



7.5. Моделирование электротехнических устройств в SimuLink. Блок SimPowerSystems

SimPowerSystems содержит набор блоков для имитационного моделирования электротехнических устройств.

В состав библиотеки входят модели электротехнических элементов, источников энергии, электродвигателей, трансформаторов, линий электропередачи и т. п. оборудования. Имеется также раздел, содержащий блоки для моделирования устройств силовой электроники, включая системы управления для них.

Используя специальные возможности Simulink и SimPowerSystems, пользователь может не только имитировать работу устройств во временной области, но и выполнять различные виды анализа таких устройств.



В модели с использованием блоков SimPowerSystems (в дальнейшем SPS-модели) можно использовать блоки и других библиотек Simulink, а также функции MATLAB, что дает практически неограниченные возможности для моделирования электротехнических систем.

Методика создания SPS-модели ничем не отличается от методики создания модели на основе базовой библиотеки Simulink. Так же как и для обычной Simulink модели (S-модели), необходимо выполнить расстановку блоков на схеме, задать их параметры, соединить блоки и установить параметры расчета модели в целом.

7.5.1. Особенности создания SPS-модели

1. Входы и выходы SPS-блоков, в отличие от блоков Simulink, не являются направленными, поскольку фактически являются эквивалентами электрических контактов. Таким образом, электрический ток может через вход или выход блока протекать в двух направлениях. Пример пиктограммы блока (источник постоянного напряжения)

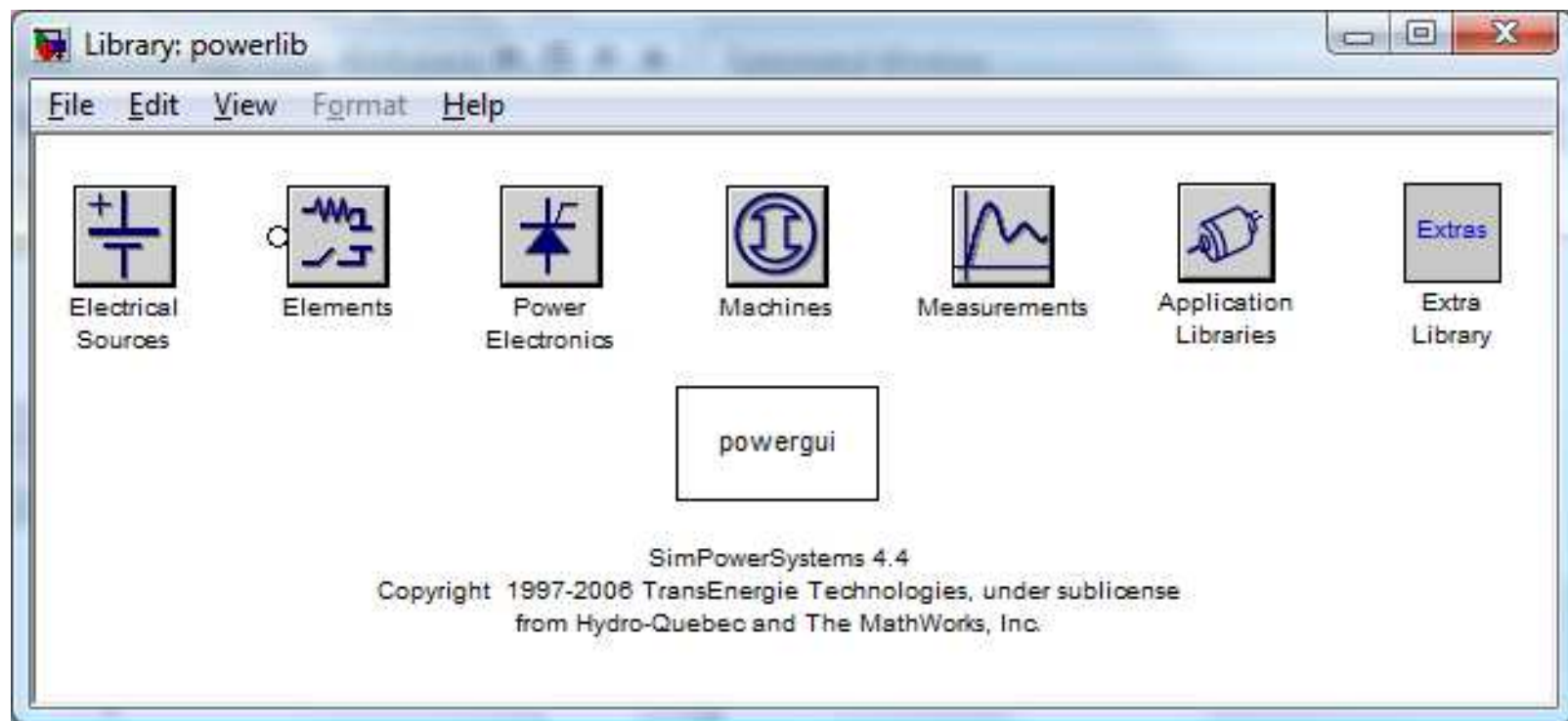


2. Соединительные линии между блоками являются, по сути, моделями электрических проводов, по которым ток может протекать в двух направлениях.

