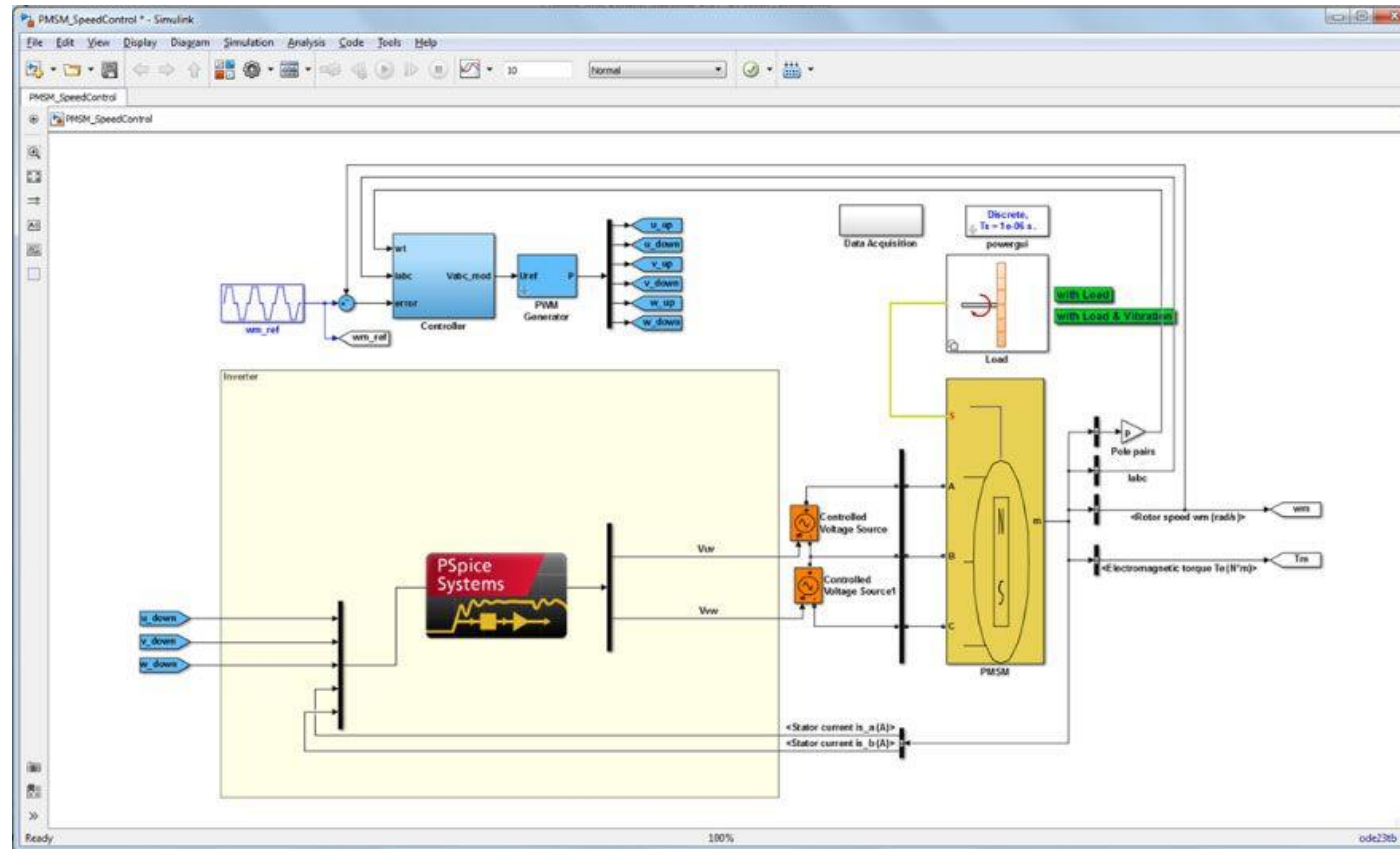


Түрлендіргіштерді модельдеу. MATLAB және
PSpice бағдарламаларын пайдалану

Моделирование преобразователей — это процесс создания и анализа математических моделей силовых электронных устройств, которые преобразуют электрическую энергию из одной формы в другую. Такие устройства, как инверторы, выпрямители, понижающие (buck) и повышающие (boost) преобразователи, широко используются в системах электроснабжения, возобновляемой энергетике, системах управления двигателями и других приложениях.

Для эффективного проектирования, анализа и оптимизации работы преобразователей используются специализированные программные средства, такие как **MATLAB/Simulink** и **PSpice**. Каждое из этих программных обеспечений имеет свои особенности, преимущества и области применения.



1. MATLAB/Simulink для моделирования преобразователей

MATLAB — это высокоуровневый язык программирования и интерактивная среда для численного анализа, визуализации данных и разработки алгоритмов. **Simulink** — это дополнительный пакет MATLAB, который предоставляет графический интерфейс для моделирования систем с использованием блок-схем.

Основные возможности MATLAB/Simulink:

- **Графическое моделирование:** Использование блоков для построения схем преобразователей, что упрощает понимание и анализ работы систем.
- **Моделирование нелинейных процессов:** MATLAB/Simulink позволяет учитывать нелинейные характеристики компонентов, таких как транзисторы, диоды и конденсаторы.
- **Анализ переходных процессов:** Можно исследовать, как преобразователь реагирует на изменения нагрузки, входного напряжения и других факторов.
- **Оптимизация параметров:** MATLAB предоставляет инструменты для автоматической настройки параметров системы с целью повышения эффективности.
- **Интерактивные сценарии:** Возможность изменения входных данных и наблюдения за изменением выходных характеристик в реальном времени.
- **Генерация кода:** MATLAB позволяет автоматически генерировать код для микроконтроллеров, что упрощает внедрение разработанных алгоритмов в аппаратные устройства.

2. PSpice для моделирования преобразователей

PSpice — это программа для моделирования аналоговых и цифровых электронных схем на основе метода SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). В отличие от MATLAB, который ориентирован на системный анализ, PSpice более детально моделирует поведение электронных компонентов на уровне схем.

Основные возможности PSpice:

- **Точное моделирование компонентов:** PSpice учитывает реальные параметры электронных компонентов, включая тепловые эффекты, потери и паразитные параметры.
- **Анализ гармоник:** Возможность исследования спектра выходного сигнала и качества преобразования.
- **Переходные и установившиеся режимы:** Анализ поведения системы при включении, выключении и изменении условий работы.
- **Монте-Карло анализ:** Оценка надежности и чувствительности системы к изменениям параметров компонентов.
- **Интеграция с CAD:** Возможность использовать схемы, созданные в средах проектирования печатных плат.

3. Сравнение MATLAB/Simulink и PSpice

Характеристика	MATLAB/Simulink	PSpice
Основное назначение	Системный анализ и моделирование процессов	Детальное моделирование электронных схем
Уровень детализации	Блочное моделирование (высокоуровневое)	Компонентное моделирование (низкоуровневое)
Переходные процессы	Анализ переходных процессов, динамика системы	Точный анализ переходных процессов с учетом деталей
Алгоритмы управления	Разработка и тестирование алгоритмов	Ограниченная возможность разработки алгоритмов
Тепловые эффекты	Упрощённое моделирование	Подробный анализ тепловых режимов
Частотный анализ	Доступен через FFT-анализ	Встроенные инструменты для анализа гармоник
Интеграция с оборудованием	Возможность подключения к реальным системам через Simulink Real-Time	Ограничена

4. Практическое применение в реальных проектах

1. Проектирование источников питания:

1. MATLAB/Simulink позволяет оптимизировать систему управления преобразователем, а PSpice — проверить надёжность схемы на уровне компонентов.

2. Системы возобновляемой энергии:

1. При разработке солнечных инверторов MATLAB используется для разработки алгоритмов MPPT, а PSpice — для проверки работы силовой электроники.

3. Электромобили:

1. Преобразователи для зарядки батарей и инверторы для электродвигателей проектируются с помощью MATLAB/Simulink и проверяются в PSpice на предмет надёжности.

