

Введение. Основные понятия и определения

Цель обучения студентов способам и методам моделирования, исследования и оптимизации систем электропривода промышленных механизмов с применением средств вычислительной техники.

При создании машин, технических комплексов и других объектов широко используется моделирование. Как средство познания и преобразования материального мира моделирование применяется в экспериментальных и теоретических научных исследованиях.

Основные определения теории моделирования

Моделирование представляет собой процесс замещения объекта исследования некоторой его моделью и проведение исследований на модели с целью получения необходимой информации об объекте. **Модель** — это физический или абстрактный образ моделируемого объекта, удобный для проведения исследований и позволяющий адекватно отображать интересующие исследователя физические свойства и характеристики объекта. Удобство проведения исследований может определяться различными факторами: легкостью и доступностью получения информации, сокращением сроков и уменьшением материальных затрат на исследование и др.

Различают моделирование **предметное** и **абстрактное**.

При **предметном** моделировании строят физическую модель, которая соответствующим образом отображает основные физические свойства и характеристики моделируемого объекта. При этом модель может иметь иную физическую природу в сравнении с моделируемым объектом (например, электронная модель гидравлической или механической системы). Если модель и объект одной и той же физической природы, то моделирование называют физическим.

Физическое моделирование широко применялось до недавнего времени при создании сложных технических объектов. Обычно изготавливался макетный или опытный образец технического объекта, проводились испытания, в процессе которых определялись его выходные параметры и характеристики, оценивались надежность функционирования и степень выполнения технических требований, предъявляемых к объекту. Если вариант технической разработки оказывался неудачным, все повторялось сначала, т. е. осуществлялось повторное проектирование, изготовление опытного образца, испытания и т. д.

Физическое моделирование сложных технических систем сопряжено с большими временными и материальными затратами.

Абстрактное моделирование связано с построением **абстрактной модели**. Такая модель представляет собой математические соотношения, графы, схемы, диаграммы и т. п. Наиболее мощным и универсальным методом абстрактного моделирования является математическое моделирование. Оно широко используется как в научных исследованиях, так и при проектировании.

Математическое моделирование позволяет посредством математических символов и зависимостей составить описание функционирования технического объекта в окружающей внешней среде, определить выходные параметры и характеристики, получить оценку показателей эффективности и качества, осуществить поиск оптимальной структуры и параметров объекта. Применение математического моделирования при проектировании в большинстве случаев позволяет отказаться от физического моделирования, значительно сократить объемы испытаний и доводочных работ, обеспечить создание технических объектов с высокими показателями эффективности и качества. Одним из основных компонентов системы проектирования в этом случае становится математическая модель.

Математическая модель — это совокупность математических объектов и отношений между ними, адекватно отображающая физические свойства создаваемого технического объекта. В качестве математических объектов выступают числа, переменные, множества, векторы, матрицы и т. п. Процесс формирования математической модели и использования ее для анализа и синтеза называется **математическим моделированием**. В конструкторской практике под математическим моделированием обычно понимается процесс **построения математической модели**, а проведение исследований на модели в процессе проектирования называют **вычислительным экспериментом**.

Для осуществления вычислительного эксперимента на ЭВМ необходимо разработать алгоритм реализации математической модели.

Алгоритм – это предписание, определяющее последовательность выполнения операций вычислительного процесса. Алгоритм автоматизированного проектирования представляет собой совокупность предписаний, обеспечивающих выполнение операций и процедур проектирования, необходимых для получения проектного решения. Для наглядности алгоритмы чаще всего представляют в виде схем или графов, иногда дают их вербальное (словесное) описание. Алгоритм, записанный в форме, воспринимаемой вычислительной машиной, представляет собой программную модель. Процесс программирования называют программным моделированием.

Формализация процесса проектирования на основе математического моделирования позволяет его автоматизировать. Одним из основных компонентов системы автоматизированного проектирования (САПР) является математическое обеспечение, включающее математические модели объектов проектирования и их элементов, методы и алгоритмы выполнения проектных операций и процедур.