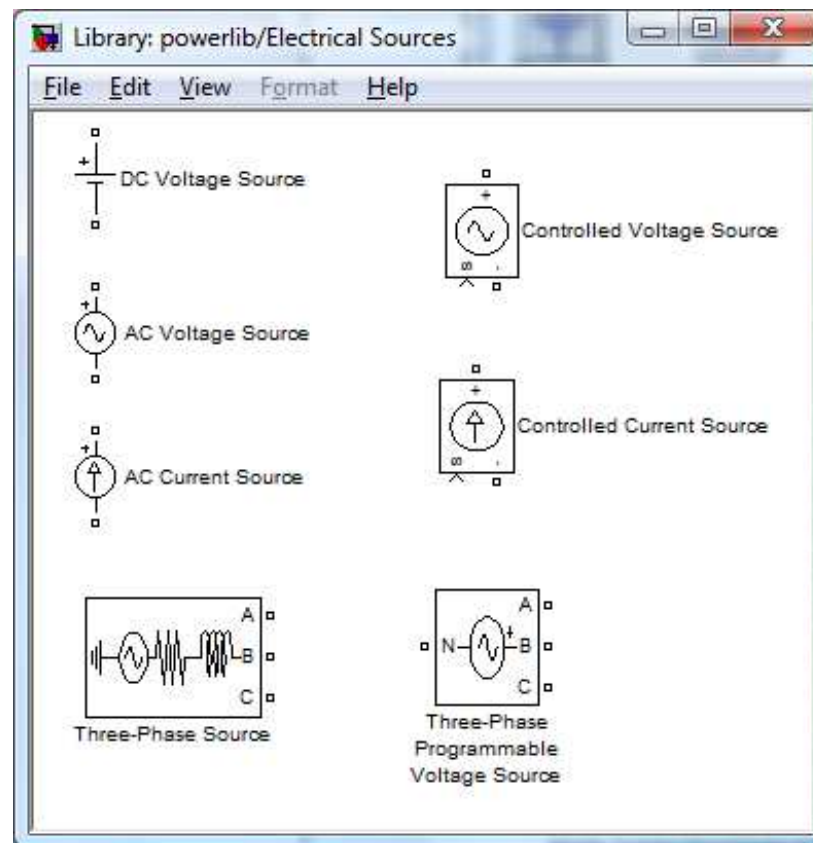
- 
3. Simulink блоки и SimPowerSystems блоки не могут быть непосредственно соединены друг с другом, поскольку имеют сигналы разной природы. Сигнал от S-блока можно передать к SPS-блоку через управляемые источники тока или напряжения, а наоборот - с помощью измерителей тока или напряжения.
 4. Несколько линий связи (проводов) могут быть соединены между собой. Для выполнения такого соединения в SimPowerSystems не требуется использование специальных блоков (соединителей), как это было в ранних версиях.
 5. При расчете схемы, содержащей нелинейные блоки, следует использовать методы **ode15s** и **ode23tb**.
 6. В отличие от обычных моделей Simulink, где по умолчанию расчет начинается при нулевых начальных условиях, в SPS-моделях в качестве начальных условий берутся результаты предварительного расчета установившегося режима. Для задания нулевых (или какихлибо других) начальных условий необходимо использовать графическую среду пользователя

7.5.2. Библиотека блоков SimPowerSystems

Библиотека SimPowerSystems имеет семь основных разделов:



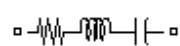
Electrical Sources - *источники электрической энергии*. В состав библиотеки входят управляемые и не управляемые источники постоянного и переменного тока и напряжения, а также трехфазные источники переменного напряжения.





Elements- электротехнические элементы.

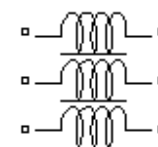
Библиотека содержит обширный набор пассивных электротехнических элементов: последовательные и параллельные RLC-цепи, магнитно-связанные цепи, трансформаторы, линии электропередачи, коммутирующие устройства и т. д.

Elements

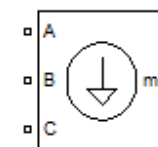
Series RLC Branch



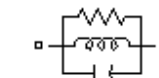
Series RLC Load

Three-Phase
Series RLC Load

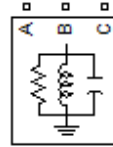
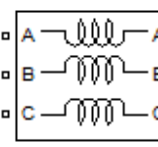
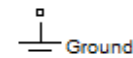
Mutual Inductance

Three-Phase
Dynamic Load

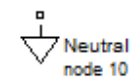
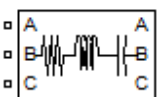
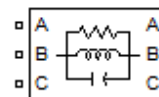
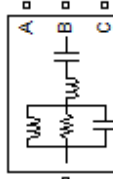
Parallel RLC Branch



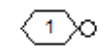
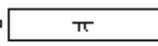
Parallel RLC Load

Three-Phase
Parallel RLC LoadThree-Phase
Mutual Inductance
Z1-Z0

Ground

Neutral
node 10Three-Phase
Series RLC BranchThree-Phase
Parallel RLC BranchThree-Phase
Harmonic Filter

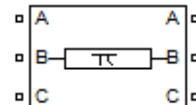
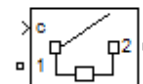
Surge Arrester

Connection
Port**Lines**

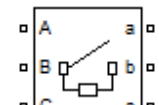
Pi Section Line



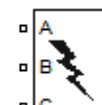
Distributed Parameters Line

Three-Phase
Pi Section Line

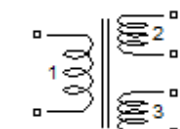
Breaker



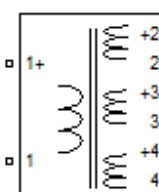
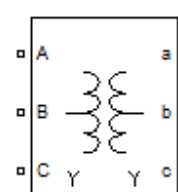
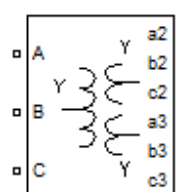
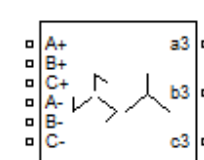
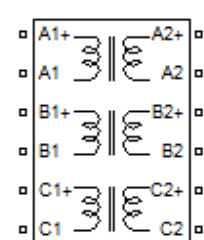
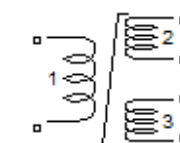
Three-Phase Breaker



Three-Phase Fault

Circuit Breakers**Transformers**

Linear Transformer

Multi-Winding
TransformerThree-Phase
Transformer
(Two Windings)Three-Phase
Transformer
(Three Windings)Zigzag
Phase-Shifting TransformerThree-Phase Transformer
12 Terminals

