAB, приложениям, упомянутым выше, уделено особое внимание.

В действительности, система MATLAB — это огромный мир средств и возможностей решения разнообразных задач в различных областях человеческой деятельности. Построенная по единым принципам для разных предметных областей, MATLAB одновременно является и операционной средой, и языком программирования. Для упрощения, прежде всего, технических решений в системе разбиты на и продолжают развиваться:

- предметно ориентированный инструментарий — TOOLBOXES — пакеты прикладных программ;
  - SIMULINK — система для имитационного моделирования проектов, представленных в виде композиции функциональных блоков, источников сигналов, приёмников и измерительных средств;
  - MATLAB EXTENSIONS — набор программных средств, позволяющий строить и ускорить реализацию алгоритмов, выполненных с использованием MATLAB (это компилятор, библиотека функций на языке C и C++ и др.);
  - GUI — графический интерфейс пользователя — средство, позволяющее в предметной области для наиболее часто встречающихся задач одного уровня (расчёт фильтров, спектральный анализ, вейвлет-анализ и др.) создать инструмент анализа, расчёта, проектирования, максимально приближённый к практическим потребностям инженера и требующий для освоения минимальных интеллектуальных и временных затрат.

По системе MATLAB написано много книг (см. [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com) и библиографию к заметке), только на русском языке — около 10. Упомянутые издания можно разделить на несколько групп:

- книги, посвящённые собственно системе MATLAB или отдельным её частям;
  - книги, посвящённые организации и проведению учебного процесса по различным аспектам системы;
  - книги прикладного или теоретического характера в конкретных предметных областях, использующие MATLAB как инструмент для решения примеров и задач и средство организации иллюстраций.

К сожалению, русскоязычной литературы по MATLAB явно недостаточно, и видимо этим объясняется явное использование системы в инженерной среде и учебном процессе.

Целью акции "MATLAB для DSP" является привлечение внимания к обсуждаемой системе широкой инженерной общественности. Для этого предполагается в 2000 году в журналах "Chip News" и "Цифровая обработка сигналов" опубликовать 10–12 статей, объединённых едиными методическими принципами под общей редакцией. Статьи будут носить учебный характер, но построены на примерах решения важных технических задач, что позволит совместить обучение с инженерной практикой и, таким образом, на наш взгляд, существенно повысить интерес к публикациям.

В качестве предметной области, для которой строятся содержательные примеры, использованы приложения, имеющие дело с обработкой сигналов. А в качестве предмета обучения выбраны два типа инструментов: MATLAB-SIMULINK и GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI). Первый обеспечивает имитационное моделирование сложных систем в разнообразных режимах, а второй — графический интерфейс пользователя — предназначен для решения задач анализа и синтеза расчёта разнообразных объектов в режиме, максимально удобном и наглядном для пользователя.

Во многих (хотя далеко не во всех) случаях именно с помощью этого инструментария инженер либо студент может решить часто встречающиеся задачи с минимальными затратами времени и сил на обучение и прийти к цели кратчайшим путём. Именно это обстоятельство особенно важно, сформировать неформальный интерес и в последующем побудить читателя к основательному знакомству с MATLAB.

Завершая предисловие к нашему учебно-инженерному проекту "MATLAB для DSP", следует отметить несколько важных обстоятельств:

- Применение MATLAB позволяет использовать для решения задач самые последние достижения науки, так как система является плодом сотрудничества мирового сообщества учёных, его лучших представителей.
  - Разговор на языке MATLAB в среде MATLAB — это способ международного и междисциплинарного общения учёных и инженеров.
  - Работа в системе MATLAB позволяет результат и удовольствие каждому, независимо от глубины профессиональной подготовки. Этот факт напоминает арены льда, когда истинное наслаждение от катания, воздуха, снега и гор получает и "чайник", и мастер спорта.
  - И последнее. MATLAB — эффективное средство решения подчас весьма сложных задач, а, следовательно, это экономия времени и денег.

**А. Ланно**

**Введение**

В рамках проекта "MATLAB для DSP" настоящая статья — первая публикация по наиболее простым и удобным средствам имитационного моделирования, которые предоставляет пакет MATLAB. Речь идёт о составной части этого пакета — программе Simulink. Несмотря на то, что Simulink посвящены обстоятельные разделы в книге по MATLAB [1] и даже отдельная монография [2], представляется полезным на конкретных примерах показать, как возможности Simulink могут быть использованы в задачах построения систем для цифровой обработки сигналов и учебном процессе. Здесь мы следуем известной рекомендации Ньютона: примеры часто бывают поучительнее методов. Читатель, будь то преподаватель, инженер или студент, имеет возможность без труда повторить наши примеры, что побудит использовать MATLAB в практической деятельности.