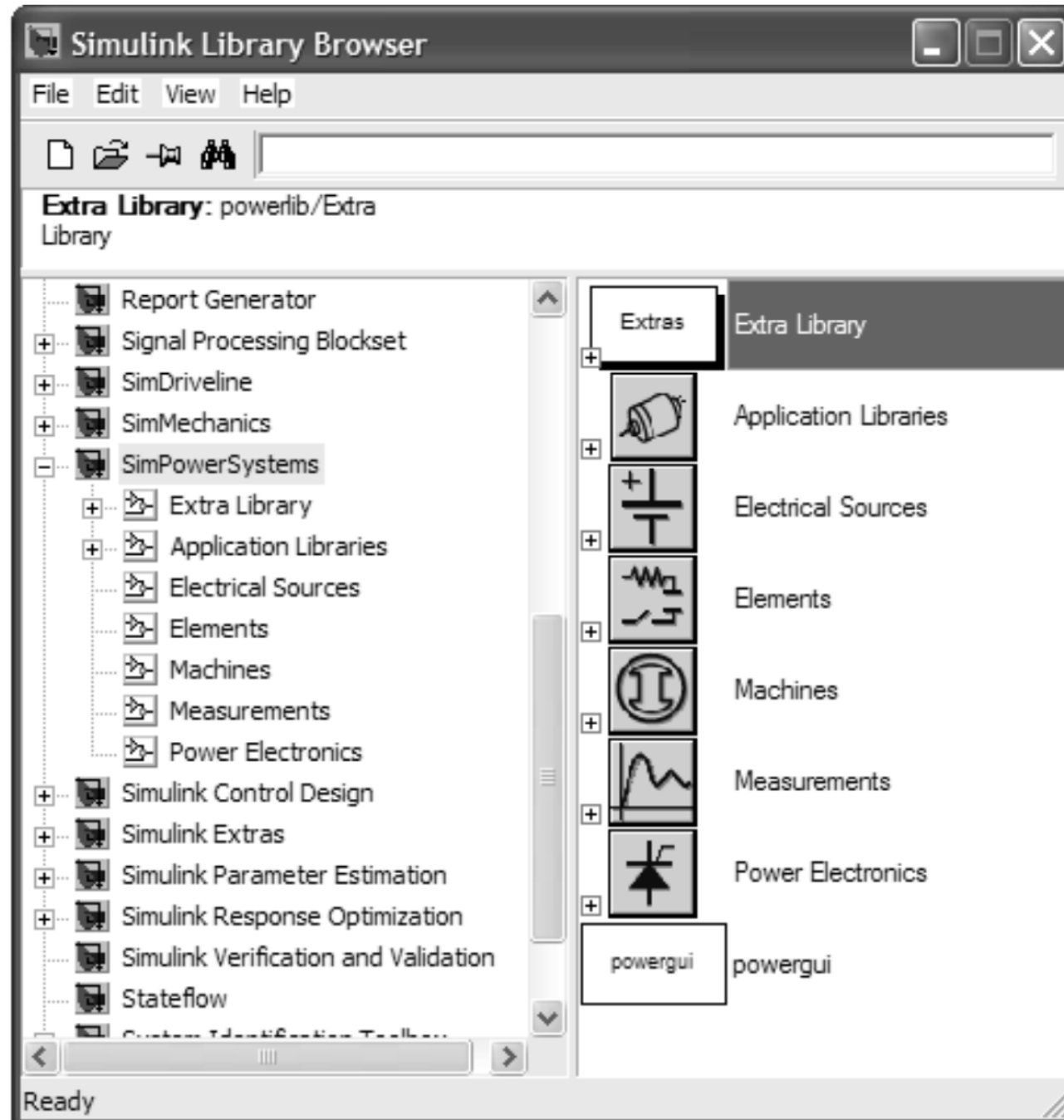
4. Автоматизированные системы управления:

1. MATLAB помогает моделировать системы управления, а PSpice гарантирует правильность работы аппаратной части.

Использование MATLAB/Simulink и PSpice при моделировании преобразователей позволяет проводить комплексный анализ, начиная с разработки алгоритмов управления и заканчивая проверкой работы электронных компонентов. MATLAB/Simulink удобен для системного анализа, разработки управляющих алгоритмов и оптимизации параметров. PSpice, в свою очередь, обеспечивает точное моделирование схем, учитывая реальные параметры компонентов. Совместное использование этих программ позволяет значительно сократить время разработки, повысить надёжность и эффективность преобразователей, а также предотвратить возможные ошибки на этапе проектирования.

В этот пакет (версии 3 и 4) входят библиотеки следующего назначения:

- **Extra Library** – специальная расширенная библиотека блоков-масок;
- **Application Librares** – библиотека применений (новый раздел в версии пакета 4);
- **Electrical Sources** – источники электрической энергии и сигналов;
- **Elements** – линейные и нелинейные компоненты электротехнических и электронных устройств;
- **Machines** – электрические машины;
- **Measurements** – измерительные и контрольные устройства;
- **Phasor Element** – элемент моделирования трехфазных систем;
- **Power Electronics** – блоки устройств энергетической электроники;
- **Powergui** – графический интерфейс пользователя пакета моделирования энергетических систем.



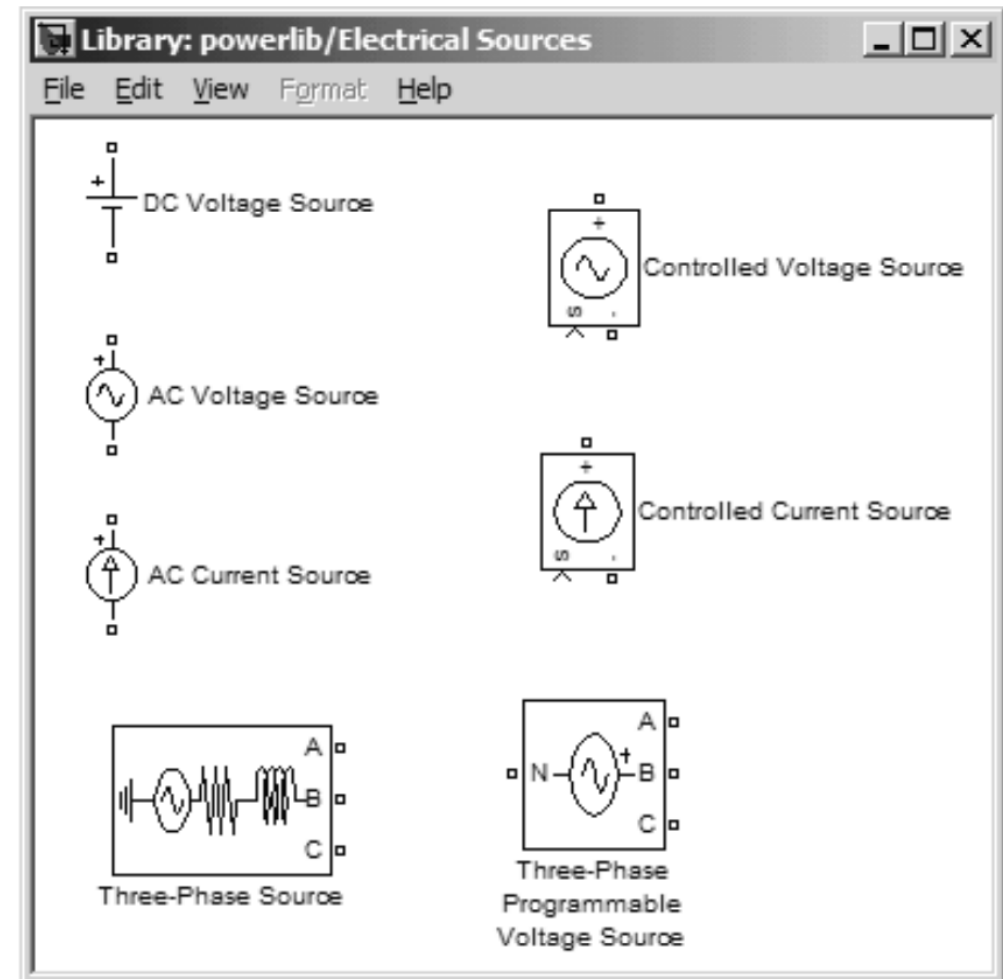
Параметр	Единица измерения	Сокращенное обозначение
Time (время)	Second	s (с)
Length (длина)	Meter	m (м)
Mass (масса)	Kilogram	kg (кг)
Energy (энергия)	Joule	J (Дж)
Current (ток)	Ampere	A (А)
Voltage (напряжение)	Volt	V (В)
Frequency (частота)	Hertz	Hz (Гц)