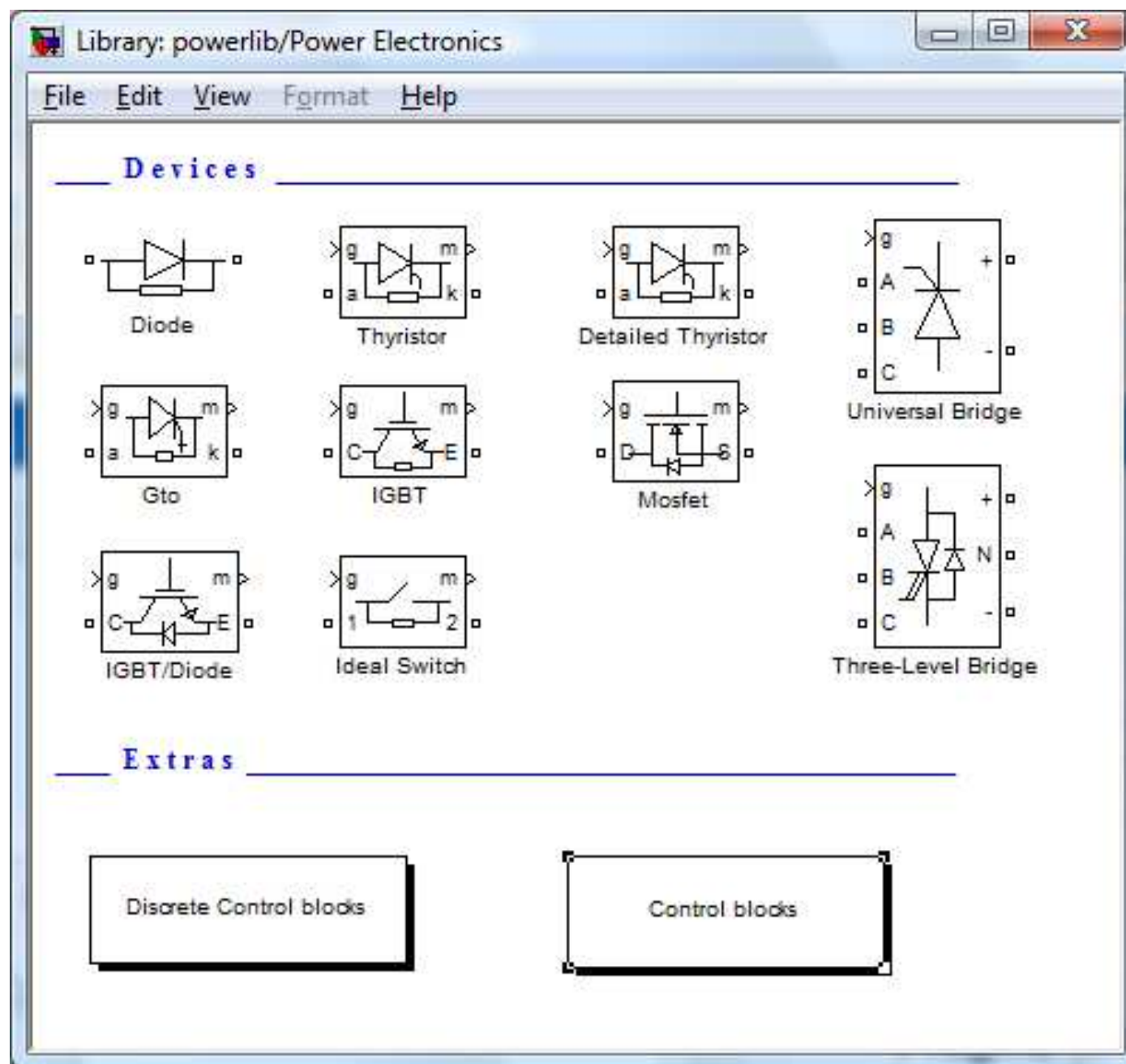
Saturable Transformer



Power Electronics - устройства силовой электроники.

В этой библиотеке находятся модели полупроводниковых приборов (диод, тиристор, запираемый тиристор, IGBT транзисторы), а также универсальный мост, позволяющий моделировать одно, двух и трехфазные выпрямительные или инверторные схемы. Кроме того, в библиотеке присутствует модель трехуровневого моста и модель идеального ключа.

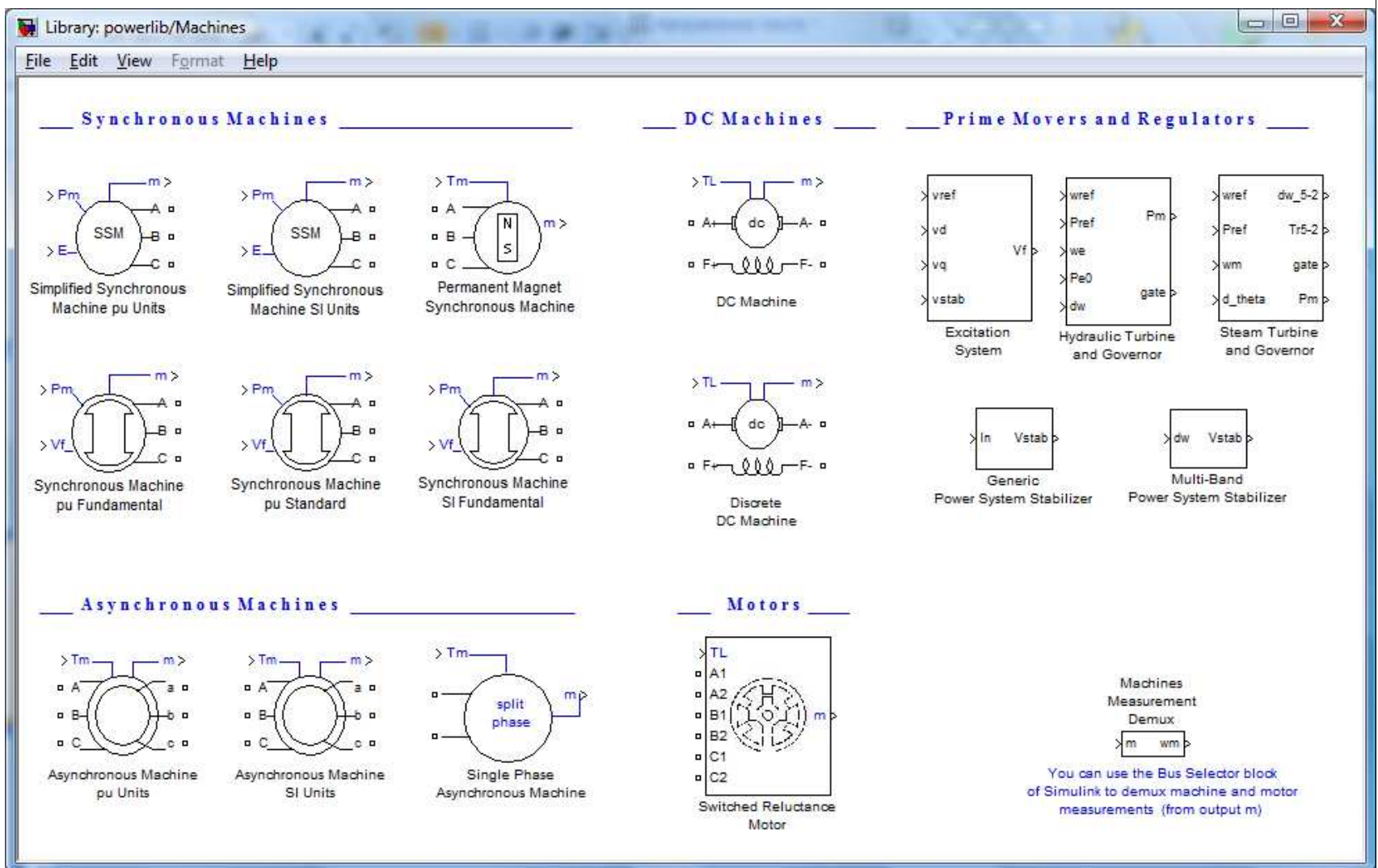
Также в библиотеке есть раздел ***Extras*** — ***дополнительные электротехнические устройства*** среди которых находится большое количество разнообразных блоков, в частности библиотека трехфазных моделей, библиотека дополнительных измерительных блоков, библиотека устройств управления и т. д.