Каждый, кто занимается цифровой обработкой сигналов, знает, как важно построить математическую модель проектируемого устройства, реализовать её в виде программы и затем провести на этой модели испытания в условиях, "приближающихся к боевым".

Simulink является мощным средством решения таких задач для разных предметных областей и, может быть, в первую очередь, для задач в области цифровой обработки сигналов. Использование Simulink во многих случаях исключает утомительные и трудоёмкие этапы составления и отладки программы, позволяя сосредоточить основные усилия непосредственно на решении "ваших" предметно-ориентированных задач. Инженеру или студенту нужно освоить правила использования готовых функциональных блоков, из которых, как из конструктора, составляется модель проектируемого устройства, а также, и это следует особо подчеркнуть, "испытательный стенд", то есть вся необходимая инфраструктура, включающая источники сигналов, измерительные приборы и средства наблюдения за процессами и характеристиками процессов. При этом гарантируется высокое качество "строительного материала", в создании которого использованы опыт и знания ведущих специалистов.

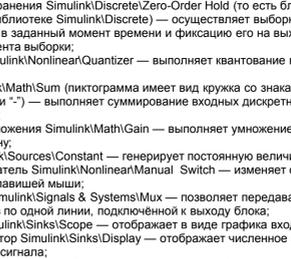
Итак, Simulink — это интерактивная графическая программа, управляемая мышью, которая позволяет моделировать динамические системы на уровне структурных и функциональных блоков. Библиотеки Simulink содержат большое количество разнообразных функциональных блоков, которые отображаются на экране в виде пиктограмм.

Построение модели сводится к перемещению с помощью мыши необходимых блоков из библиотек Simulink в окно создаваемой модели и соединению этих блоков между собой. Работая с программой Simulink, можно создавать модели линейных и нелинейных, аналоговых, дискретных и смешанных (аналогово-дискретных) цепей и систем, изменять параметры блоков непосредственно во время процесса моделирования и сразу же наблюдать реакцию моделируемой системы. Всё это делает работу с Simulink одинаково привлекательной как для начинающих пользователей, так и для опытных специалистов. В пакете MATLAB 5.3 указано подробное описание программы Simulink, которое содержится в файле `sl_using.pdf`. Отметим также вышедшие недавно книги [1, 2], содержащие основные сведения о Simulink и примеры моделей динамических систем.

В настоящей статье описывается процесс построения простой модели аналого-цифрового преобразователя (АЦП), а также рассматриваются эффекты, связанные с аналого-цифровым преобразованием. В первой части приводятся состав и краткое описание модели, процесс её построения, а также процедура компоновки модели. Во второй части, которая будет опубликована в "Chip News" № 3, будут приведены процесс построения модели, необходимые сведения о входящих в неё функциональных блоках и результаты моделирования, а также дополнительные возможности по использованию модели.

**Описание моделируемой системы**

Для того, чтобы продемонстрировать, насколько просто и удобно строить модели устройств и создавать "измерительные стенды" в Simulink, моделируем простейший АЦП, функциональная схема которого показана на рис. 1. Наша цель — изучить эффекты аналого-цифрового преобразования. Исходный сигнал с генератора, расположенный в левой части рисунка, поступает на вход АЦП, моделируемого с помощью последовательно соединённых блоков Zero-Order Hold и Quantizer (на рисунке модель подключена в контур). Осциллографы позволяют наблюдать за исходным сигналом и результатом его преобразования (Score1), а также за поведением ошибки квантования (Score).



**Рис. 1. Моделирование аналого-цифрового преобразования сигналов**

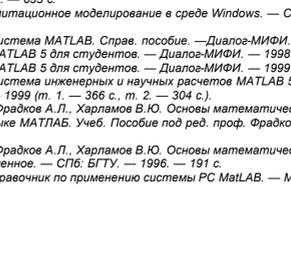
Блок вычисления гистограммы (Histogram) предназначен для вычисления, а блок графического отображения (User-Defined Frame Score) — для построения гистограммы (в нашем случае, ошибки квантования). В рассматриваемой модели блок Histogram формирует векторный выходной сигнал, содержащий число значений входного сигнала, попадающих в заданные интервалы (иногда их называют бинами), а блок User-Defined Frame Score строит график на котором по оси ординат отложены значения этого сигнала, а по оси абсцисс — номера интервалов, называемых интервалами группировки.

Вычисление и отображение дисперсии ошибки выполняется соответственно блоками Variance и Display. Как видно из рисунка, в зависимости от положения переключателя Manual Switch, на входы Rst блоков Variance и Histogram поступают постоянные сигналы, равные либо нулю, либо единице. При поступлении на эти входы ненулевого (в данном случае, равного единице) сигнала, накопленная в блоках информация стирается, и происходит обнуление выходов.