История

Развитие автоматизированного проектирования прошло несколько стадий. Вначале ЭВМ применялась лишь для выполнения вычислений по методикам, ориентированным на ручное решение. Это не вносило ничего нового в процесс проектирования, а лишь ускоряло выполнение отдельных его этапов. Затем начали использовать математические модели, позволяющие имитировать функционирование объектов проектирования, что позволило обеспечить повышение точности получаемой информации, организовать поиск оптимальных проектных решений и достичь уни-

версальности описания отдельных проектных операций и процедур. Были разработаны единые подходы к получению математических моделей для целых классов технических объектов и эти подходы удалось формализовать. В результате процесс формирования математической модели оказалось возможным возложить непосредственно на ЭВМ. В дальнейшем основные усилия были направлены на разработку стратегии и методологии автоматизированного проектирования.

Полностью формализовать и автоматизировать процесс проектирования практически невозможно и нецелесообразно. На этапах разработки концепции технической системы, формирования технического задания, выбора технического решения, синтеза структуры, принятия решений и др. действия конструктора, основанные на его опыте и интуиции, как правило, непредсказуемы и не поддаются формализации. САПР предусматривает тесное взаимодействие человека и ЭВМ. Это один из основополагающих принципов построения САПР. Вместе с тем все виды проектных работ, которые можно формализовать, должны быть автоматизированы. В этой связи важнейшая роль принадлежит математическому моделированию. При создании САПР необходима не только математическая модель создаваемого технического объекта, но и модели реализации всех проектных операций и процедур.

Для разработки эффективной технологии автоматизированного проектирования необходимо детальное представление обо всех этапах и стадиях создания объекта с тем, чтобы осуществить их формализацию и математическое описание.

Наибольший эффект может дать автоматизация самых ранних этапов проектирования, когда осуществляется выбор технического решения. САПР позволяет просмотреть множество вариантов и отобрать несколько наилучших для дальнейшей Детальной проработки и окончательного выбора.

Операции и процедуры функционального проектирования, как правило, почти полностью поддаются формализации, что в конечном итоге создает необходимые условия для определения и выбора оптимальных параметров и структуры технического объекта. При этом используются математические модели создаваемых объектов, модели оценки и принятия решений, которые в виде соответствующих алгоритмов реализуются при проектировании.

При решении задач синтеза структуры, моделировании процессов функционирования объектов с переменной структурой возникает необходимость постоянного изменения математической модели. Поэтому большое внимание уделяется методам автоматизированного формирования математических моделей.

На различных этапах и стадиях проектирования сложной технической системы используются различные математические модели. На ранних стадиях обычно модели простые, но чем подробнее проработка проекта, тем сложнее нужна модель. Математические модели могут представлять собой системы дифференциальных уравнений (обыкновенных или в частных производных), системы алгебраических уравнений, простые алгебраические выражения, бинарные отношения, матрицы и др. Сложные модели требуют больших затрат времени на проведение вычислительных экспериментов. Системы уравнений таких моделей обычно отличаются плохой обусловленностью, что создает проблемы обеспечения устойчивости вычислительного процесса, достижения необходимой точности при приемлемых затратах времени.

Классификация математических моделей

- статические модели;
- динамические модели.

- линейные модели;
- нелинейные модели.

- стационарные модели;
- нестационарные модели.

- дискретные модели;
- непрерывные модели.

- теоретические модели;
- эмпирические модели.

Методика математического моделирования системы электропривода (с использованием MATLAB)

Система Simulink имеет большое количество пакетов прикладных программ (Toolboxes), каждый из которых разрабатывался для решения конкретных задач.