Параметр	Единица измерения	Сокращенное обозначение
Active power (активная мощность)	Watt	W (Вт)
Apparent power (полная мощность)	Volt ampere	VA (ВА)
Reactive power (реактивная мощность)	Volt-ampere reactive	var (вар)
Impedance (импеданс)	Ohm	Ω (Ом)
Resistance (сопротивление)	Ohm	Ω (Ом)
Inductance (индуктивность)	Henry	H (Гн)
Capacitance (емкость)	Farad	F (Ф)
Flux linkage (поток сцепления)	volt second	V·S (В·с)
Rotation speed (скорость вращения)	radians per second	rad/s (рад/с)
	revolutions per minute	rpm (оборот./мин)
Torque (вращающий момент)	newton meter	N·m (Н·м)
Inertia (инерция)	kilogram (meter) ²	kg·m ² (кг·м ²)
Friction factor (коэффициент трения)	newton meter second	N·m·s (Н·м·с)

Дважды щелкнув мышью на пиктограмме библиотеки **Electrical Sources**, можно открыть окно этой библиотеки

В нем представлены семь типов источников электрической энергии:

- **AC Current Source** – источник переменного тока;
- **AC Voltage Source** – источник переменного напряжения;
- **DC Voltage Source** – источник постоянного напряжения;
- **Controlled Current Source** – регулируемый источник тока;
- **Controlled Voltage Source** – регулируемый источник напряжения;
- **Three Phase Programmable Voltage Source** – программируемый источник трехфазного напряжения;
- **Three Phase Source** – источник трехфазного напряжения.



Источник постоянного напряжения и окно
установки его параметров



Block Parameters: DC Voltage Source

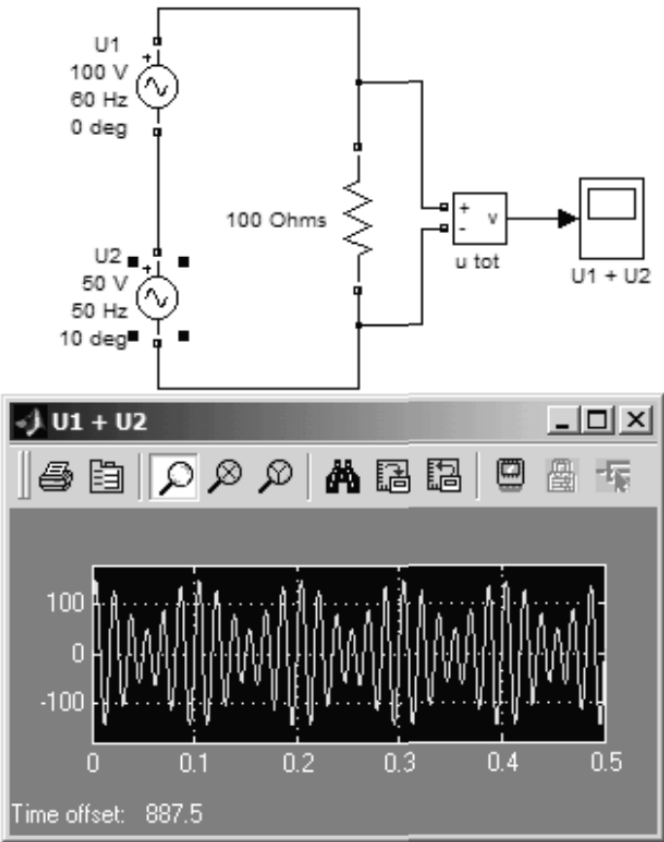
DC Voltage Source (mask) (link)
Ideal DC voltage source.

Parameters
Amplitude (V):

Measurements None

OK Cancel Help Apply

Модель суммирования двух источников переменного
напряжения и окно установки параметров одного из
источников



Block Parameters: U2 50 V 50 Hz 10 deg

AC Voltage Source (mask) (link)
Ideal sinusoidal AC Voltage source.

Parameters
Peak amplitude (V):

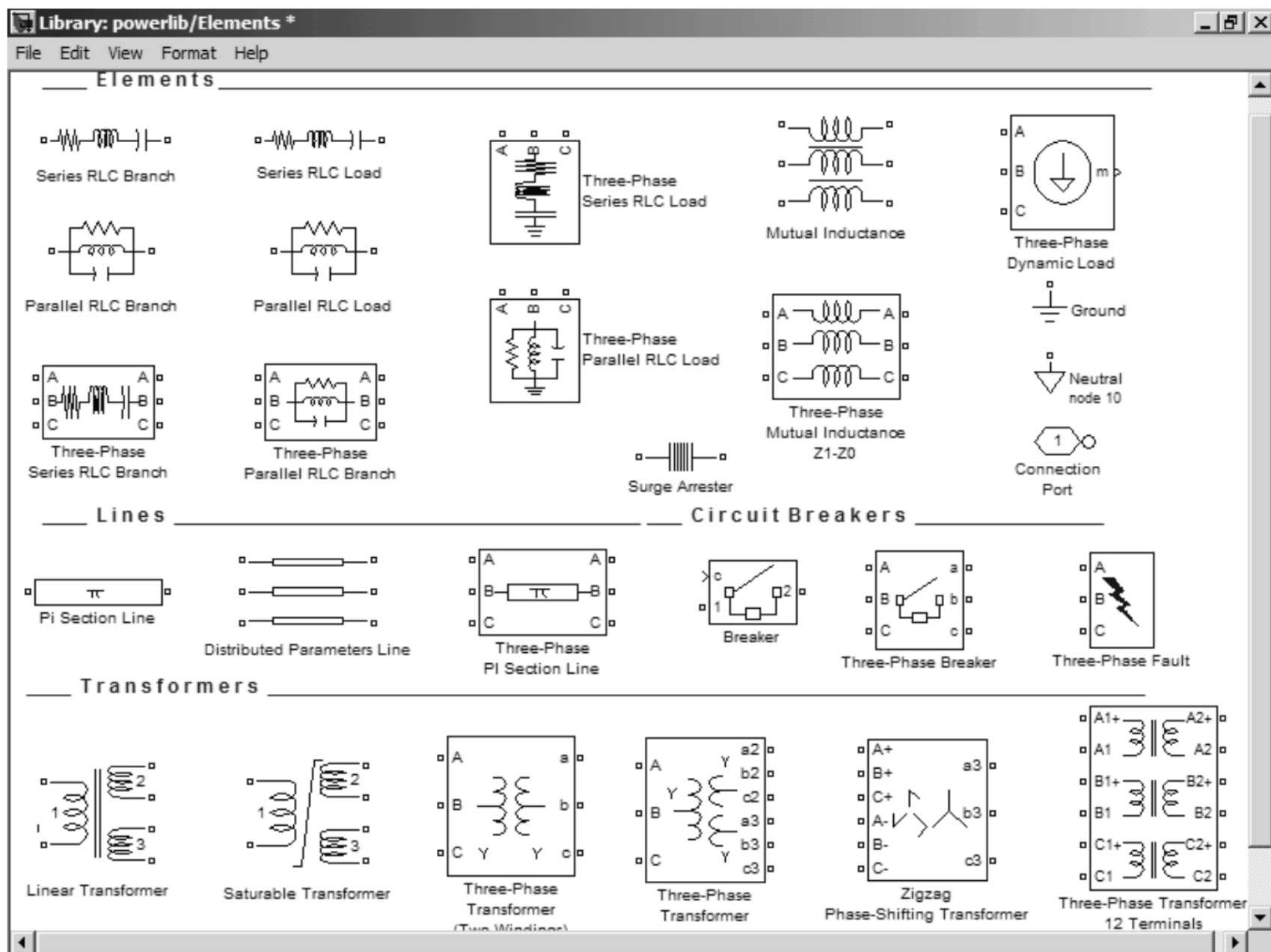
Phase (deg):

