

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по УР

Н.И. Никифорова

«14» 04 2021 г.



**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

по дисциплине (модулю)

Б1.О.26 «Моделирование в электротехнике»

(наименование дисциплины (модуля))

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

«Электроснабжение»

(наименование профиля/программы/направленности/специализации)

бакалавр

квалификация

очная, заочная

форма обучения

Нижекамск, 2021 г.

Составитель ФОС:

Доцент  
(должность)

(подпись)

Е.В. Тумаева  
(Ф.И.О.)

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры ЭТЭОП,  
протокол от 18.03 2021 г. № 7

Зав. кафедрой

(подпись)

Е.В. Тумаева  
(Ф.И.О.)

Эксперт:

Руководитель ООП Тумаева Е.В., зав. кафедрой ЭТЭОП НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»  
Ф.И.О., должность, организация, подпись

**Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием этапов формирования в процессе освоения дисциплины**

Компетенция:

ОПК-2 - способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения.

Индикаторы достижения компетенции:

ОПК-2.1 - знает современные цифровые технологии, позволяющие разрабатывать и применять алгоритмы и компьютерные программы для решения практических задач;

ОПК-2.2 - умеет программировать алгоритмы, применять компьютерные программы для решения профессиональных задач;

ОПК-2.3 - владеет навыками использования современных прикладных программ.

Компетенция:

ОПК-4 – способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин.

Индикаторы достижения компетенции:

ОПК-4.1 – знает основные понятия и законы теории электрических цепей и электрических машин; методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин;

ОПК-4.2 – умеет составлять уравнения для электрических цепей и электрических машин и применять различные методы моделирования;

ОПК-4.3 – владеет методами расчета переходных и установившихся процессов в электрических цепях и электрических машинах.

Для очного отделения

<b>Индикаторы достижения компетенции</b>	<b>Этапы формирования в процессе освоения дисциплины</b>				<b>Наименование оценочного средства</b>
	<b>Лекции</b>	<b>Практические Занятия, лабораторный практикум</b>	<b>Лабораторные занятия</b>	<b>Курсовой проект (работа)</b>	
ПК-2.1	Тема 1-6	Не предусмотрены	Тема 1-3	Не предусмотрены	Лабораторная работа Зачет с оценкой
ПК-2.2	Тема 1-6	Не предусмотрены	Тема 1-3	Не предусмотрены	Лабораторная работа Зачет с оценкой
ПК-2.3	Тема 1-6	Не предусмотрены	Тема 1-3	Не предусмотрены	Лабораторная работа Зачет с оценкой
ПК-4.1	Тема 1-6	Не предусмотрены	Тема 1-3	Не предусмотрены	Лабораторная работа Зачет с оценкой

ПК-4.2	Тема 1-6	Не предусмотрены	Тема 1-3	Не предусмотрены	Лабораторная работа Зачет с оценкой
ПК-4.3	Тема 1-6	Не предусмотрены	Тема 1-3	Не предусмотрены	Лабораторная работа Зачет с оценкой

Для заочного отделения

<i><b>Индикаторы достижения компетенции</b></i>	<i><b>Этапы формирования в процессе освоения дисциплины</b></i>				<i><b>Наименование оценочного средства</b></i>
	<i><b>Лекции</b></i>	<i><b>Практические Занятия, лабораторный практикум</b></i>	<i><b>Лабораторные занятия</b></i>	<i><b>Курсовой проект (работа)</b></i>	
ПК-2.1	Тема 1-6	Не предусмотрены	Тема 1-3	Не предусмотрены	Лабораторная работа Контрольная работа Зачет с оценкой
ПК-2.2	Тема 1-6	Не предусмотрены	Тема 1-3	Не предусмотрены	Лабораторная работа Контрольная работа Зачет с оценкой
ПК-2.3	Тема 1-6	Не предусмотрены	Тема 1-3	Не предусмотрены	Лабораторная работа Контрольная работа Зачет с оценкой
ПК-4.1	Тема 1-6	Не предусмотрены	Тема 1-3	Не предусмотрены	Лабораторная работа Контрольная работа Зачет с оценкой
ПК-4.2	Тема 1-6	Не предусмотрены	Тема 1-3	Не предусмотрены	Лабораторная работа Контрольная работа Зачет с оценкой
ПК-4.3	Тема 1-6	Не предусмотрены	Тема 1-3	Не предусмотрены	Лабораторная работа Контрольная работа Зачет с оценкой

***Перечень оценочных средств по дисциплине «Моделирование в электро-технике»***

Для очного отделения

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
Лабораторная работа	5	35	60
Зачет с оценкой	1	25	40
Итого:		60	100

Для заочного отделения

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
Лабораторная работа	5	35	50
Контрольная работа	1	5	10
Зачет с оценкой	1	20	40
Итого:		60	100

### *Шкала оценивания*

Цифровое выражение	Выражение в баллах:	Словесное выражение	Критерии оценки индикаторов достижения при форме контроля:	
			экзамен / зачет с оценкой	зачет
5	87 - 100	Отлично (зачтено)	Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если ответы на вопросы по темам дисциплины последовательны, логически изложены, допускаются незначительные недочеты в ответе студента, такие как отсутствие самостоятельного вывода, речевые ошибки и пр
4	74 - 86	Хорошо (зачтено)	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.	
3	60 - 73	Удовлетворительно (зачтено)	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.	
2	Ниже 60	Неудовлетворительно (незачтено)	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если студент не знает основных понятий темы дисциплины, не отвечает на дополнительные и наводящие вопросы преподавателя.

### Краткая характеристика оценочных средств

<i><b>№ п/п</b></i>	<i><b>Наименование оценочного средства</b></i>	<i><b>Краткая характеристика оценочного средства</b></i>	<i><b>Представление оценочного сред- ства в фонде</b></i>
1	Лабораторная работа	Это вид учебной работы, целью которой является изучение (исследование, измерение) характеристик лабораторного объекта. Цель лабораторных занятий: освоение изучаемой учебной дисциплины; приобретение навыков практического применения знаний учебной дисциплины (дисциплин) с использованием технических средств и (или) оборудования	Темы лабораторных работ, контрольные вопросы по теме лабораторной работы, вопросы к коллоквиуму
2	Контрольная работа	Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.	Комплект контрольных заданий по вариантам

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет информационных технологий*  
*Кафедра электротехники и энергообеспечения предприятий*

Учебным планом по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» для обучающихся предусмотрено проведение лабораторных занятий по дисциплине «Моделирование в электротехнике».