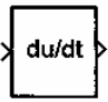
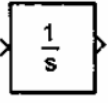

Библиотека Simulink содержит следующие основные разделы:

- Continuous – линейные блоки.
- Discrete – дискретные блоки.
- Functions & Tables – функции и таблицы.
- Math – блоки математических операций.
- Nonlinear – нелинейные блоки.
- Signals & Systems – сигналы и системы.
- Sinks - регистрирующие устройства.
- Sources — источники сигналов и воздействий.
- Subsystems – блоки подсистем.

Модели динамических объектов можно разделить на непрерывные и дискретные. В Simulink возможно выполнить численное моделирование как непрерывного объекта управления, так и дискретного. Для этих целей Simulink имеет такие пакеты прикладных программ как Continuous (Непрерывные элементы) и Discrete (Дискретные элементы).

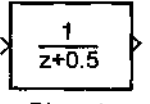
Рассмотрим состав пакета прикладных программ Continuous.

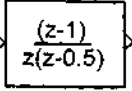
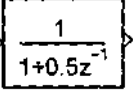
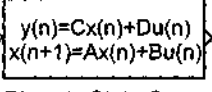
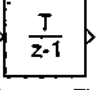

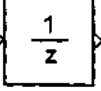

Описание блоков пакета прикладных программ Continuous

Блок	Описание
 Derivative	Вычисляет значение производной входной переменной
 Integrator	Вычисляет значение интеграла. Может конфигурироваться как элемент интегратор со сбросом
 Memory	Вычисляет выходную переменную блока, которая принимает значение входной переменной, снимаемой в момент времени начала предыдущего шага интегрирования. Для функций, реализующих формулы с переменным шагом интегрирования, величина задержки изменяется в

Блок	Описание
	процессе интегрирования.
 <p>State-Space</p>	Формирует модель в виде уравнений состояния линейной стационарной непрерывной системы, имеющей несколько входов и выходов (многомерная система)
 <p>Transfer Fcn</p>	Формирует модель в виде передаточной функции, представленной в форме дробно-рациональной функции (отношение двух многочленов). Многочлены располагаются в порядке убывания степеней переменной s
 <p>Transport Delay</p>	Вычисляет выходную переменную, которая является входной переменной, задержанной на указанное время
 <p>Variable Transport Delay</p>	Вычисляет выходную переменную, которая определяется как входная переменная, подаваемая на верхний входной порт, значение задержки которой задается сигналом, подаваемым на нижний входной порт
 <p>Zero-Pole</p>	Формирует модель в виде передаточной функции, представленной в форме дробно-рациональной функции (отношение разложений многочленов на множители)

Рассмотрим состав пакета прикладных программ Discrete.
Описание блоков пакета прикладных программ Discrete