Frequency (Hz):

Sample time:

Measurements None

OK Cancel Help Apply



Эта библиотека содержит четыре раздела:

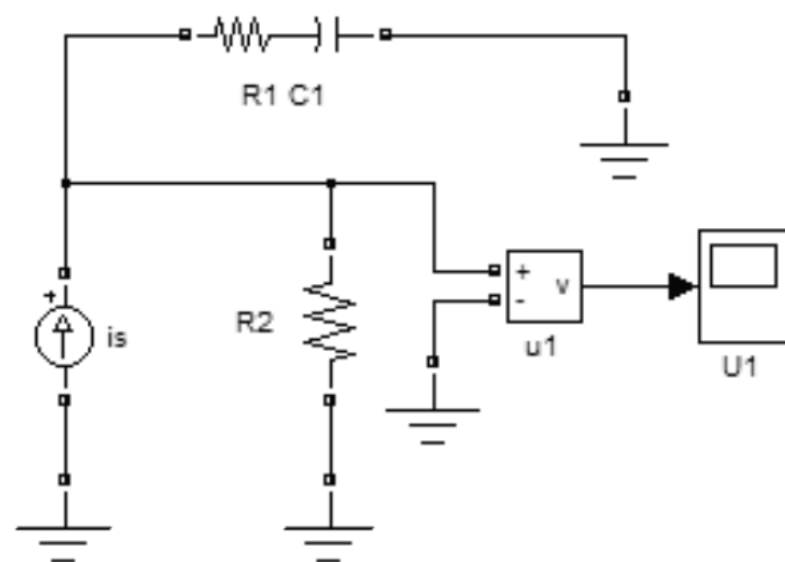
- Elements – элементы электротехнических устройств;
- Lines – линии передачи;
- Circuits Breakers – выключатели;
- Transformers – трансформаторы.

Раздел **Elements** содержит полтора десятка характерных компонентов электрических устройств:

- Series RLC Branch – последовательная RLCцепь;
- Series RLC Load – последовательная RLCцепь с нагрузкой;
- Parallel RLC Branch – параллельная RLCцепь;
- Parallel RLC Load – параллельная RLCцепь с нагрузкой;
- ThreePhase Series RLC Branch – трехфазная последовательная RLCцепь;
- ThreePhase Series RLC Load – трехфазная последовательная RLCцепь с нагрузкой;
- ThreePhase Parallel RLC Branch – трехфазная параллельная RLCцепь;
- ThreePhase Parallel RLC Load – трехфазная параллельная RLCцепь с нагрузкой;
- Mutual Inductance – блок взаимной индуктивности;
- ThreePhase Mutual Inductance Z1Z0 – блок взаимной индуктивности трехфазный;

- ThreePhase Dynamic Load – трехфазная динамическая нагрузка;
- Surge Arrester – ограничитель пиковых напряжений;
- Ground – земля;
- Neutral Note 10 – нейтраль;
- Connection port – порт подключения. Раздел линий передачи Lines содержит следующие блоки:
- PI Section Line – линия с сосредоточенными параметрами;
- Distributed Parameters Line – линия с распределенными параметрами;
- ThreePhase PI Section Line – трехфазная линия с сосредоточенными параметрами. В разделе Circuis Breakers имеются блоки выключателей:
- Breaker – выключатель управляемый;
- ThreePhase Breaker – трехфазный выключатель управляемый;
- ThreePhase Fault – трехфазный разрядник (замыкатель фаз на землю). Раздел трансформаторов содержит такие блоки, как:
- Linear Transformer – линейный трансформатор;
- Saturable Transformer – нелинейный трансформатор;
- Mutual Inductance – блок взаимной индуктивности однофазный;
- ThreePhase Transformer (Three Winding) – трансформатор с тремя обмотками, имеющими отводы от их середины;
- Zigzag PhaseSifting Transformer – трехфазный фазосдвигающий трансформатор;
- ThreePhase Mutual Inductance – блок взаимной индуктивности трех фазный;
- ThreePhase Transformer 12 Terminal – трехфазный блок из трех однофазных трансформаторов, имеющий 12 портов.

Пример моделирования простой цепи



Block Parameters: Ground1

Ground (mask) (link)

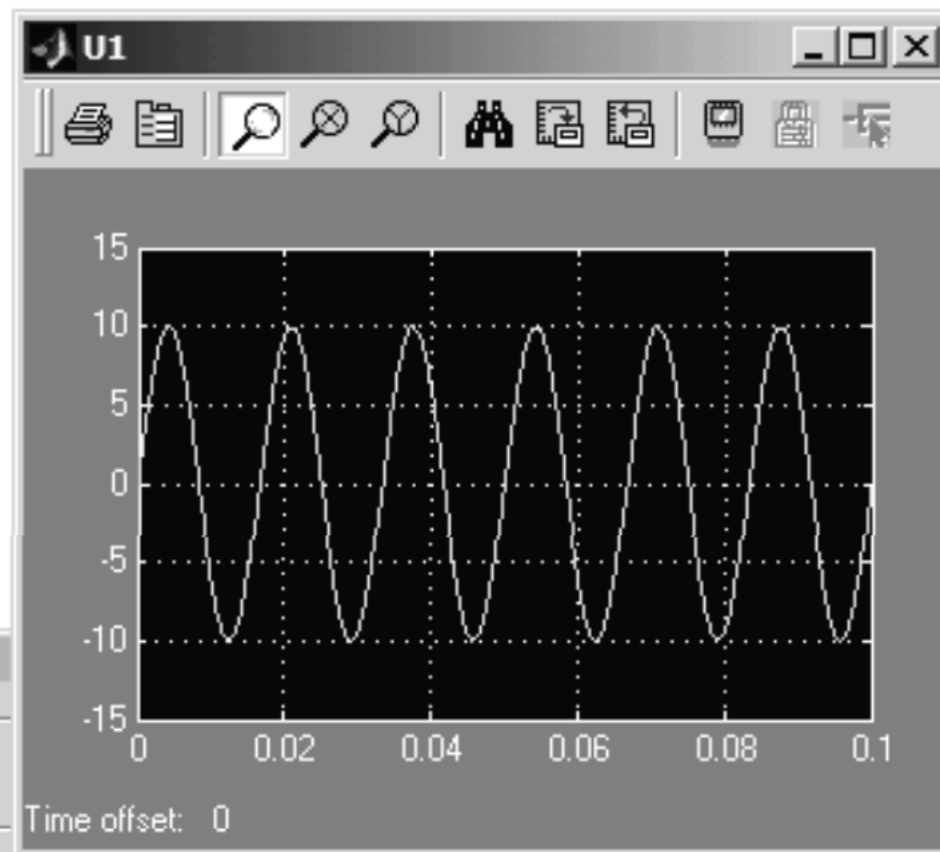
Ground connection.