Machines - электрические машины.

Библиотека электрических машин содержит различные модели синхронных и асинхронных машин, машины постоянного тока, приводные устройства генераторов (гидравлическая и паровая турбины с системами управления), а также специальный блок **Machines Measurement Demux**, предназначенный для извлечения измеряемых переменных (токов, потокосцеплений, момента, скорости и т. д.) из вектора выходных сигналов блоков электрических машин.

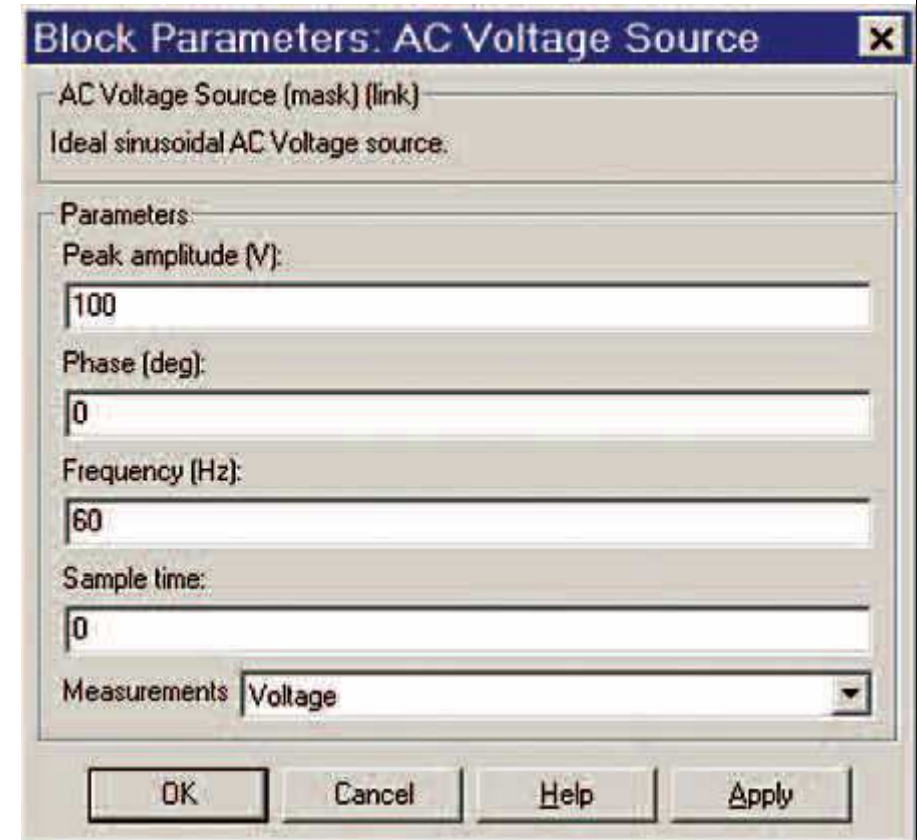
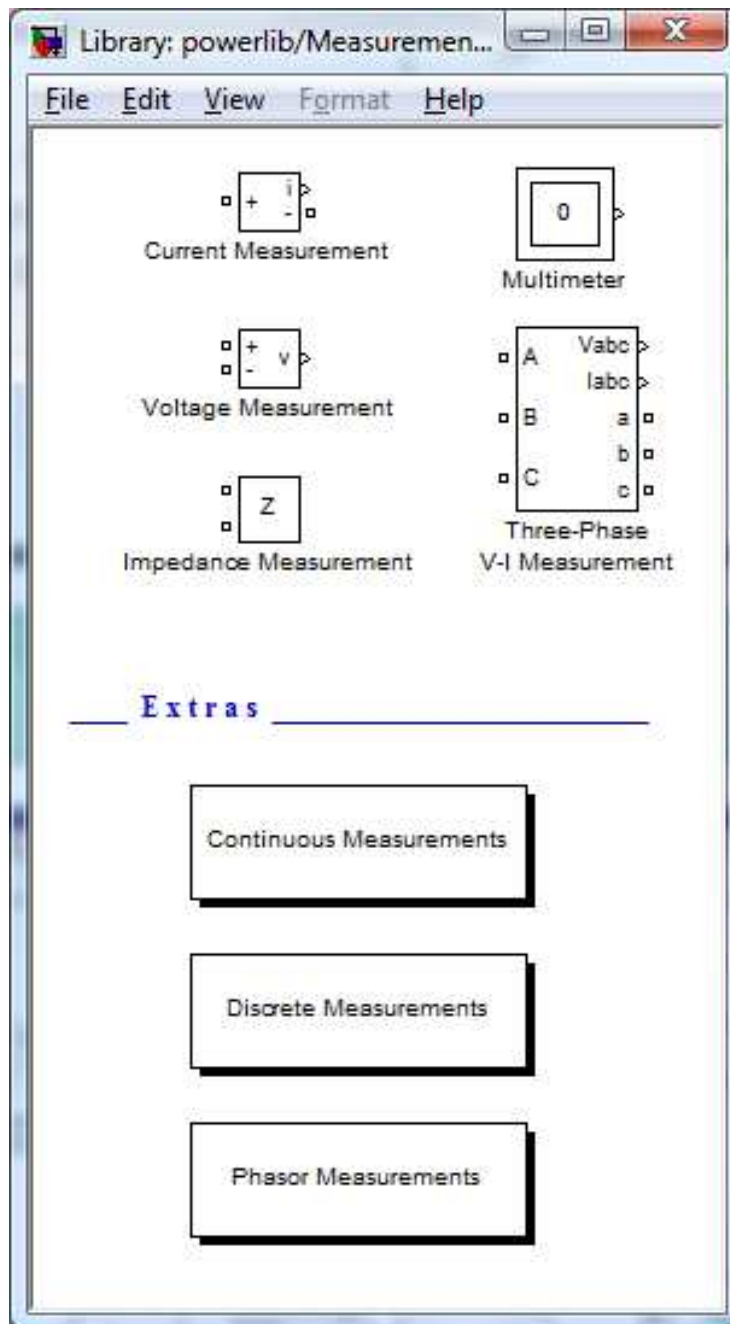