Лабораторные занятия по дисциплине проводятся в специально оборудованных лабораториях с применением необходимых средств обучения: лабораторного оборудования, образцов для исследований, методических пособий. Цель проведения лабораторных работ - практическое освоение теоретических положений лекционного материала, а также выработка студентами определенных умений и навыков самостоятельного экспериментирования.

**Лабораторная работа №1. «Программный пакет MatLab»**

«Приборная база» проведения виртуальных лабораторных работ являются пакеты расширения Simulink и PowerSystemBlockset широко распространенного пакета MatLab.

В библиотеках этих пакетов расширения имеются многочисленные виртуальные элементы и многочисленные измерительные приборы, что позволяет всесторонне исследовать электрическую цепь любой сложности.

В данной лабораторной работе описывается содержание основных библиотек этих пакетов расширения и рассматриваются основные приемы работы в них. При этом основное внимание уделено тем библиотекам, которые используются в дальнейшем при работе в виртуальной лаборатории электрических цепей.

**Пакет расширения Simulink3 в пакете Matlab-6**

Название пакета MatLab происходит от словосочетания MatrixLaboratory, он ориентирован в первую очередь на обработку массивов данных (матриц и векторов). Именно поэтому, несмотря на достаточно высокую скорость смены поколений вычислительной техники, MatLab успевал впитывать все наиболее ценное от каждого из них. В результате к настоящему времени MatLab представляет собой богатейшую библиотеку функций (их более 800), единственная проблема работы с которыми заключается в умении быстро отыскать те из них, которые нужны для решения поставленной задачи.

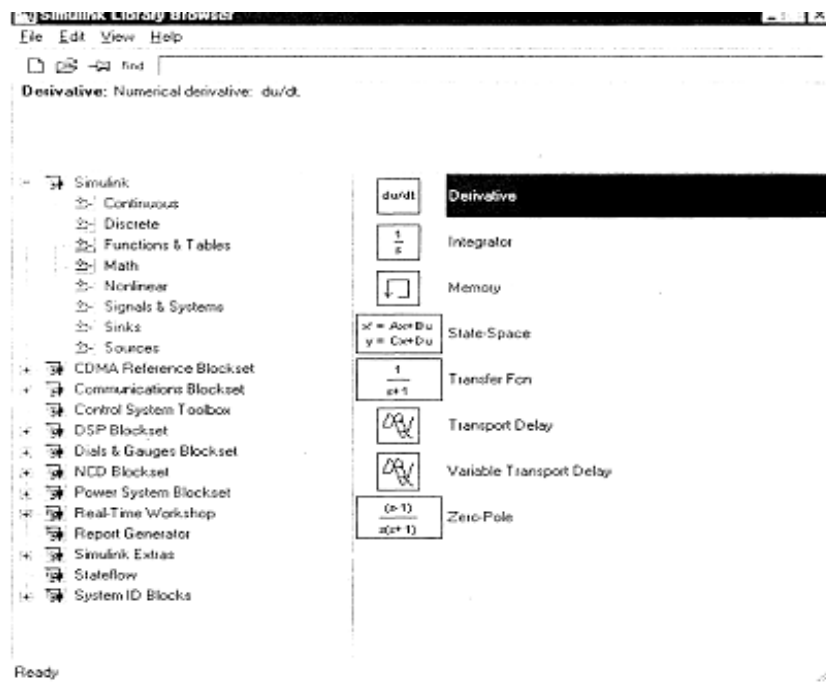


Рис. 1.1. Библиотека Simulink

Для того, чтобы облегчить специалистам различных областей науки и техники работу с пакетом вся библиотека функций разбита на разделы. Те из них, которые носят более общий характер, входят в состав ядра MatLab, тогда как функции, которые являются специфическими для конкретной области, включены в состав пакетов расширения (Toolboxes).

В последнее время появилась новая, существенно расширенная версия — MatLab-6, — с новым интерфейсом. Этой версии ниже уделено основное внимание. Однако, необходимо отметить, что библиотеки старых версий с их интерфейсом сохранены. Путь к такой библиотеке следующий:

«MatLabR12\toolbox\Simulink\blocks\Simulink3».

Библиотека Simulink3 представляет собой набор визуальных объектов, используя которые можно исследовать практически любую электрическую цепь. Практически для всех блоков существует возможность настройки параметров. Параметры настройки отражаются в полях настройки окна настройки выбранного блока. Кнопка Help на полях настройки открывает подробную информацию о блоке и его параметрах настройки.

Вся библиотека Simulink в новой версии разбита на восемь разделов (рис. 1.1). Содержание раздела находится в правом окне библиотеки. Для вызова привычного интерфейса библиотеки следует установить курсор на соответствующий раздел в левом окне, правой кнопкой «мышки» вызвать выпадающее меню и из этого меню открыть библиотеку.

Ниже при описании библиотек пояснения будут даны только для тех блоков, которые используются в дальнейшем.

### Библиотека математических функций Math

Библиотека математических функций показана на рис.1.2. Она содержит следующие блоки.

**Sum**— аналоговый сумматор, который позволяет алгебраически суммировать любое число сигналов на входе.

**Product**формирует на выходе результат умножения или деления двух и более входных сигналов. Окно настройки блока показано на рис. 1.3. В поле настройки этого окна вводятся параметры настройки. Для данного блока в качестве параметров настройки указывается число входов и вид выполняемой операции.

**DotProduct** — звено, осуществляющее перемножение двух входных величин, если они являются скалярами, а также вычисляющее сумму поэлементных произведений двух входных векторов одинаковой длины.

**Gain**— аналоговый усилитель.

**SliderGain** — аналоговый усилитель с интерактивной настройкой параметра. **MatrixGain** — усилитель, на вход которого подается вектор.

**MatFunction** — блок, позволяющий выбрать одну из математических функций в поле настройки и включить ее в модель.

**TrigonometricFunction** формирует на выходе тригонометрическую функцию входного сигнала. Выбор функции обеспечивается в поле настройки.

**MinMax**. Блок выбирает минимальное или максимальное значение входного сигнала — числового вектора — в соответствии с заданием поля настройки.