OK

Cancel

Help

Apply

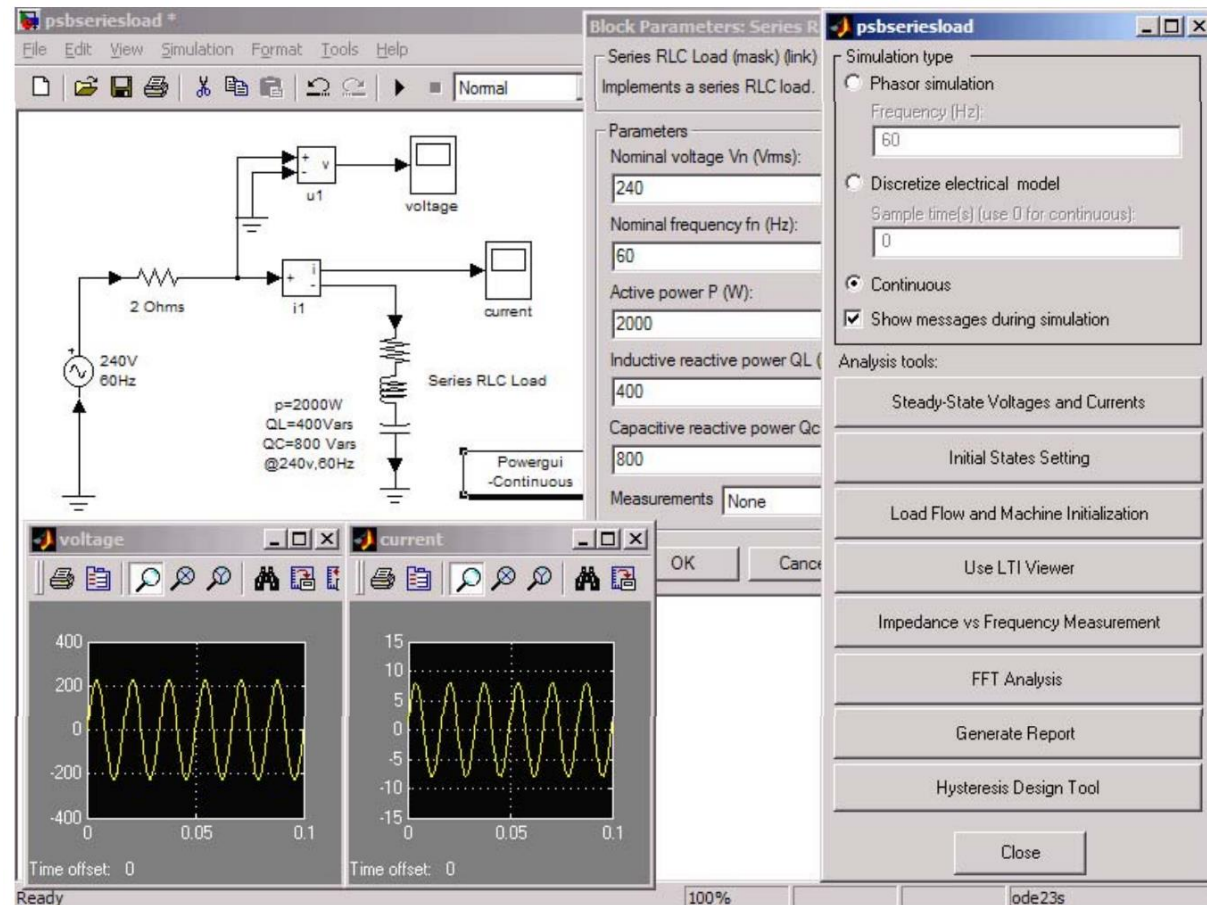


Работа с блоком **Powergui**

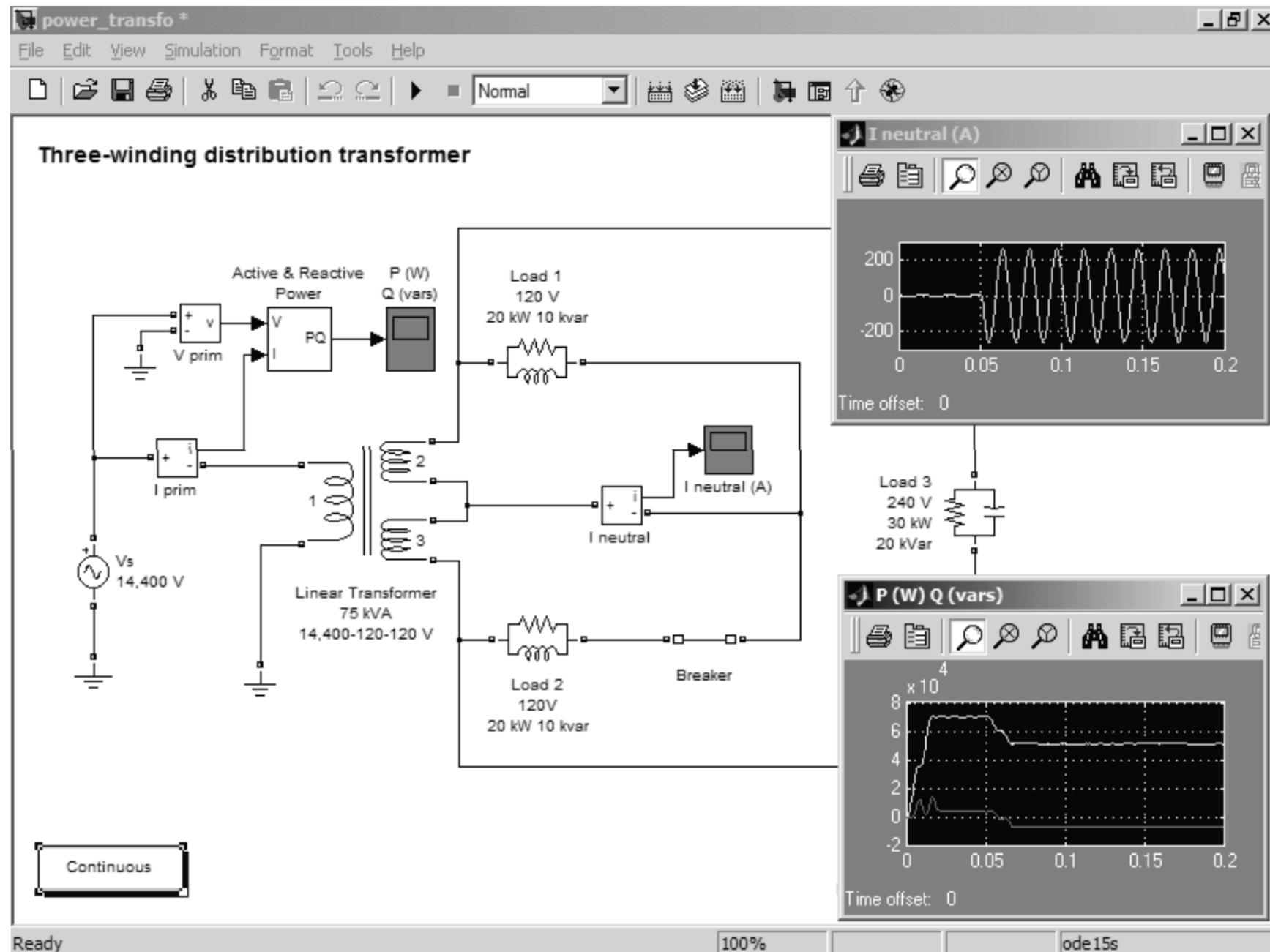
Этот блок не имеет ни входов, ни выходов и может включаться в состав любой модели как блок вызова графического интерфейса пользователя. В блок поступают все данные о модели и результатах моделирования. Возможно, стили блока зависят от модели, в которой блок используется.

Активизация пиктограммы Powergui выводит окно интерфейса. Окно powergui позволяет контролировать состояние переменных модели в момент инициализации и после моделирования, выполнять быстрое преобразование Фурье и т. д.