Measurements - измерительные устройства.

В библиотеке измерительных устройств находятся блоки измерения мгновенного значения тока и напряжения, блок измерения токов и напряжений в трехфазной системе, измеритель полного сопротивления участка электрической схемы, а также блок **Multimeter**, позволяющий измерять переменные блоков без непосредственного подключения измерительных устройств. Блок **Multimeter** аккумулирует переменные тех блоков, для которых в окне их параметров в графе **Measurements** заданы измеряемые переменные.

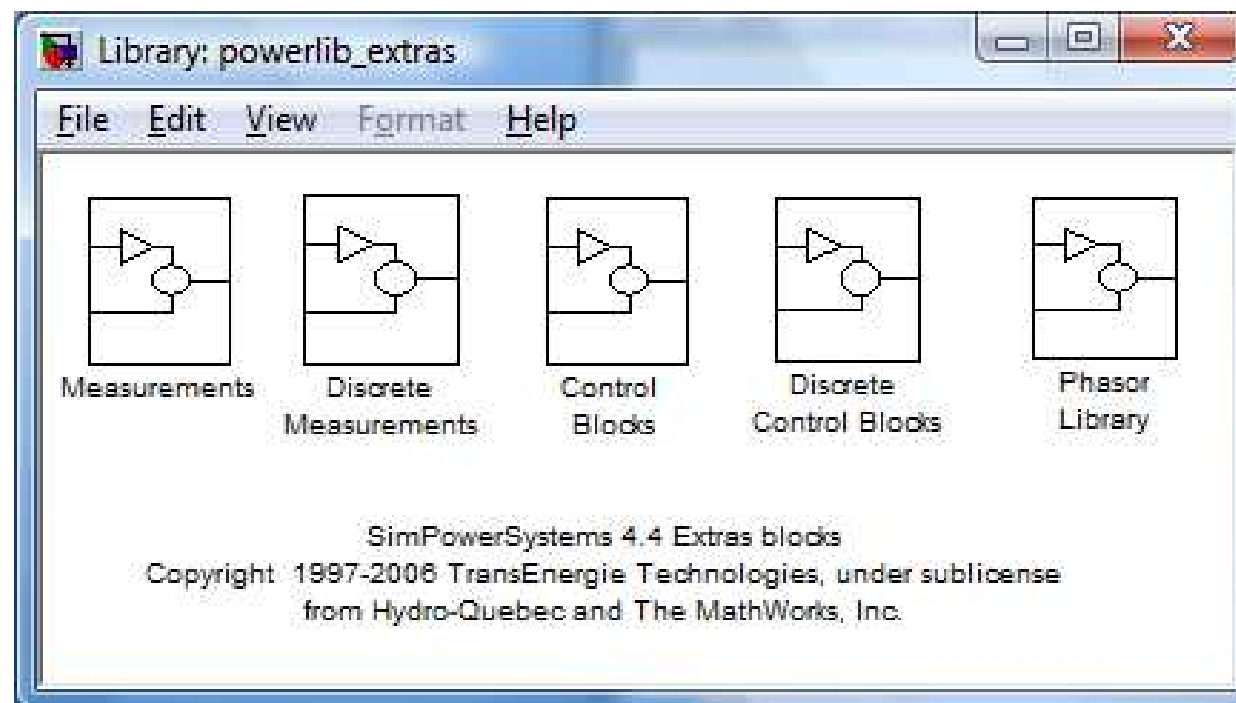
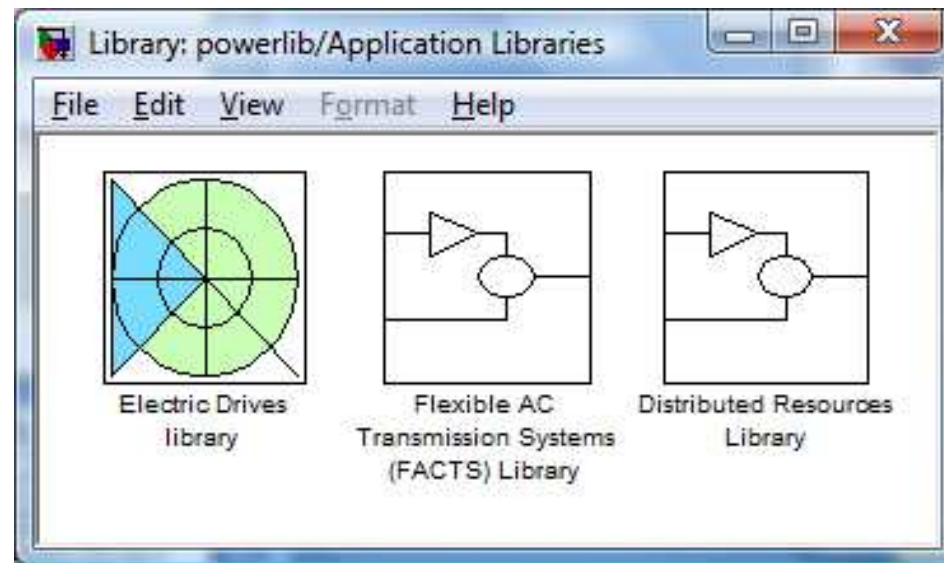
Выходными сигналами измерительных блоков являются обычные сигналы Simulink, которые можно подать на блоки отображения (**Scope**, **Display**) или на вход любого обычного Simulink блока.