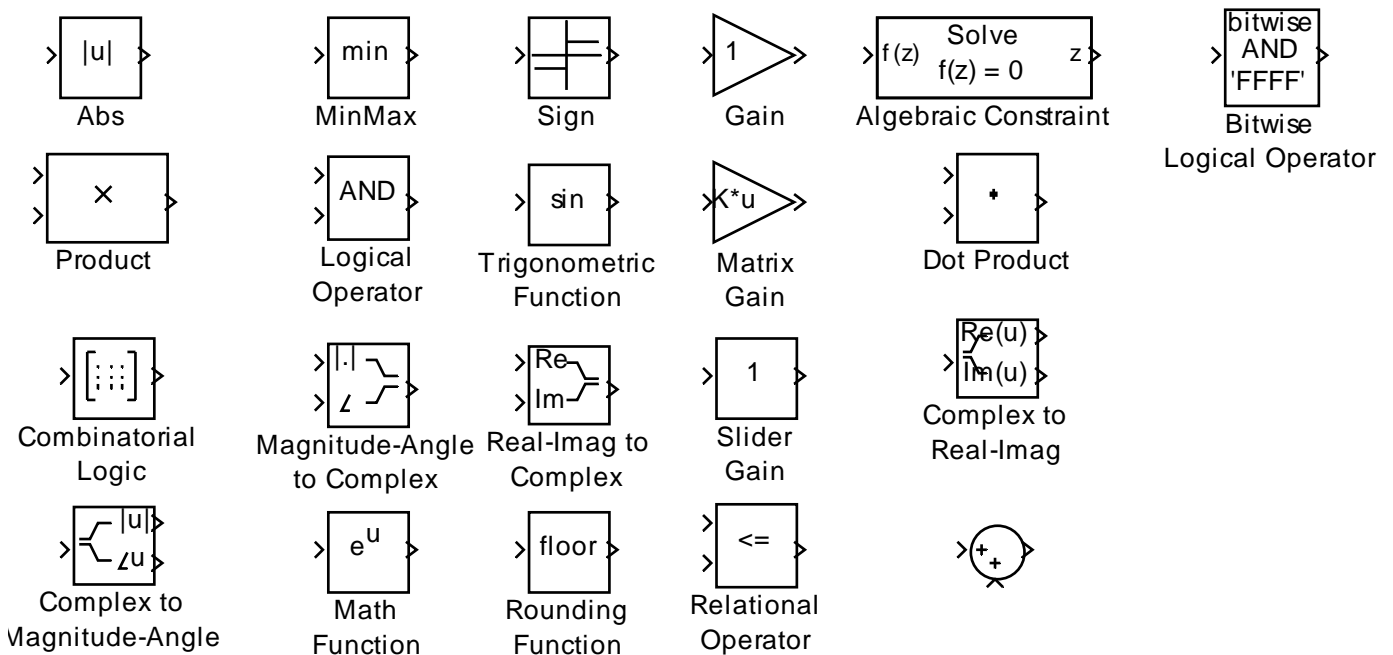
Блок	Описание
 <p>Discrete Transfer Fcn</p>	Формирует модель в виде передаточной функции дискретной системы, представленной в форме дробно-рациональной функции (отношение двух многочленов).

Блок	Описание
	Многочлены располагаются в порядке убывания степеней переменной z
 <p>Discrete Zero-Pole</p>	Формирует модель в виде передаточной функции дискретной системы, представленной в форме дробно-рациональной функции (отношение разложений многочленов на множители)
 <p>Discrete Filter</p>	Формирует модель в виде передаточной функции дискретной системы, представленной в форме дробно-рациональной функции (отношение двух многочленов). Многочлены располагаются в порядке возрастания степеней переменной z^{-1}
 <p>Discrete State-Space</p>	Формирует модель в виде уравнений состояния для многомерной линейной дискретной системы с постоянными параметрами
 <p>Discrete-Time Integrator</p>	Вычисляет значение определенного интеграла по указанным формулам численного интегрирования
 <p>First-Order Hold</p>	Выполняет кусочно-линейную интерполяцию входной переменной многочленом первого порядка
 <p>Unit Delay</p>	Вычисляет выходную переменную, которая принимает значение входной переменной в предыдущий момент квантования
 <p>Zero-Order Hold</p>	Выполняет кусочно-линейную интерполяцию входной переменной многочленом нулевого порядка

Построение модели физического процесса невозможно без выполнения простейших математических операций. Simulink для этих целей предлагает пакет прикладных программ Math (математические функции). Пакет Math включает такие простейшие операции как сложение, вычитание, умножение, деление, возведение в степень, вычисление логарифмов и др.