Кроме моделирования во временной области, можно вычислять и графически отображать оценки спектральной плотности мощности (СПМ) исходного и преобразованного сигналов и ошибки квантования. Это выполняется с помощью блоков Buffered FFT Frame Score и Buffered FFT Frame Score1, которые вычисляют квадрат амплитуды преобразования Фурье входных данных, накопленных в буфере каждого из блоков, а затем выводят результаты в виде графиков. Каждый рст после заполнения буфера, вычисления и графического отображения результата происходит очистка буфера, и процесс повторяется. Блоки Gain-Gain2 играют роль масштабирующих множителей (усилителей, аттенуаторов). Таким образом, при моделировании можно наблюдать изменяющийся СПМ, соответствующий разным выборкам сигналов, взвешенных прямоугольным временным окном. Размер окна совпадает с размером буфера.

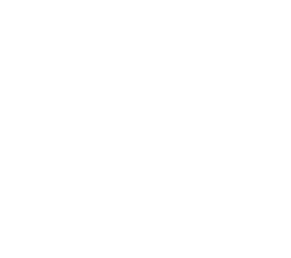
**Компоновка модели**

Перед построением модели необходимо предварительно загрузить систему MATLAB и запустить Simulink. Запуск выполняется из командного окна MAT-LAB, для чего необходимо подвести курсор мыши к кнопке запуска этой программы, находящейся в верхней части окна, и щёлкнуть левой клавишей мыши либо набрать в командном окне следующую команду `simulink`, как показано на рис. 2.



**Рис. 2. Командное окно MATLAB и запуск Simulink**

В том и другом случае откроется окно Simulink Library Browser (система просмотра библиотек Simulink), изображённое на рис. 3. В верхней части этого окна две крайние левые кнопки служат, соответственно, для создания новой и открытия существующей модели. После нажатия левой кнопки на экране появится окно для построения новой модели. Процесс построения модели АЦП, как и впрочем, и любой другой модели Simulink, включает её компоновку и задание необходимых параметров. Компоновка заключается в выборе из библиотек Simulink необходимых блоков, их размещение в открывшемся окне и соединение между собой.



**Рис. 3. Система просмотра библиотек Simulink Library Browser**

**Поиск и перемещение блоков**

Процедура поиска и перемещения блоков из библиотек Simulink в окно модели во многом напоминает операцию копирования и перемещения файлов в среде Windows. В частности, поместив работу с Simulink Library Browser (рис. 3) аналогичная работе с Проводником Windows, технология в окне модели блоки источников сигналов Signal Generator (генератор синусоидальных, прямоугольных, пилообразных и случайных сигналов) и Band-Limited White Noise (генератор шума в заданной полосе частот), находящийся по адресу `Simulink\Sources`, для чего откроем библиотеку Simulink в окне Simulink Library Browser, и находящуюся в ней библиотеку Sources. В результате, окно Simulink Library Browser примет вид, аналогичный показанному на рис. 4 (там также указаны блоки, которые в системе MATLAB имеют в своём названии "Gain"). Для перемещения курсор мыши устанавливается на нужный блок. Затем, нажав левую клавишу мыши, блок перемещается его в окно модели. Отметим, что, кроме непосредственного просмотра содержимого библиотеки, любой блок может быть найден по имени (если оно известно), введённому в текстовое поле, расположенное в правой верхней части Simulink Library Browser (рис. 4).



**Рис. 4. Библиотека Sources**

Кроме источников сигналов нам потребуются следующие блоки, которые также следует поместить в окно модели:

- блок выборки и хранения SimulinkDiscreteZero-Order Hold (то есть блок Zero-Order Hold, находящийся в библиотеке SimulinkDiscrete) — осуществляет выборку мгновенного значения входного сигнала в заданный момент времени и фиксирует его на выходе вплоть до следующего момента выборки;
- квантователь SimulinkNonlinearQuantizer — выполняет квантование входного сигнала по уровню;
- сумматор SimulinkMathSum (пиктограмма имеет вид кружка со знаками арифметических операций "+" и/или "-") — выполняет суммирование входных дискретных сигналов с учётом указанных знаков;
- коэффициент умножения SimulinkMathGain — выполняет умножение входного сигнала на заданную величину;
- константа SimulinkSourcesConstant — генерирует постоянную величину;
- ручной переключатель SimulinkNonlinearManual Switch — изменяет своё состояние двойным щелчком левой клавишей мыши;
- мультиплексор SimulinkSignals & SystemsMux — позволяет передавать заданное количество входных сигналов по одной линии, подключённой к выходу блока;
- осциллограф SimulinkSinksScope — отображает в виде графика входной сигнал;
- цифровой индикатор SimulinkSinksDisplay — отображает численное значение текущего отсчёта входного сигнала;
- блок вычисления дисперсии DSP BlocksetMath FunctionsStatisticsVariance — вычисляет дисперсию входного сигнала;
- блок вычисления гистограммы DSP BlocksetMath FunctionsStatisticsHistogram — вычисляет гистограмму для заданного диапазона значений входного сигнала;
- блок графического отображения DSP BlocksetDSP SinksUser-Defined Frame Score — позволяет строить графики входных данных, не ограничивая пользователя только временными данными;
- блок дифференциал и вычисления квадрата преобразования Фурье DSP BlocksetDSP SinksBuffered FFT Frame Score — накапливает в буфере отсчёты входного сигнала, после заполнения буфера вычисляет квадрат преобразования Фурье.