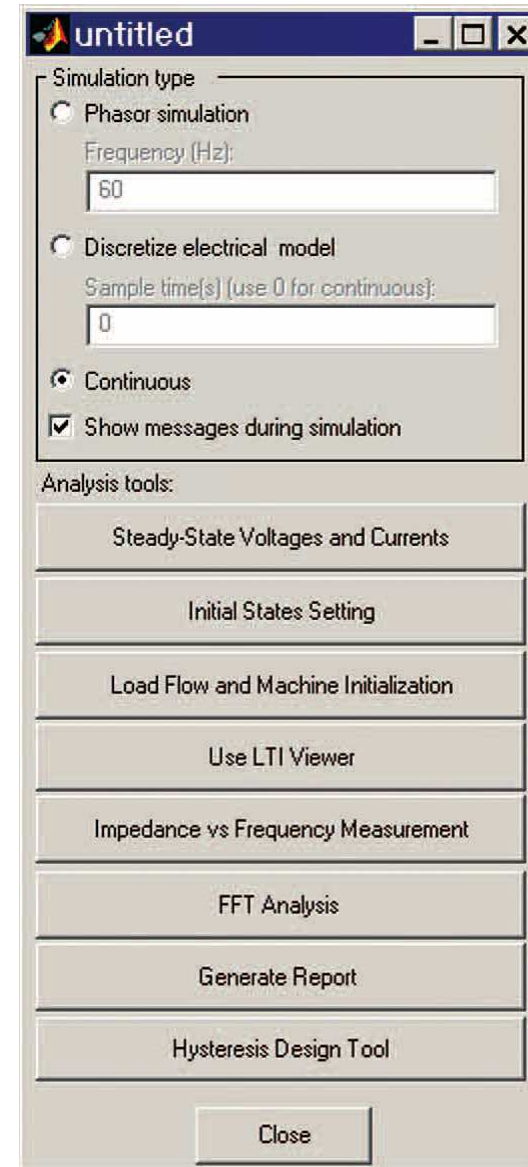


Application Libraries – прикладные библиотеки. Библиотека включает модели элементов для конкретных отраслей электротехники.

Extra Library – дополнительные электротехнические устройства. Среди них находится большое количество разнообразных блоков, в частности библиотека трехфазных моделей, библиотека дополнительных измерительных блоков, библиотека устройств управления полупроводниковыми выпрямителями и инверторами, различные фильтры, генераторы, таймеры и т. д.



Блок ***Powergui*** - графический интерфейс пользователя, используемый для анализа электрических схем.



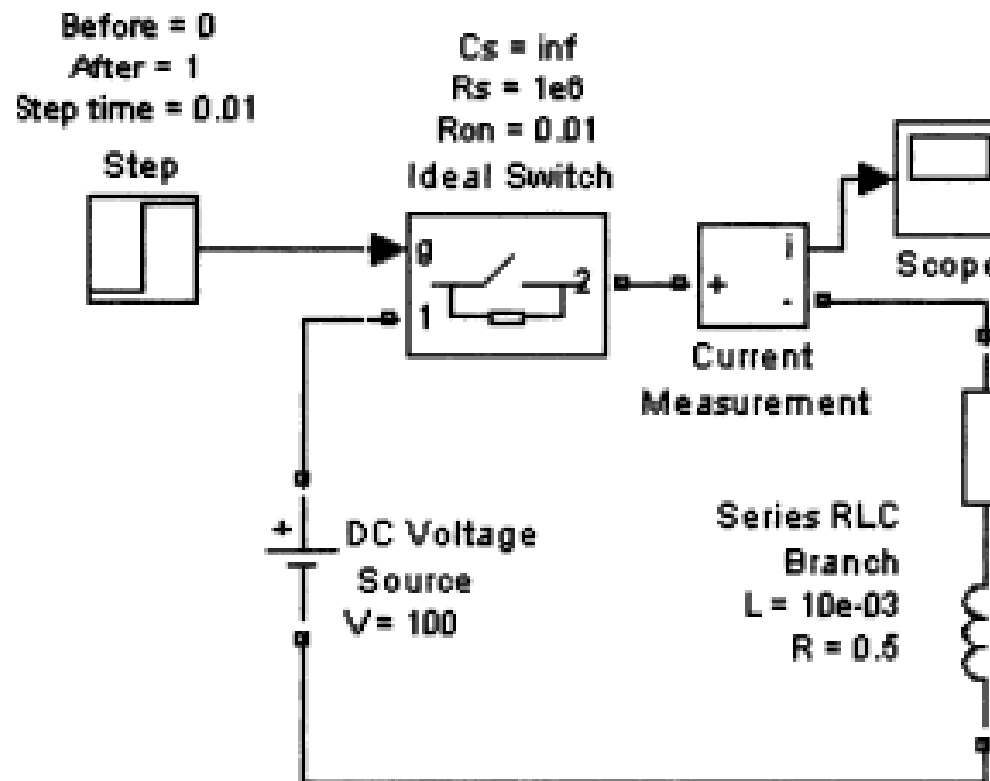


Данный блок обеспечивает выполнение следующих задач:

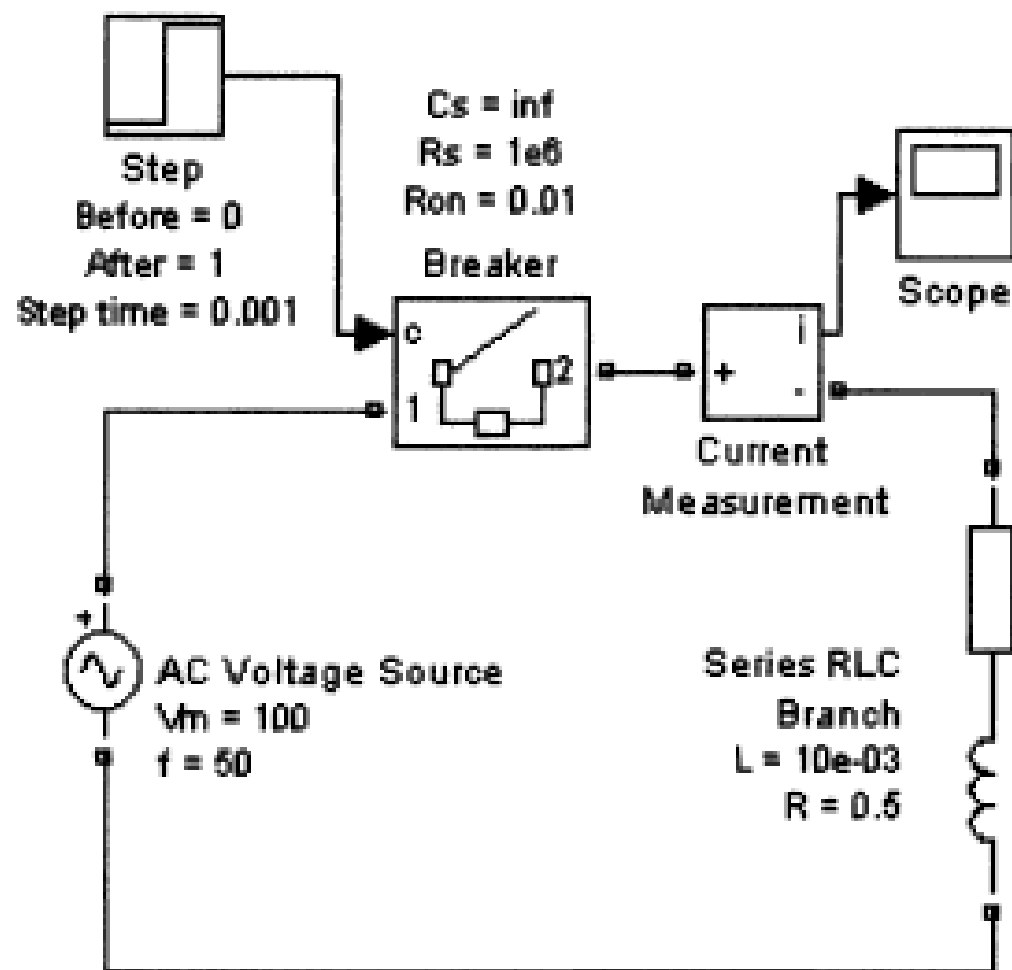
- расчет схемы комплексным методом;
- расчет установившегося режима;
- дискретизация модели;
- задание начальных условий;
- инициализация трехфазных схем, содержащих электрические машины, таким образом, чтобы расчет начался с установившегося режима;
- анализ схемы с помощью инструмента Simulink LTI-Viewer;
- определение полного сопротивления (импеданса) цепи;
- выполнение гармонического анализа;
- определение матрицы уравнений модели в пространстве состояний;
- создание отчета;
- создание файла характеристик намагничивания для модели нелинейного трансформатора.

7.5.3. Примеры

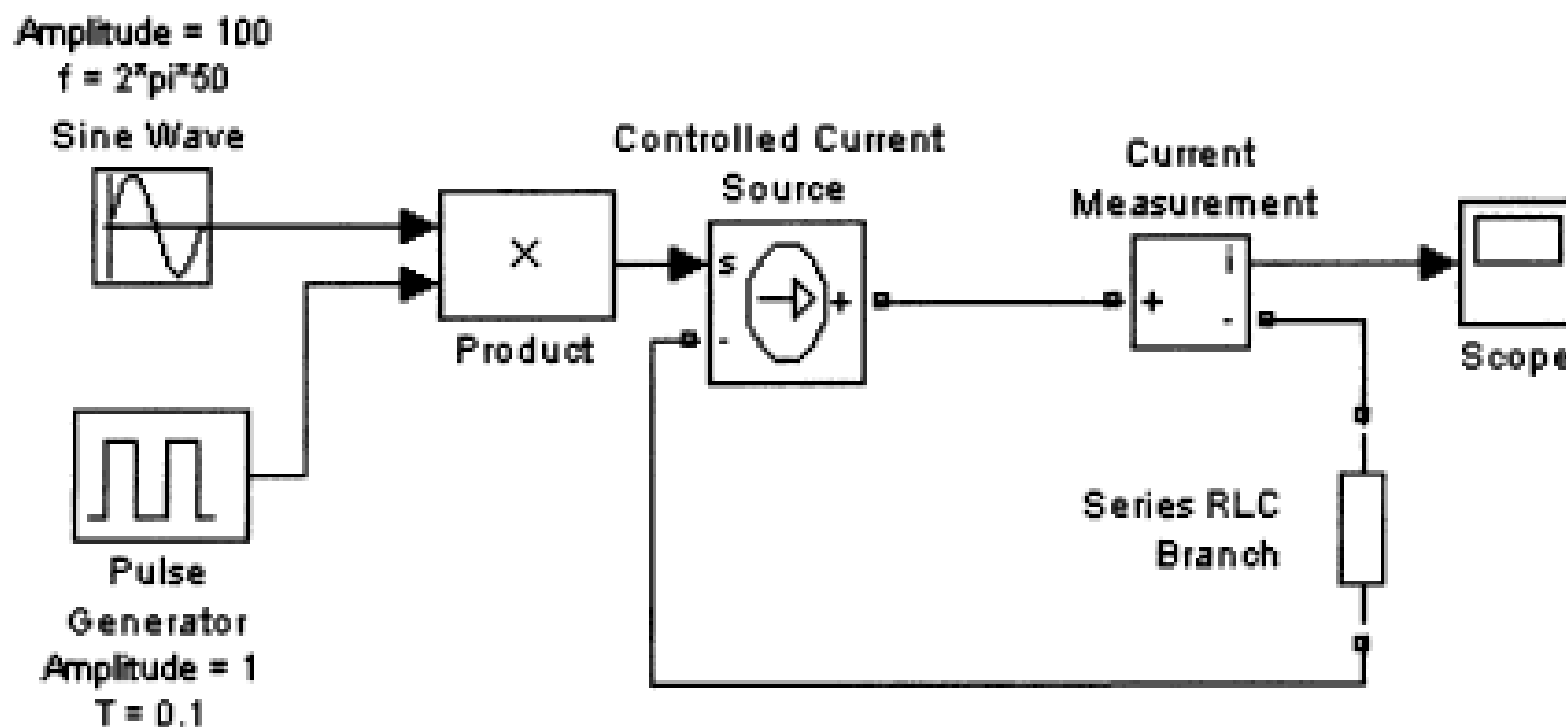
Пример 1. Включение активно-индуктивной нагрузки на постоянное напряжение.