**Abs** формирует на выходе абсолютное значение входного сигнала, в функциональных схемах играет роль выпрямителя.

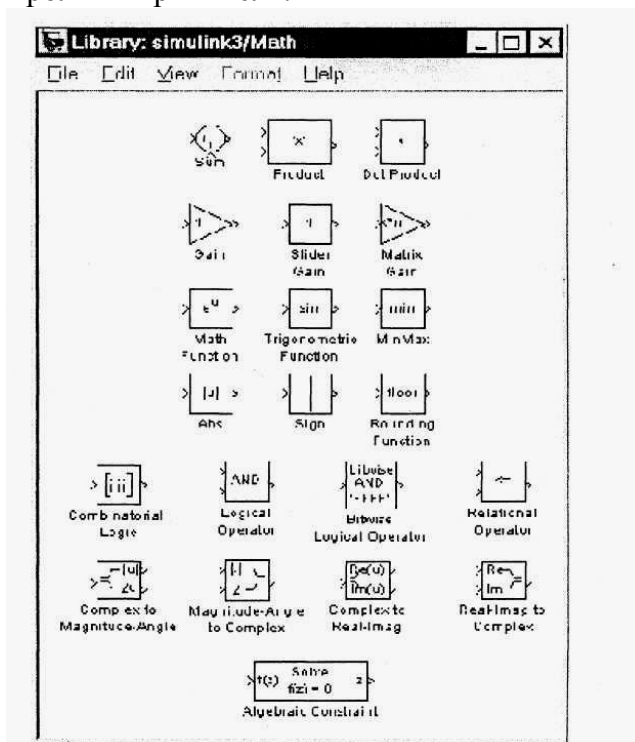


Рис. 1.2. Библиотека математических функций Math

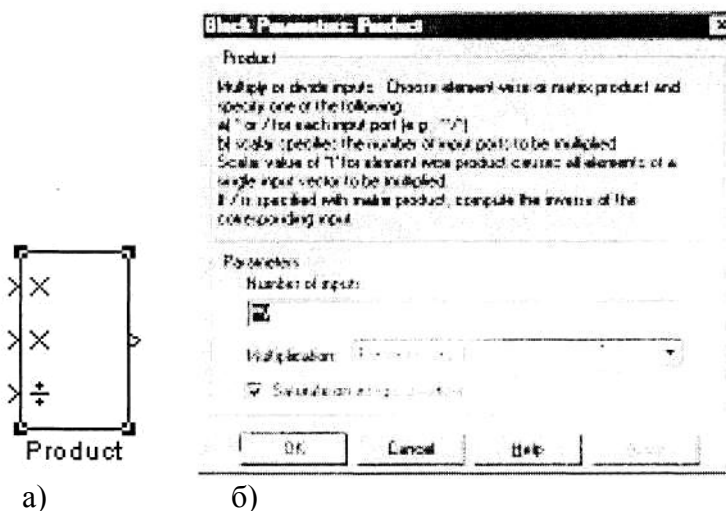


Рис. 1.3. Окно настройки блока Product

**Sing** — блок-реле, реагирующий на знак входного сигнала. Значение выходного сигнала устанавливается в поле настройки.

**RoundingFunction** округляет входной сигнал, функция округления выбирается в поле настройки на ниспадающем меню.

**CombinatorialLogic** обеспечивает преобразование входного сигнала в соответствии с сформированной в поле настройки таблицей истинности. Этот блок представляет собой модель конечного автомата, состояния которого, как известно, описываются при помощи булевой алгебры.

**LogicalOperation, RelationOperator** известные логические операции «и» и «или».

Количество входов задается в поле настройки.

**BitwiseLogicalOperator** — универсальный блок, реализующий любую логическую функцию.

**ComplextoMagnitude-Angle** — блок, позволяющий выделить модуль и фазу входной комплексной величины.

**Magnitude-AngletoComplex** — блок, преобразующий входную величину, заданную модулем и фазой, в комплексную выходную величину.

**ComplextoReal-Imag, Real-ImagtoComplex** — блоки, преобразующие комплексные величины из показательной формы в алгебраическую и обратно.

**AlgebraicConstraint** — блок, позволяющий в структурную модель включать систему алгебраических уравнений.

#### **Библиотека нелинейных блоков Nonlinear**

Библиотека нелинейных блоков показана на рис.1.4. Эта библиотека содержит блоки, описанные ниже.

**RateLimiter** обеспечивает различные коэффициенты передачи в зависимости от знака входного сигнала. В полях настройки устанавливаются значения этих коэффициентов.

**Saturation** — усилитель с ограничением. Величина выходного сигнала при положительном и отрицательном входном сигнале устанавливается в полях настройки.

**Quantizer** — блок, обеспечивающий квантование входного сигнала по уровню. Величина ступеньки задается в поле настройки.

**Backlash** — блок, реализующий люфт в механических редукторах.

**DeadZone** — блок, реализующий зону нечувствительности.

**Relay** — реле с регулируемой зоной нечувствительности и устанавливаемой величиной положительного и отрицательного выходного сигнала.

**Switch** — ключ, который переключается, когда входной сигнал становится равным или большим заданного в поле настройки.

**ManualSwitch** — ключ, который переключается вручную. При моделировании при помощи этого ключа удобно менять параметры и структуру модели.

**MultiportSwitch** — блок переключателей, передающий на выход один из входных сигналов.

**Coulomb&ViscousFriction** — блок, реализующий характеристику трения в механических системах.

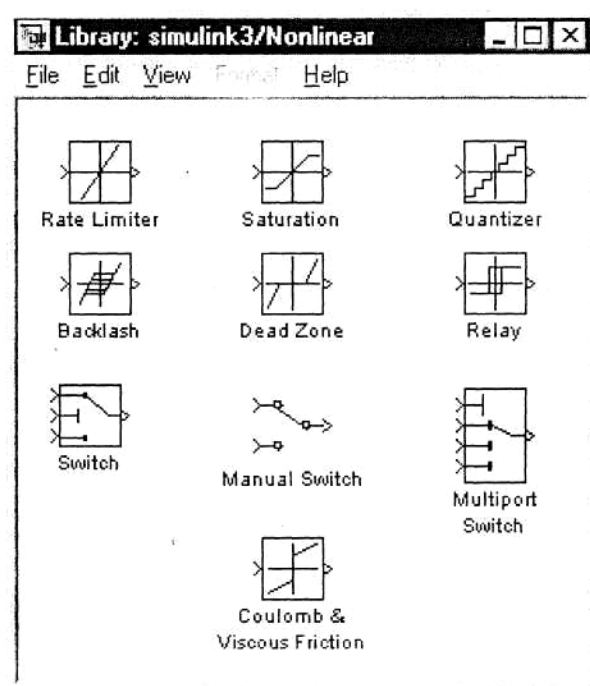


Рис. 1.4. Библиотека нелинейных блоков Nonlinear

Библиотека виртуальных приборов для наблюдения и регистрации процессов

### (Sinks)

Приборы для наблюдения и регистрации процессов в исследуемой модели представлены на рис.1.5.