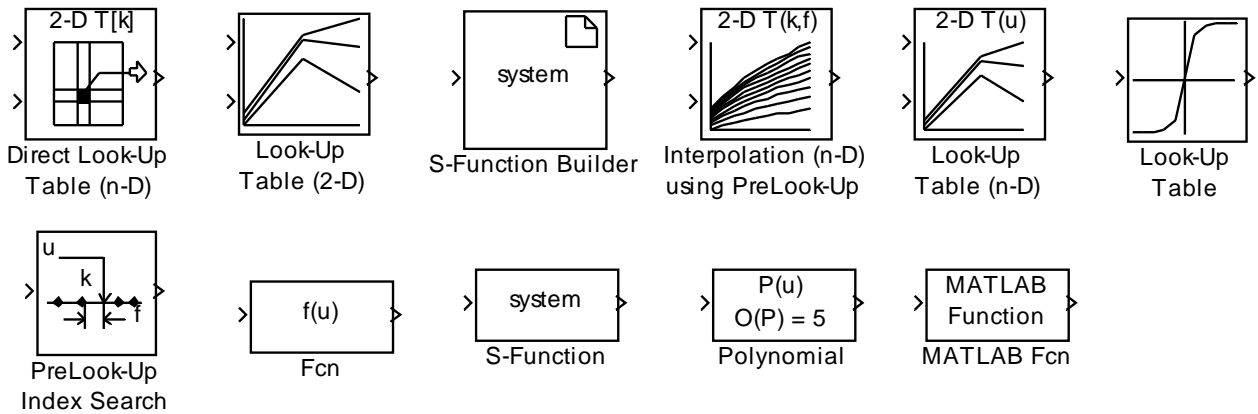
В составе библиотеки находятся моделирующие блоки, реализующие следующие операции:

- Abs – выделение модуля входного сигнала;
- Algebraic Constraint -;
- Assignment
- Bitwise Logical Operator – логическая битовая операция;
- Combinatorial Logic ;
- Complex to Magnitude-Angle – выделение из комплексного числа значений его модуля и аргумента;
- Complex to Real-Imag - выделение из комплексного числа значений его действительной и мнимой части;
- Dot Product – перемножение двух сигналов;
- Gain – умножение сигнала на заданное значение (пропорциональное динамическое звено);



Состав библиотеки Math

При выполнении аппроксимации или построении таблиц переключения удобно воспользоваться блоками библиотеки Functions & Tables.

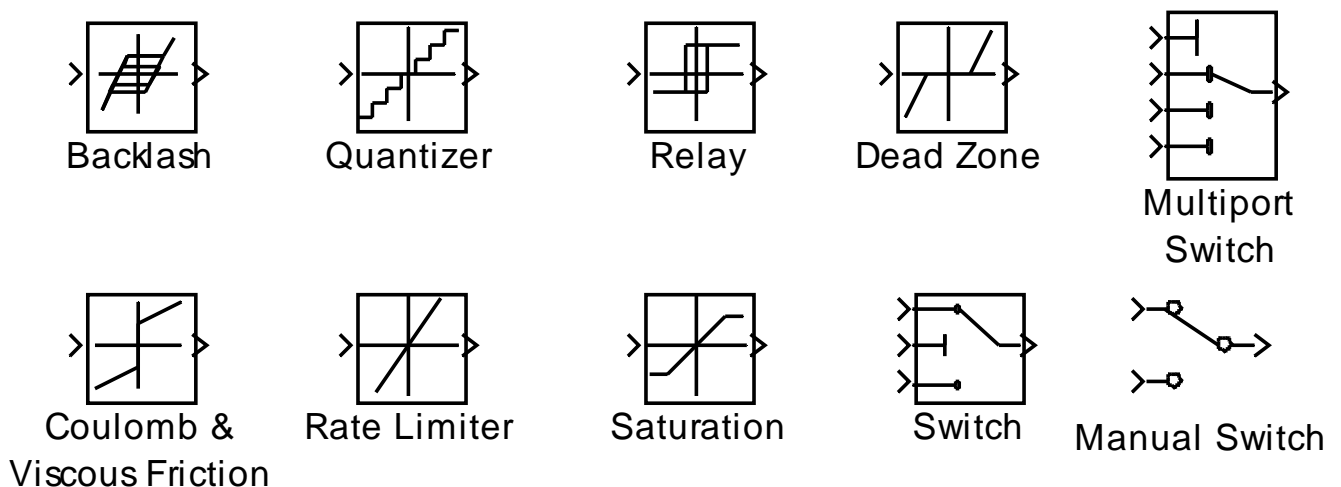


Состав библиотеки Functions & Tables

Библиотека Nonlinear содержит блоки для моделирования нелинейностей типа насыщение, мертвая зона, люфт, ограничитель скорости нарастания, переключатель, дискретизатор.