**Соединение и дублирование блоков**

Для объединения блоков в систему необходимо соединить их входные и выходные порты, которые на пиктограммах блоков отмечены знаком ">". В качестве примера на рис. 5 показаны порты блока Gain (коэффициент усиления). Для того, чтобы соединить два блока между собой, надо подвести курсор мыши к порту одного из соединяемых блоков (при этом курсор примет форму крестика, как показано на рис. 6а), нажать левую клавишу мыши и, удерживая её в нажатом положении, переместить курсор к порту другого блока (курсor примет вид двойного крестика, что отражено на рис. 6б), после чего отпустить удерживаемую клавишу.



**Рис. 5. Входные и выходные порты**



**Рис. 6. Соединение блоков: а) в этом положении курсора нажать левую клавишу мыши б) в этом положении курсора отпустить левую клавишу мыши**

Из рис. 1 видно, что для построения модели требуется по два блока Zero-Order Hold, Score, Mux, Constant, Buffered FFT Frame Score, Sum и три блока Gain. Конечно, можно многократно повторять процедуру перемещения одного и того же блока из библиотеки в окно создаваемой модели, однако Simulink позволяет создавать копии (дубликаты) блоков из имеющихся в окне модели. Для создания копии блока надо установить курсор на требуемый блок в окне модели, нажать на клавиатуре клавишу "Ctrl" и затем левую клавишу мыши. В результате, слева от курсора появится знак "+" (рис. 7а). Затем, удерживая клавишу в нажатом положении, переместить в нужное место курсор и отпустить нажатые клавиши. При построении модели, как видно из рис. 1, требуется не только соединить блоки между собой, но и делать ответвления от существующих соединительных линий. Например, линия, соединяющая входной порт сумматора, имеет ответвление к блоку Gain1. Проведение линии, соединяющей входной порт какому-либо блоку с существующей линией, выполняется аналогично дублированию блоков, то есть при нажатой клавише "Ctrl". Разница лишь в том, что в этом случае курсор мыши устанавливается на линию, от которой проводится ответвление, и перемещается к выходному порту соединяемого блока, или наоборот (от входного порта к линии).



**Рис. 7. Дублирование блоков: а) начальное положение курсора и результат нажатия левой клавиши мыши и "CTRL" на клавиатуре; б) результат перемещения курсора при удерживаемых клавишах**

Необходимые программные средства для проекта предоставлены фирмой SoftLine Corp.

**Литература**

1. Дьяконов В.П., Абрамченко И.В. *Matlab 5.0/5.3. Система символьной математики. — М.: "Голдберг", — 1999. — 633 с.*
2. Гультяев А.К. *Имитационное моделирование в среде Windows. — СПб.: КОРОНА принт. — 1999. — 288 с.*
3. Потемкин В.Г. *Система MATLAB. Стрел. пособие. — Дивалов-МИФИ. — 1997. — 350 с.*
4. Потемкин В.Г. *MATLAB 5 для инженеров. — Дивалов-МИФИ. — 1998. — 314 с.*
5. Потемкин В.Г. *MATLAB 5 для студентов. Дивалов-МИФИ. — 1999. — 447 с.*
6. Потемкин В.Г. *Система инженерных и научных расчётов MATLAB 5.x. В 2-х томах. — Дивалов-МИФИ. — 1999 (т. 1. — 366 с., т. 2. — 304 с.).*
7. Есаринов Д.П., Фрадкин А.Л., Харламов В.Ю. *Основы математического моделирования с примерами на языке MATLAB. Учеб. Пособие под ред. проф. Фрадкин А.Л. — СПб: БГТУ. — 1994. — 190 с.*
8. Есаринов Д.П., Фрадкин А.Л., Харламов В.Ю. *Основы математического моделирования. Издание 2-е, переработанное. — СПб: БГТУ. 1996. — 191 с.*
9. Дьяконов В.П. *Справочник по применению системы PC-MATLAB. — М.: Наука, Физматлит. — 1993. — 112 с.*