В комплект входят нижеследующие виртуальные приборы: **Scope** — осциллоскоп для наблюдения временных зависимостей. **XYGraph**— графопостроитель в системе полярных координат. **Display**— устройство для вывода на экран дисплея измеряемых величин в цифровой форме.

**To file**— блок, связывающий модель Simulink с системой MatLab. Этот блок позволяет записать результаты моделирования в файл MatLab с целью дальнейшей обработки и представления результатов.

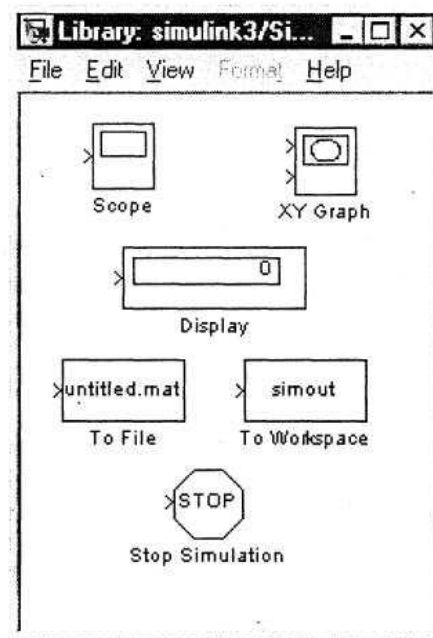


Рис. 1.5. Библиотека виртуальных приборов для наблюдения и регистрации процессов Sinks

**Workspace**— устройство для передачи результатов моделирования в рабочее пространство с целью их дальнейшей обработки.

**StopSimulation**— остановка симуляции.

С каждым графическим элементом связано окно настроек. На рис. 1.6 показаны экран осциллоскопа и его окно настроек. Первое поле Numberofaxes заслуживает, пожалуй, наибольшего внимания. Число регистрируемых процессов и количество открываемых экранов осциллоскопа соответствуют числу, установленному в этом поле.

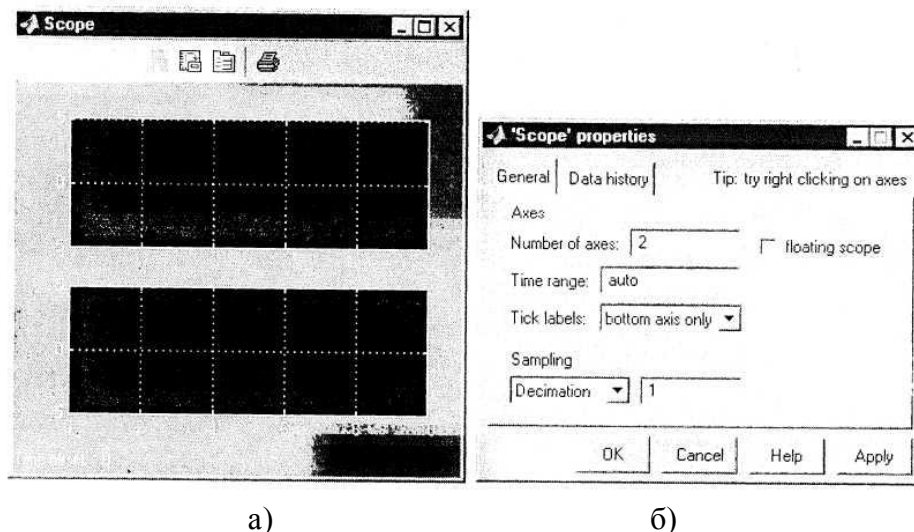


Рис. 1.6. Scope — осциллоскоп для наблюдения временных зависимостей (а) и его окно настройки (б)

### Библиотека источников сигналов (Sources)

Содержание этого раздела показано на рис.1.7.

Набор блоков содержит практически все необходимые источники сигналов для исследования электрических цепей. Возможно задание произвольного воздействия из файла (блок FromFile). Кроме источников детерминированных воздействий с различной функциональной и временной зависимостью, имеются источники случайных воздействий с различными законами распределения. С каждым графическим блоком связано окно настройки. Так, для генератора периодических сигналов (SignalGenerator **рис. 1.8**) соответствующее окно содержит выбор формы периодического сигнала (Waveform), установку амплитуды сигнала (Amplitude), установку частоты (Frequency) и выбор единиц измерения установленной частоты.