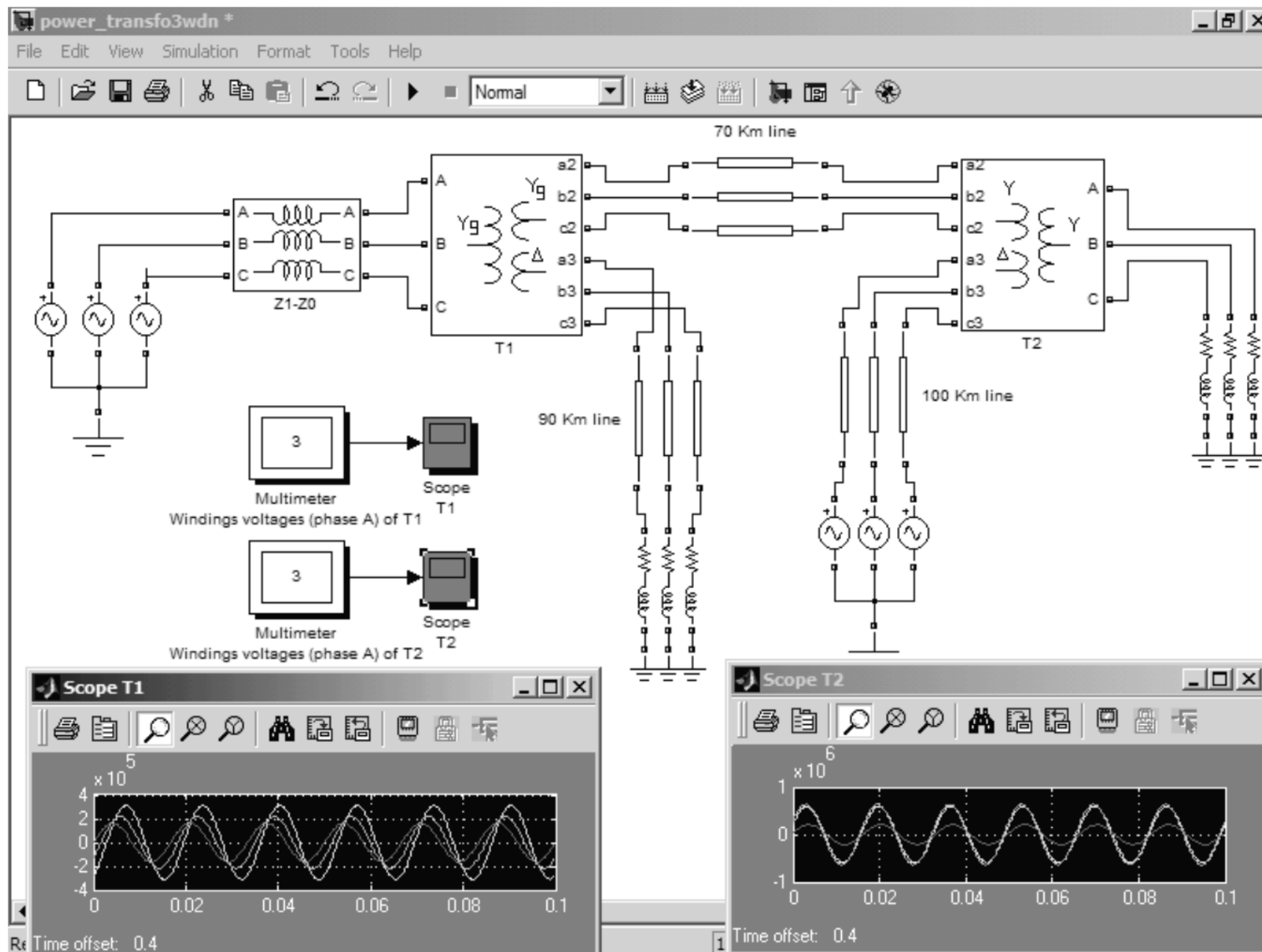
Пример моделирования
нагрузочной последовательной
RLCцепи, подключенной к
источнику переменного
напряжения



Пример моделирования системы с линейным трансформатором



Пример модели с линейными трехфазными трансформаторами



Состав библиотеки энергетической электроники

В библиотеке Power Electronics представлены следующие типы ключей:

- Ideal Swith – идеальный управляемый ключ;
- Mosfet – полевой транзистор с изолированным затвором;
- Gto – запираемый тиристор (Gate turn off);
- Diode – полупроводниковый диод;
- Thyristor – упрощенная модель тиристора;
- Detailed thyristor – уточненная модель тиристора;
- IGBT – силовой биполярнополевой модуль типа JGBT;
- Universal Bridge – универсальный модуль моста;
- ThreeLevel Bridge – модуль трехфазного моста.

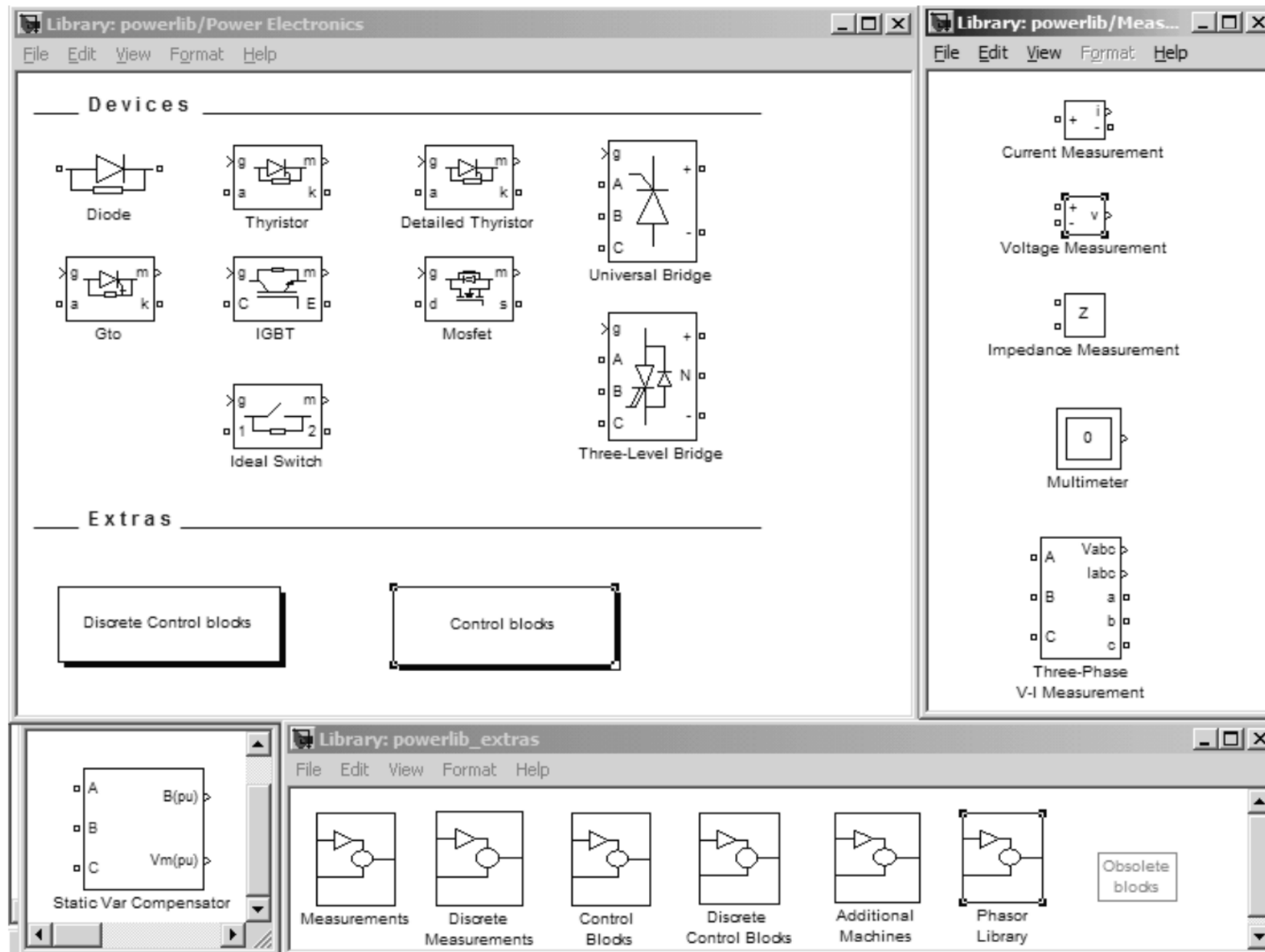
Внизу окна этой библиотеки имеются два раздела библиотеки, представляющие внешние маскированные блоки – маски:

- Discrete Control blocks – блоки контроля дискретные (25 блоков);
- Control blocks – блоки контроля непрерывные (14 блоков).