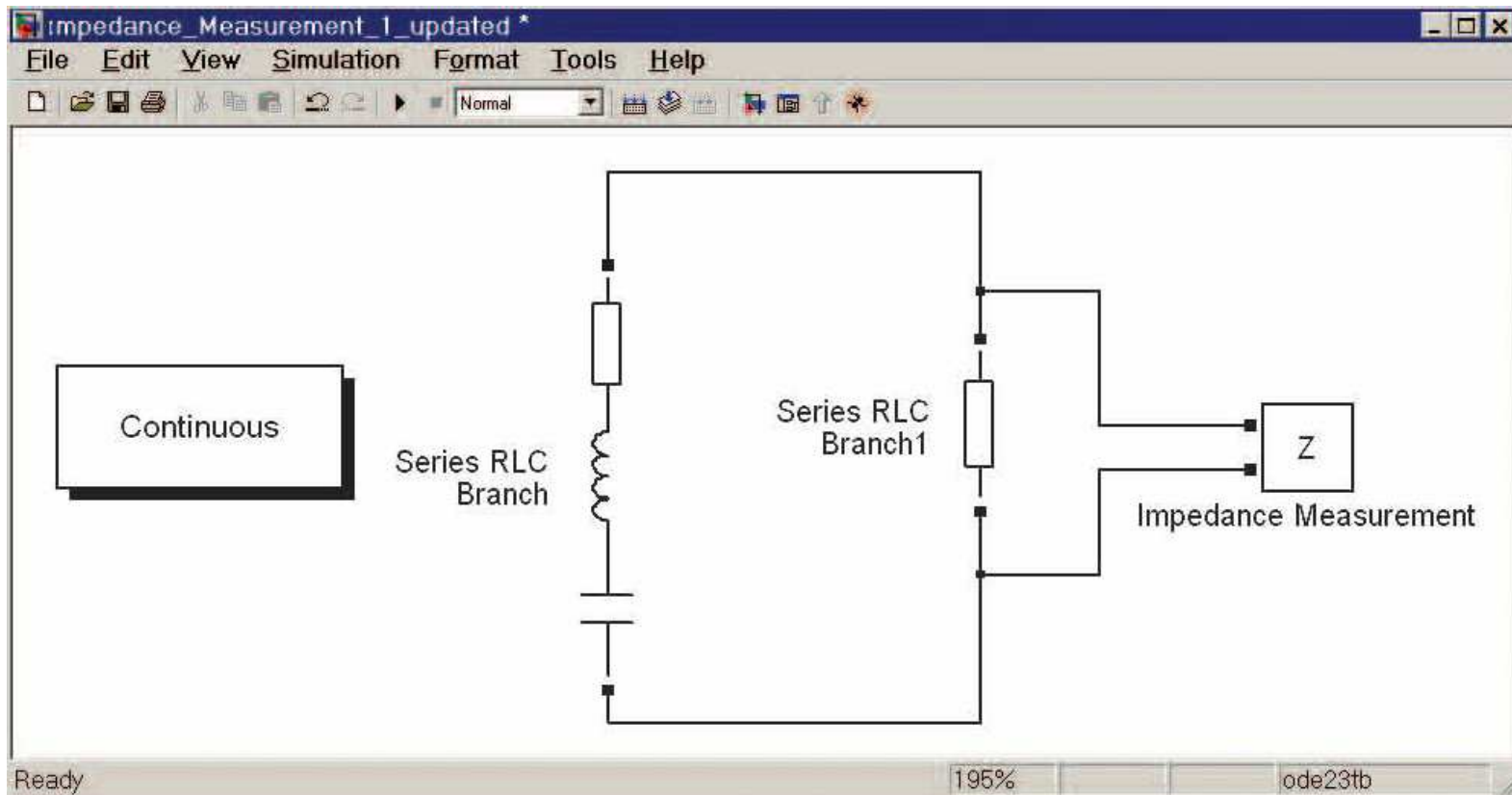
Пример 2. Включение активно-индуктивной нагрузки на переменное напряжение.



Пример 3. Схема с использованием управляемого источника тока формирующего в нагрузке серию синусоидальных импульсов тока.



Пример 4. Расчет импеданса цепи. Для проведения расчета полного сопротивления электрической цепи на схеме модели должен быть установлен блок **Impedance Measurements**. Электрическая цепь обязательно должна быть замкнута. Если же требуется измерить импеданс отдельного (разомкнутого) участка цепи, то его следует шунтировать резистором с достаточно большим сопротивлением, не изменяющим существенно общее сопротивление цепи.



Пример 5. Прямой пуск асинхронного двигателя и последующий наброс нагрузки.