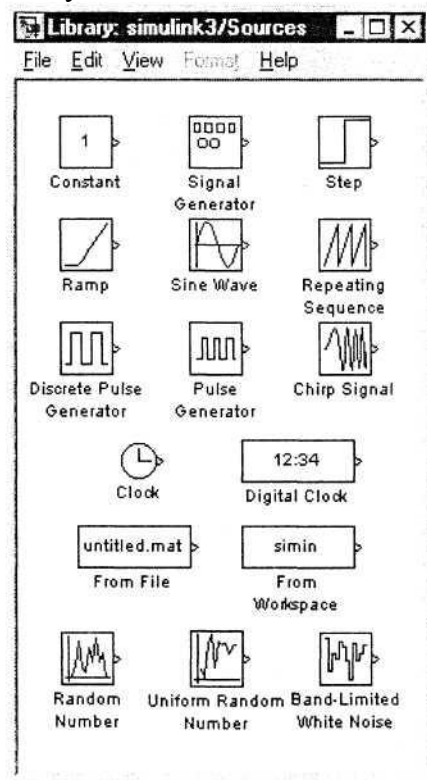


Рис. 1.7. Библиотека источников сигналов Sources

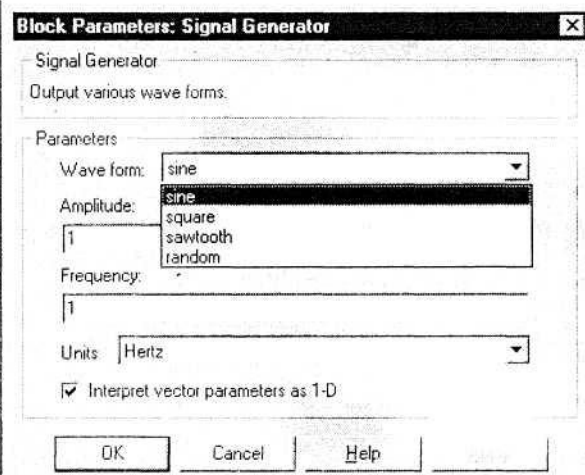


Рис. 1.8. Окно настройки Signal Generator

### Пакет расширения Power System Blockset

Библиотека Powerlib пакета расширения PowerSystemBlockset (рис. 1.9) содержит 7 разделов, последний из которых, Extras, включает подразделы.

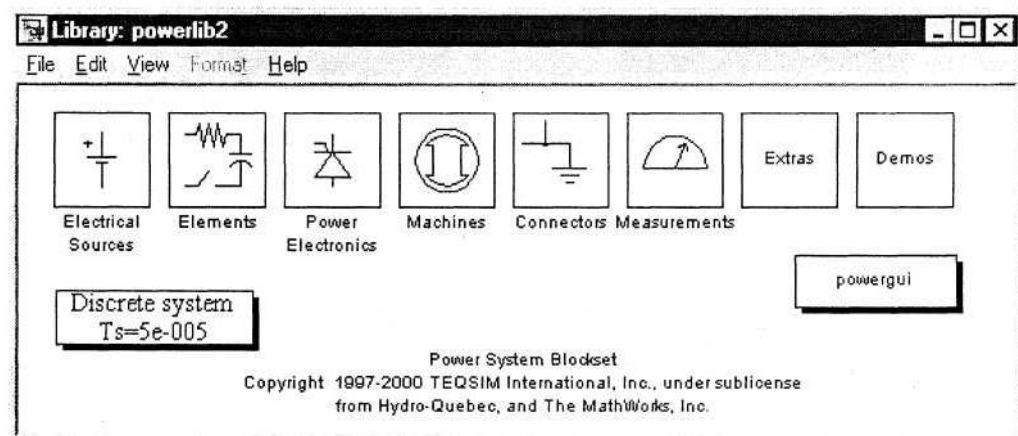


Рис. 1.9. Библиотека Powerlib

### Источники электрической энергии ElectricalSources

Эта библиотека содержат неуправляемые и управляемые источники постоянного и переменного напряжения и тока (рис. 1.10). Окно настройки блока ACVoltageSource показано на рис. 1.11. В полях параметров окна устанавливаются значения амплитуды напряжения, начальной фазы и частоты.

Поле Measurements позволяет подключать блок Multimeter для измерения и наблюдения выходных параметров источника.

Блоки управляемых источников позволяют связать структурные или функциональные схемы основных библиотек SimulinkBlokLibrary с элементами библиотеки PowerSystemBlockset.