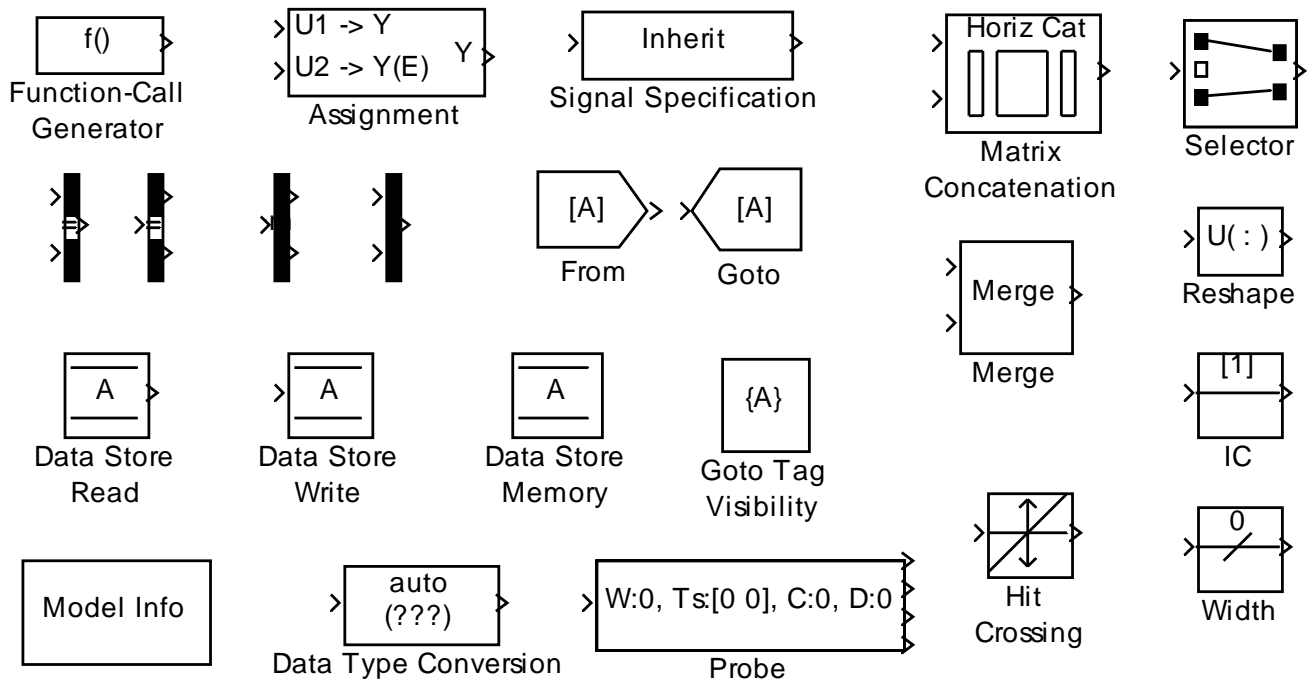
В состав библиотеки входят следующие моделирующие блоки:

- Backlash;
- Coulomb & Viscous Friction;
- Dead Zone – нелинейный элемент «зона нечувствительности»;
- Hit Crossing – блок, фиксирующий моменты перехода через ноль входного сигнала;
- Quantizer – блок квантования входного сигнала по уровню в соответствии с указанным значением дискретности;
- Rate Limiter – блок, ограничивающий скорость нарастания сигнала;
- Relay – релейный элемент;
- Saturation – нелинейный элемент «ограничение» (насыщение), ограничивающий выходной сигнал заданными минимальным и максимальным значениями.