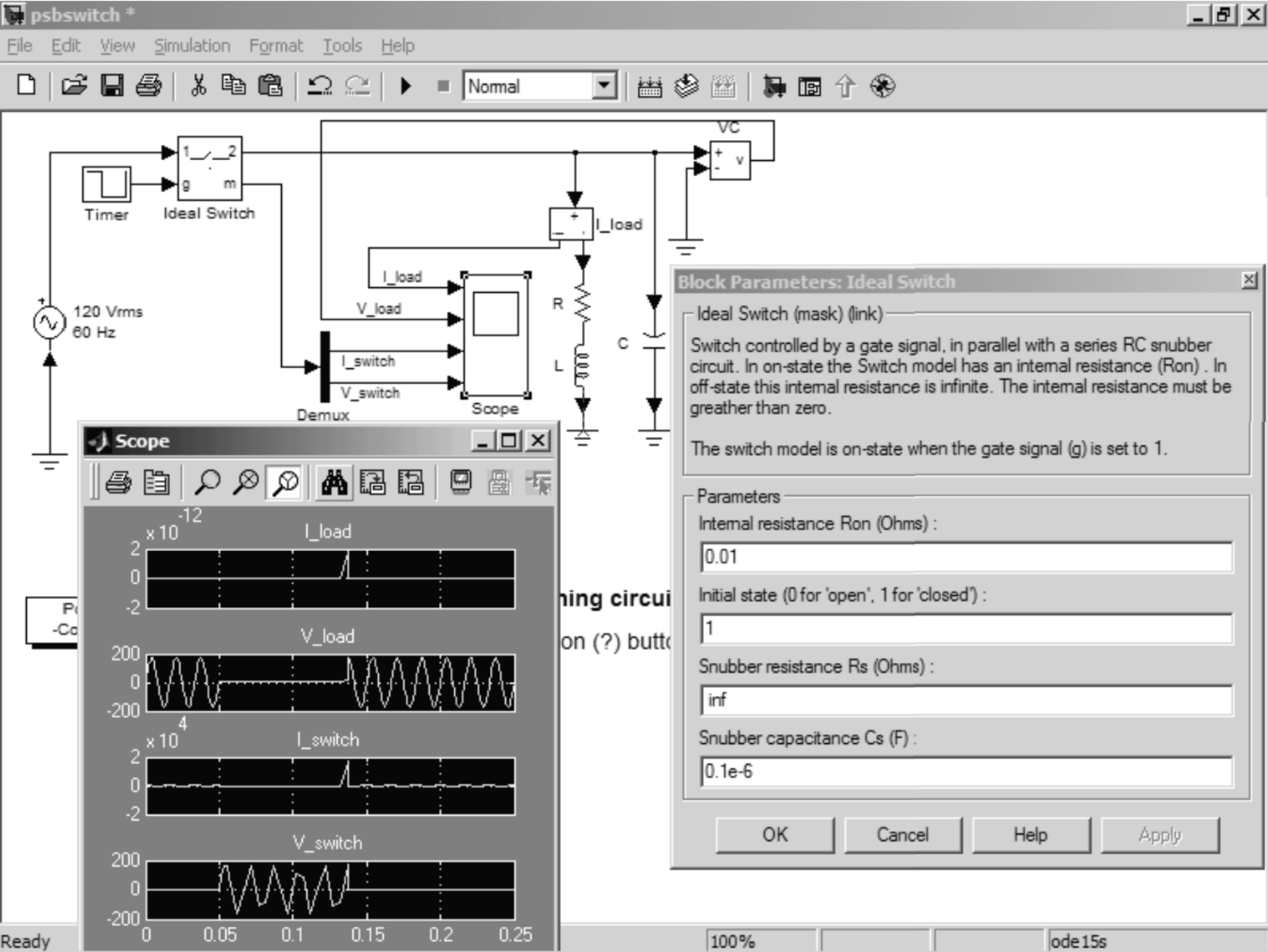
Для контроля над работой устройств имеется специальный раздел библиотеки Measurements (Измерения)

- Current Measurement – блок измерения тока;
- Voltage Measurement – блок измерения напряжения;
- Impedance Measurement – блок измерения импеданса;
- Multimeters – мультиметр;
- Theree-Phase V-I Measurement – измеритель напряжений/токов трех фазный.

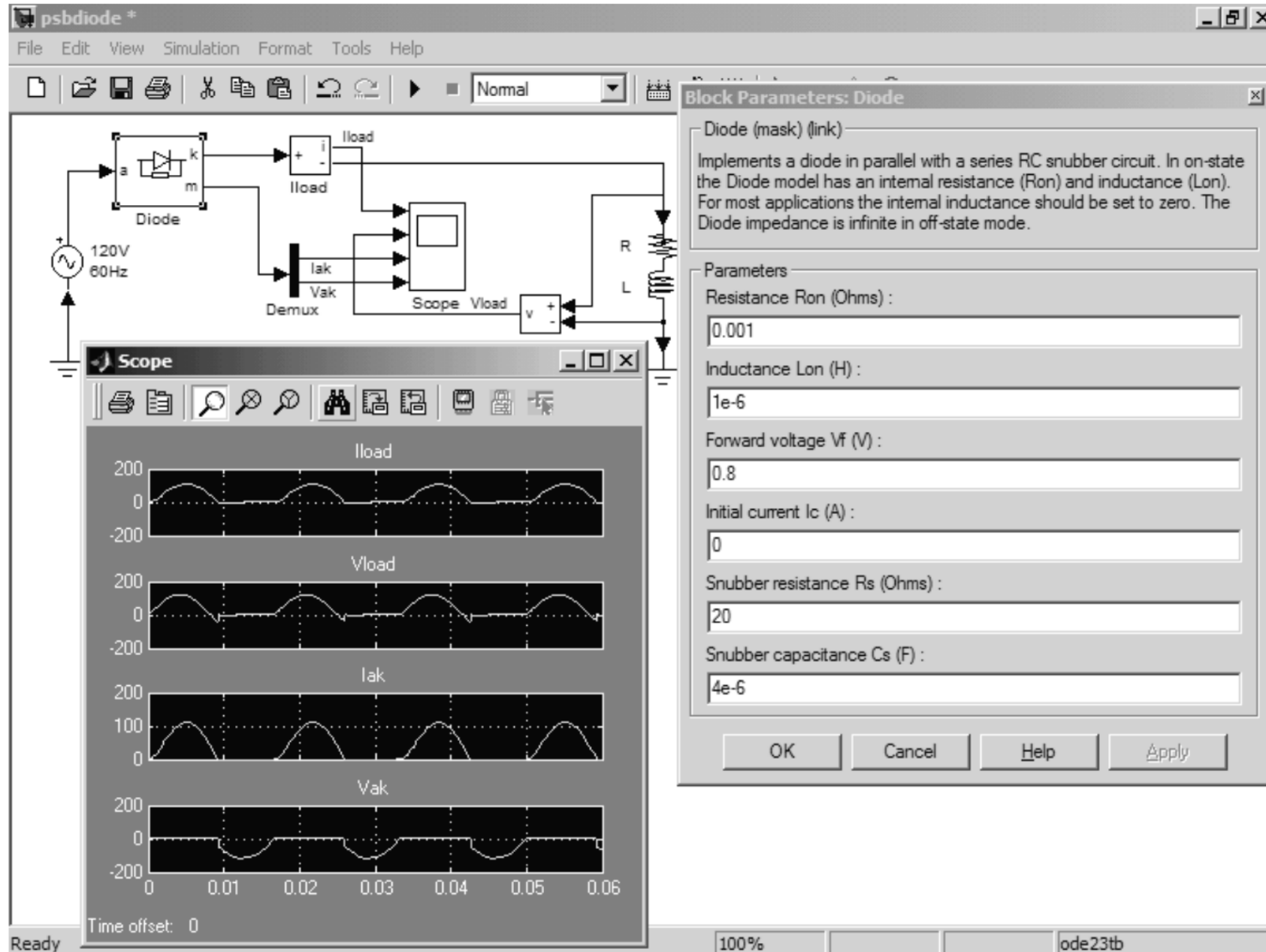
Состав основных библиотек блоков энергетической электроники