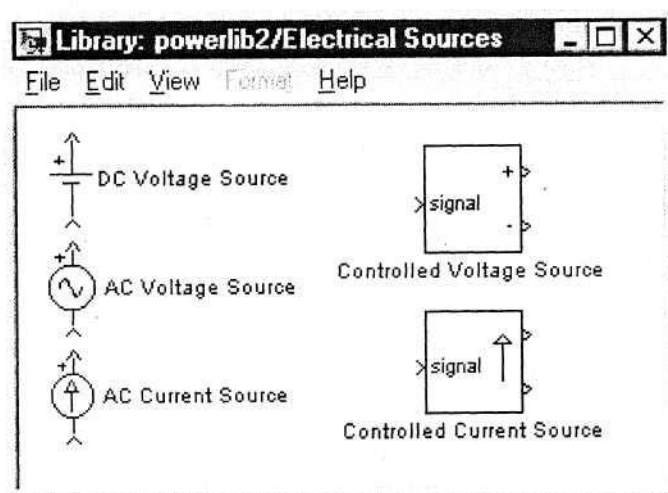


Рис. 1.10. Библиотека источников электрической энергии ElectricalSources

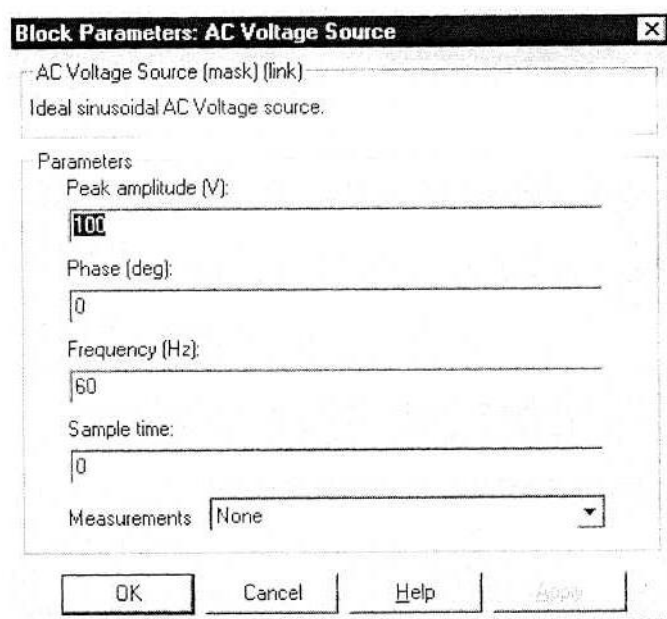


Рис. 1.11. Окно настройки блока ACVoltageSource

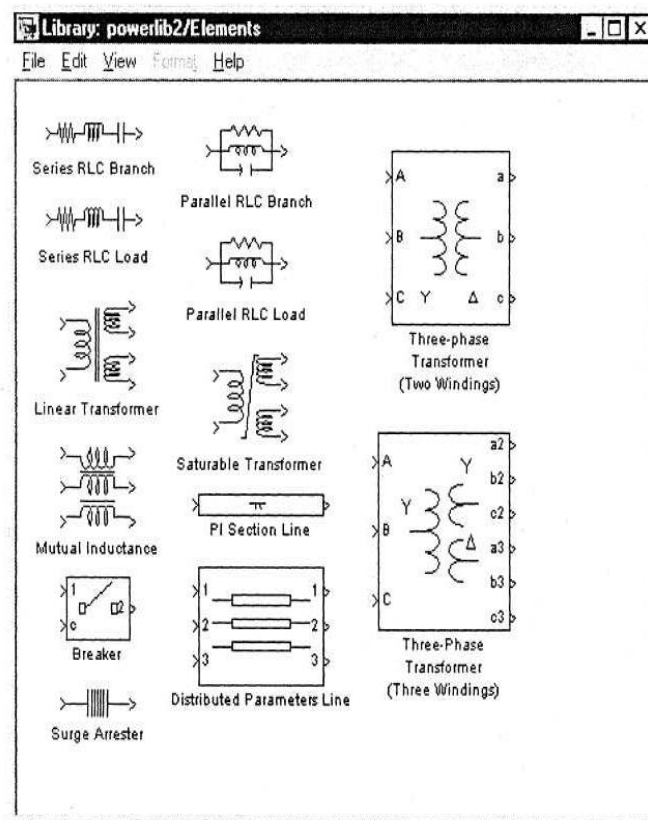
### Библиотека пассивных элементов PowerElements

На рис. 1.12 представлен состав этой библиотеки, она содержит:

- последовательные и параллельные пассивные элементы R, L, C, которые могут быть заданы в параметрах этих элементов, то есть омах, генри и фарадах (RLCBranch), а могут быть заданы значениями активной, реактивной индуктивной, либо реактивной емкостной мощностей (RLCLoad). Такое задание нагрузки иногда очень удобно при исследовании работы трехфазных электрических цепей;
- линейный трансформатор (LinearTransformer) и трансформатор с реальным маг-

нитным сердечником, учитывающим его насыщение (SaturableTransformer);

- магнитосвязанные цепи, или цепи с взаимной индукцией (MutualInductance);
- нелинейный элемент (SurgeArrester), позволяющий сформировать требуемую нелинейную зависимость между входным и выходным сигналами;
- ключ (Breaker), параметры которого (сопротивление, индуктивность) в открытом состоянии задаются в полях настройки. Там же задается состояние ключа (открыт, закрыт) при нулевом входном сигнале;
- трехфазный двухобмоточный и трехобмоточный трансформаторы (Three-PhaseTransformer, TwoWindings, ThreeWindings);
- блоки, реализующие параметры однофазной и трехфазной линии передачи (PISectionLine, DistributedParametersLine).



**Рис. 1.12. Библиотека пассивных элементов PowerElements**

На рис. 1.13 в качестве примера показано окно настройки блока трехфазного трансформатора (Three-PhaseTransformer). В полях настройки задаются параметры трансформатора (power параметры первичной и вторичной обмоток (Windingparameters), схемы соединения первичных и вторичных обмоток (окна Winding 1 (ABC) Connection, Winding 2 (abc) Connection).

Флажок (SaturableCore) позволяет учесть насыщение трансформатора. В выпадающем меню поля (Measurements) устанавливаются переменные состояния трансформатора, которые подлежат измерению при моделировании блоком Multimeter.

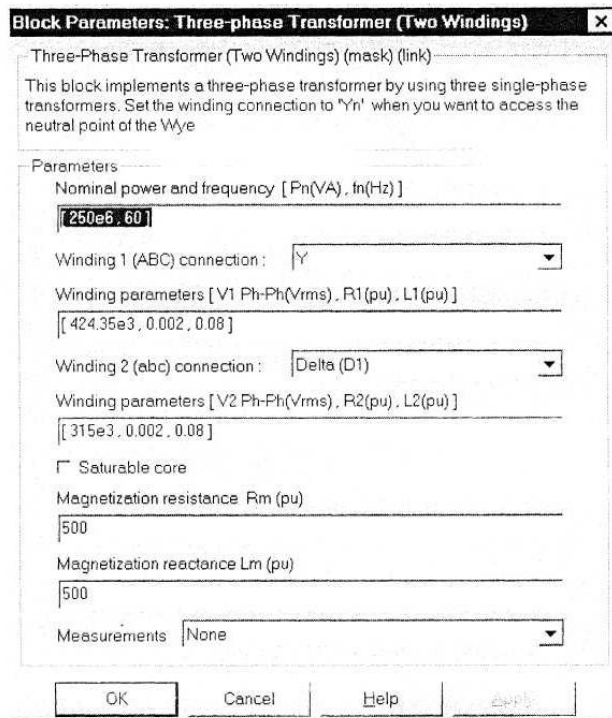


Рис. 1.13. Панель настройки блока Three-PhaseTransformer

### Блоки связи между входами и выходами моделей библиотеки PowerSystem-Blockset (Connector)

Назначение блоков (рис.1.14) раскрывает их графическое представление. На линиях BusBar задается количество входов и выходов.