Состав библиотеки Nonlinear

Библиотека Signals & Systems применяется для передачи сигналов в подсистеме, указатели, определения момента наступления события, определенного пользователем.



Состав библиотеки Signals & Systems

Библиотека Sinks предлагает пользователю различные регистрирующие устройства такие как осциллограф, запись данных в файл, дисплей для отображения некоторой величины в процессе моделирования, терминатор.

В состав библиотеки входят следующие блоки:

Display – отображение численного текущего значения фиксируемой переменной (сигнала) модели;

Floating Scope – построение графика динамической характеристики фиксируемой переменной модели;

Out1 – точка передачи данных из подмодели (Subsystem) в модель верхнего уровня иерархии;

Stop Simulation - блок остановки вычислительного процесса моделирования;

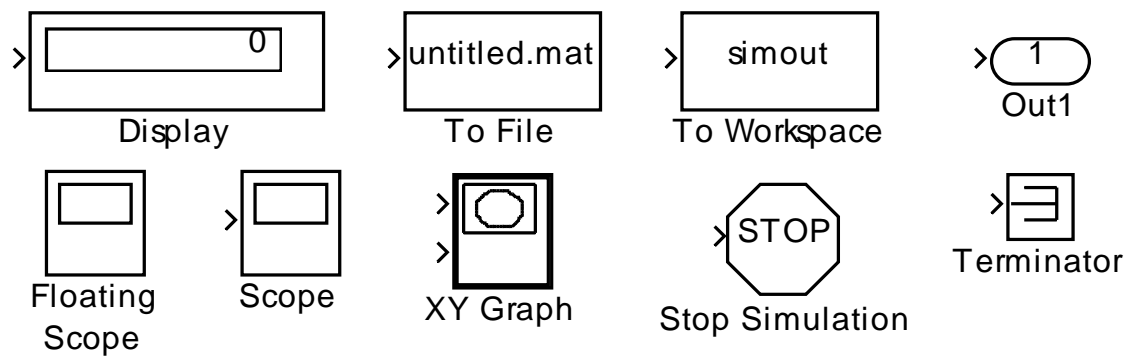
Terminator – блок окончания сигнала, используется в качестве «заглушки» неиспользуемых сигналов модели;

Scope – построение графика динамической характеристики фиксируемой переменной модели;

To File – фиксация результатов расчета переменной в MAT-файл;

To Workspace – фиксация результатов моделирования переменной модели в рабочей области среды MATLAB.

XY Graph – построение графика зависимости двух переменных модели (фазовых портретов).



Состав библиотеки Sinks

Библиотека Sources источники различных сигналов. Таких как ступенька, синусоида, белый шум, системные часы, пилообразный сигнал, периодический и др.

В состав библиотеки входят следующие моделирующие блоки:

Band-Limited White Noise -

Constant – модель постоянного воздействия;

Signal generator – модель непрерывного сигнала произвольной формы;

Step – модель ступенчатого воздействия;

Ramp – модель линейно возрастающего (убывающего) воздействия;

Sine Wave – генератор гармонических колебаний;

Discrete Pulse Generator – модель генератора дискретных импульсов;

Pulse Generator – модель прямоугольных импульсов;

Chirp Signal – модель дискретного временного сигнала;

Clock – модель аналогового сигнала времени;