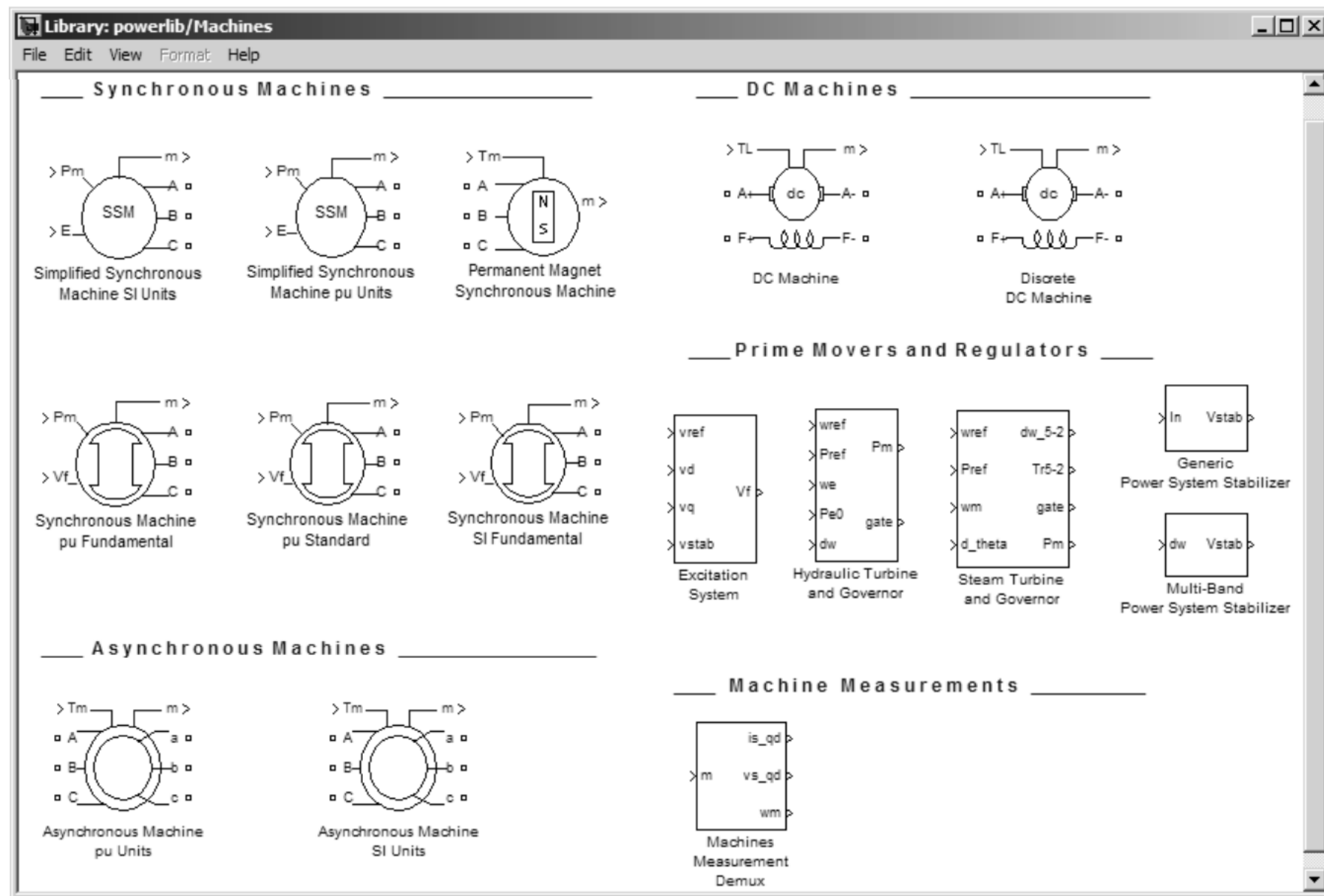
Моделирование цепи с идеальным ключом



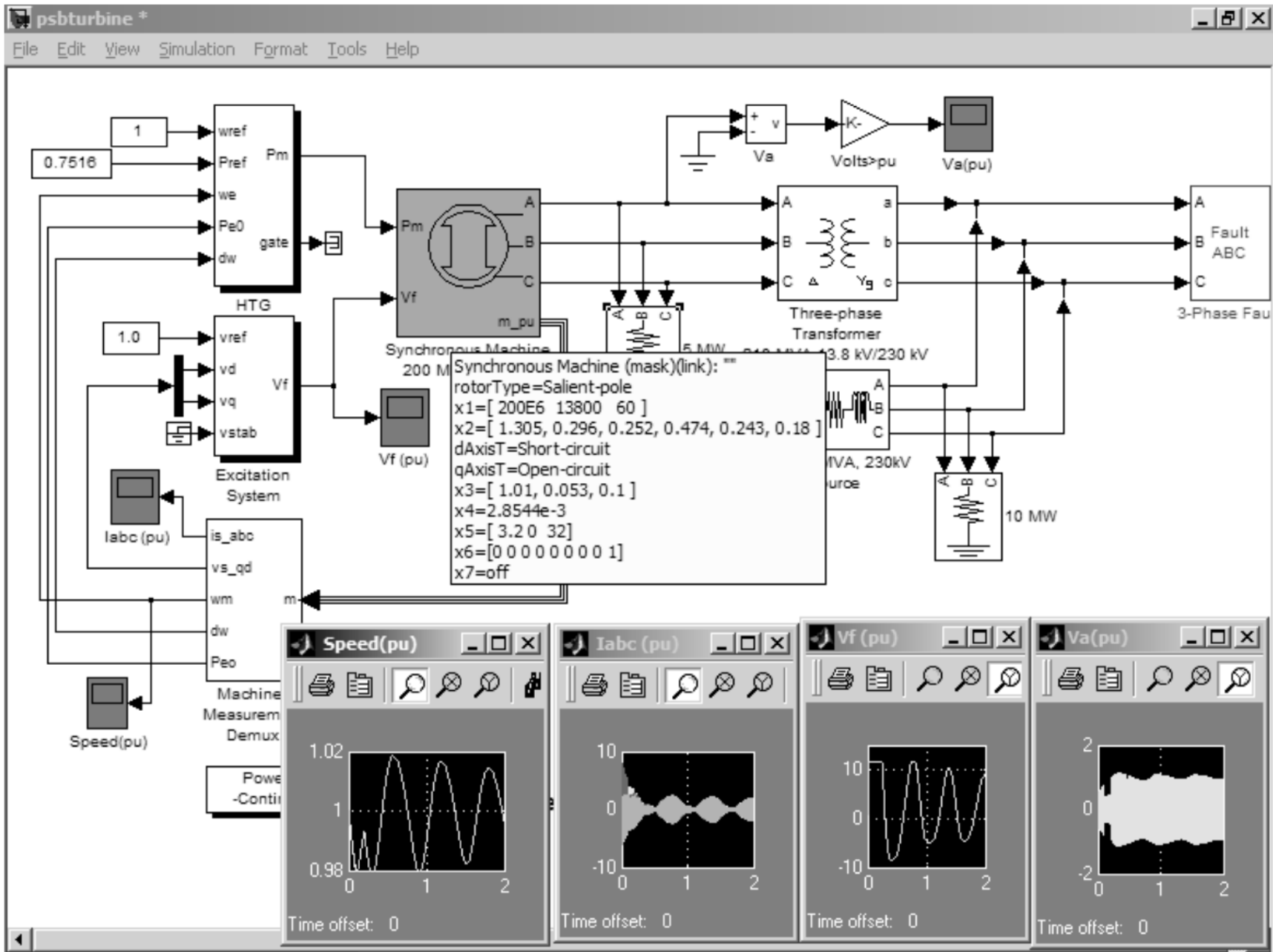
Моделирование цепи с диодом



Окно библиотеки **Mashines**



Пример моделирования мощной синхронной машины



Моделирование электрических преобразователей электроэнергии

Моделирование трех простейших импульсных преобразователей