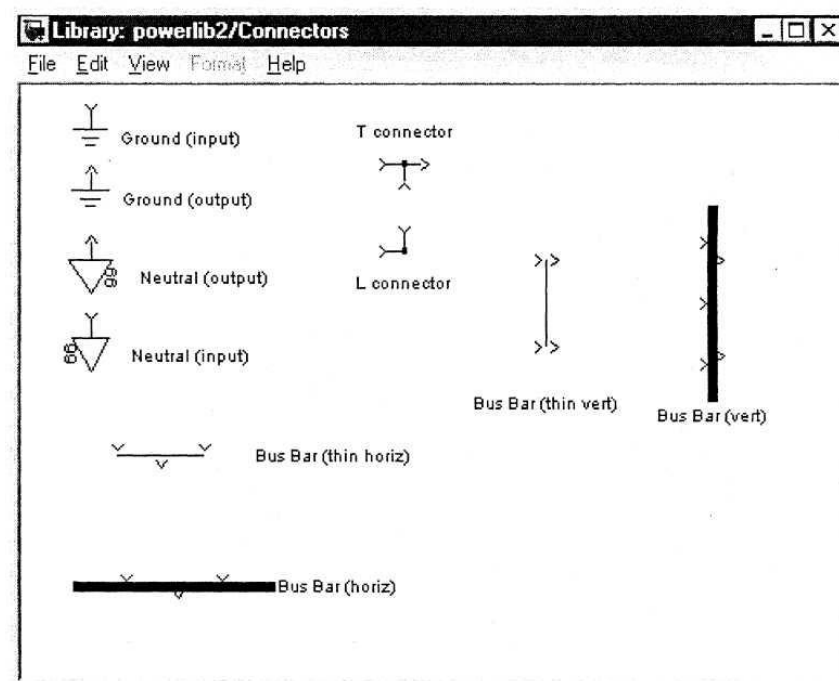
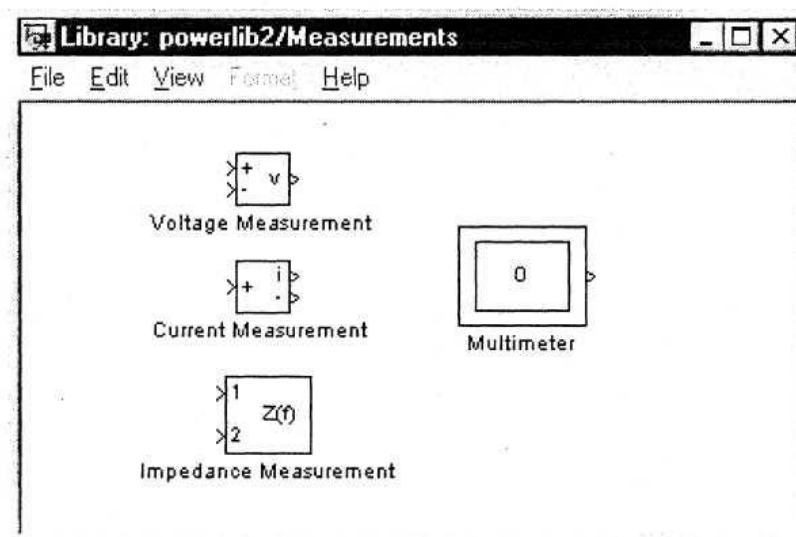


Рис. 1.14. Библиотека Connector

### Блоки измерений Measurement

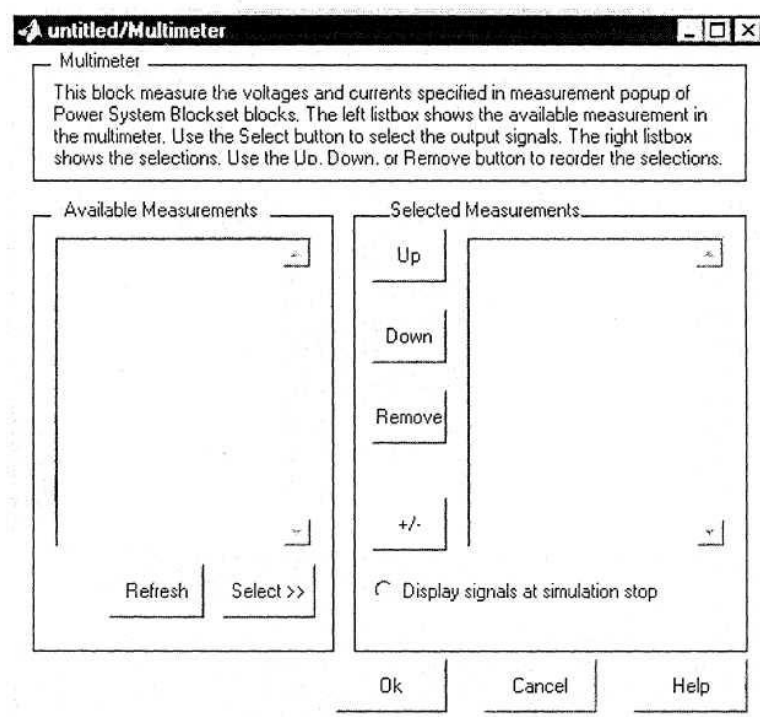
Эти блоки показаны на рис. 1.15. Блоки VoltageMeasurement, CurrentMeasurement предназначены для соединений измерительных блоков библиотеки Simulink с блоками библиотеки PowerSystem Blocksets. Блок ImpedanceMeasurement позволяет измерить частотную зависимость полного сопротивления между двумя точками исследуемой схемы.



**Рис. 1.15. Библиотека Measurement**

Особый интерес представляет блок Multimeter. Этот блок позволяет измерить электрические переменные, выбранные в окне Measurement соответствующих элементов (см., например, рис. 1.11, 1.13). Окно настройки блока Multimeter (рис. 1.16) содержит два поля. В первом (Available) после нажатия кнопки Refresh появляются соответствующие измеряемые переменные. Все или часть из них могут быть с помощью кнопки Select переведены во второе окно для измерения и регистрации результатов. Флажок Displaysignalsatsimulationstop позволяет вывести измеряемые сигналы в виде временных зависимостей. Этот блок очень удобен при исследовании и в дальнейшем часто применяется.

Блок Multimeter своим выходом может быть подключен и к внешним измерителям.



**Рис. 1.16. Окно настройки блока Multimeter**

### Расширенная библиотека PowerlibExtras

Библиотека PowerlibExtras представлена на рис. 1.17. Эта библиотека содержит шесть дополнительных разделов.

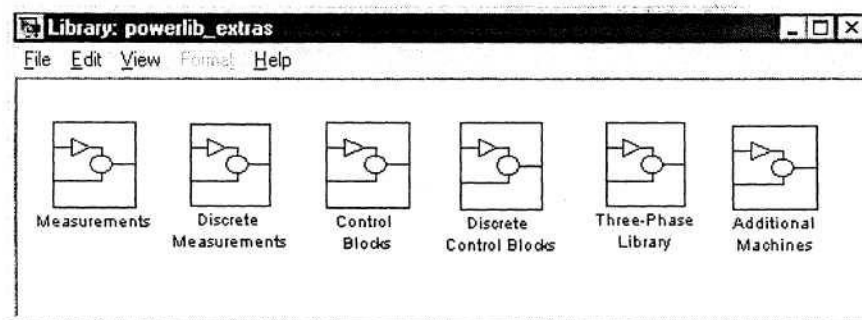


Рис. 1.17. Библиотека PowerlibExtras

### Библиотека дополнительных блоков измерения Measurement

Расширенная библиотека Measurement показана на рис. 1.18. Библиотека содержит блок разложения несинусоидального периодического сигнала на гармонические составляющие (Fourier), блок измерения эффективного (действующего) значения несинусоидального периодического напряжения или тока (RMS), блок измерения активной и реактивной мощности (Active&ReactivePower).