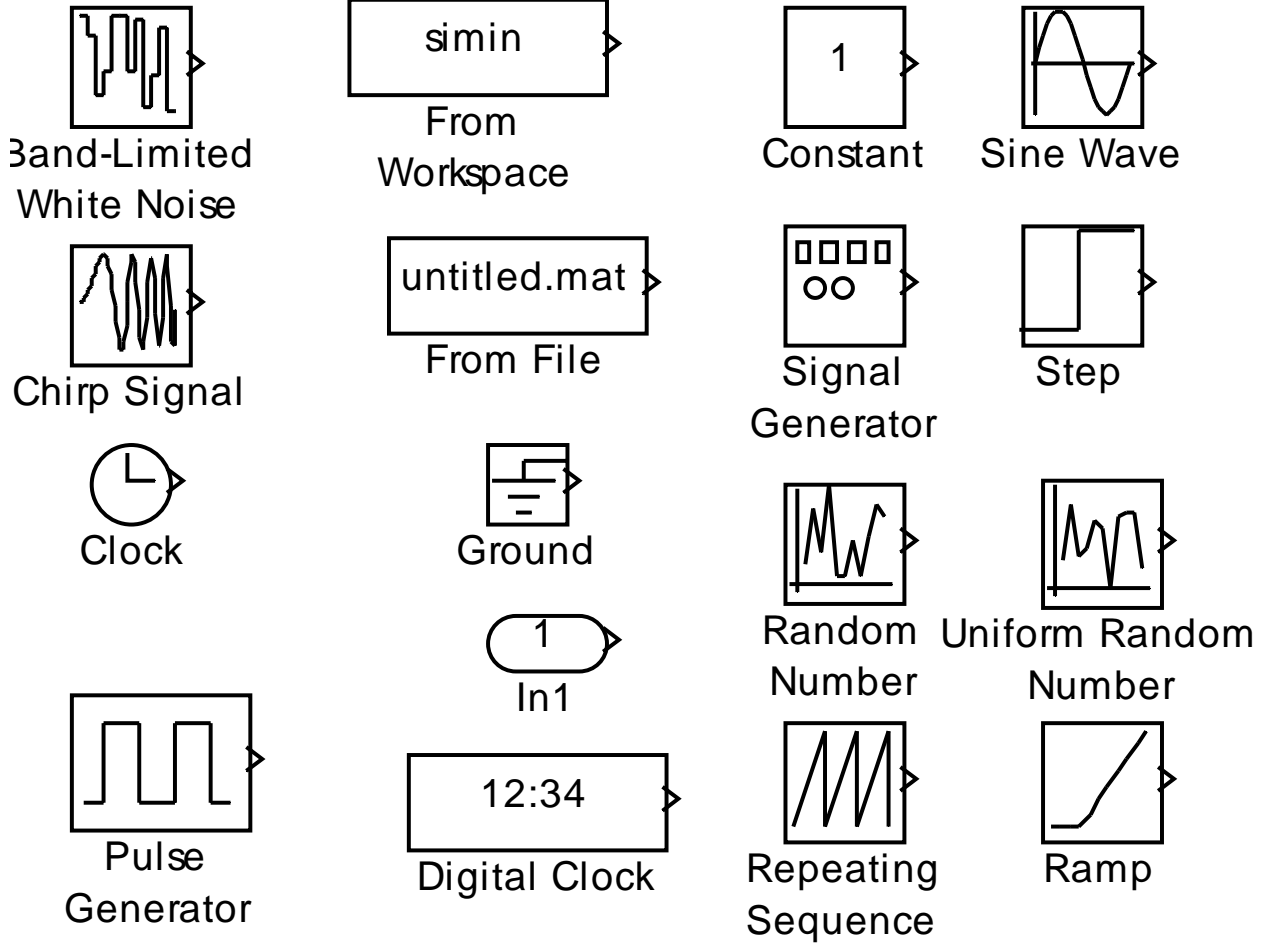
Digital Clock – модель дискретного сигнала времени;

From File – ввод данных из MAT-файла;

From Workspace – ввод данных из рабочей области MATLAB;

Random Number – модель генератора дискретного сигнала со случайно задаваемой по нормальному закону амплитудой;

Uniform Random Number - модель генератора дискретного случайного сигнала с равномерно распределенной амплитудой.



Состав библиотеки Sources

Библиотека Subsystems предлагает различные подсистемы: триггерные, логические, пользовательские шаблоны.