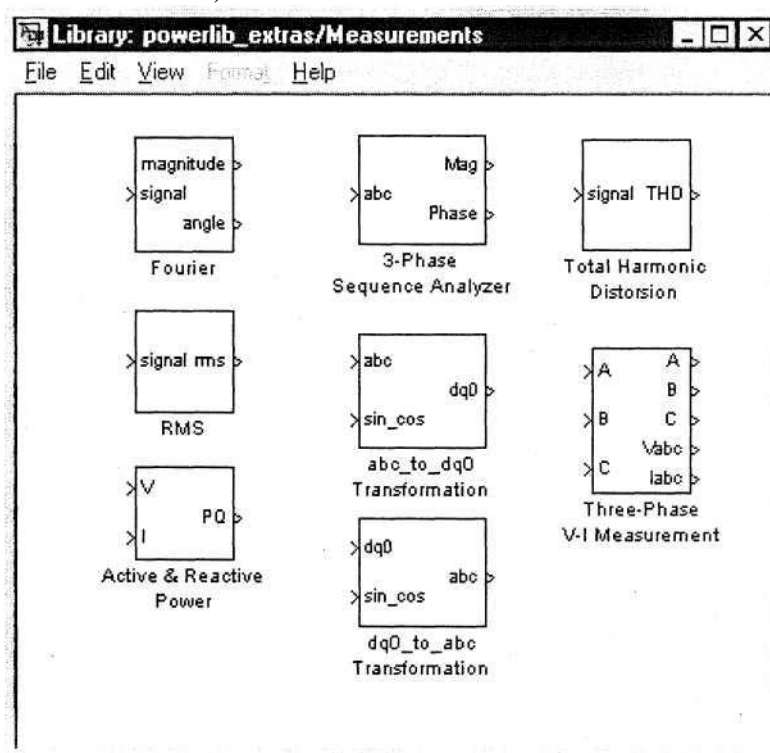


Рис. 1.18. Библиотека ExtrasMeasurement

Имеются три блока преобразования трехфазных сигналов. Блок 3-PhaseSequenceAnalyzer вычисляет симметричные составляющие прямой, обратной и нулевой последовательностей. Блоки abcToDq0Transformation и dq0ToabcTransformation осуществляют преобразование трехфазной системы к двухфазной и наоборот.

Блок TotalHarmonicDistorsion измеряет коэффициент гармоник. Блок Three-PhaseV-I Measurement измеряет токи и напряжения трехфазной цепи.

На рис.1.19 в качестве примера показано окно настройки блока Fourier. В полях настройки блока отмечается основная частота и порядковый номер исследуемой гармоники.

В поле окна настройки блока TotalHarmonicDistorsion (рис. 1.20) устанавливается основная частота исследуемого сигнала.

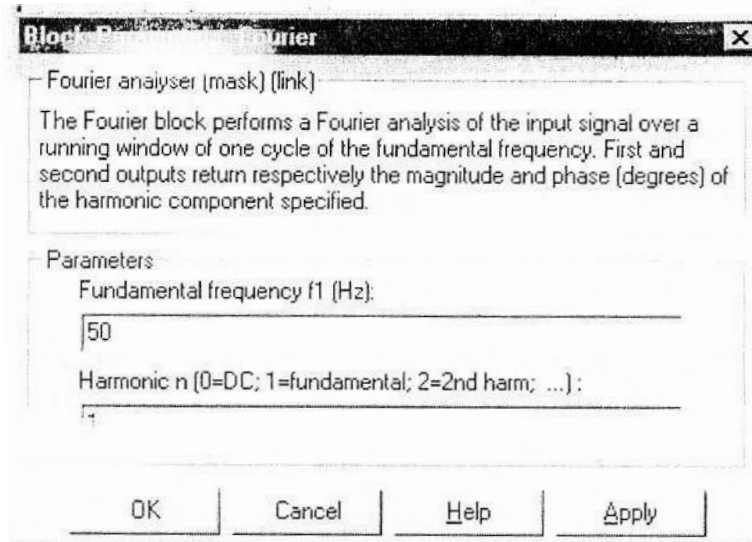


Рис. 1.19. Окно настройки блока Fourier

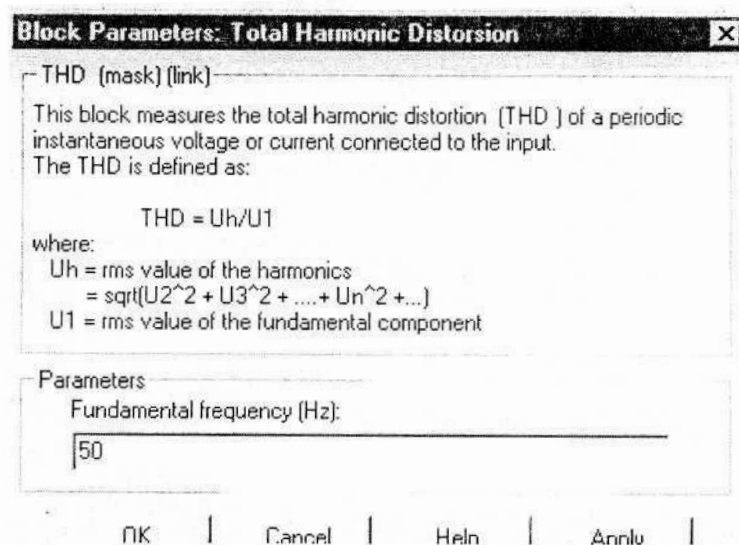


Рис. 1.20. Окнонастройкиблока Total Harmonic Distorsion

### Библиотека трехфазных цепей Three-Phase Library

Расширенная библиотека Three-Phase Library содержит трехфазные цепи различного назначения (рис.1.21). В этой библиотеке имеется набор последовательных и параллельных трехфазных нагрузок, заданных либо пассивными параметрами, либо значениями активной и реактивной мощности, блок источника питания, трехфазную индуктивно-связанную цепь, трехфазный трансформатор, трехфазный ключ и блок, моделирующий повреждения в трехфазной сети.

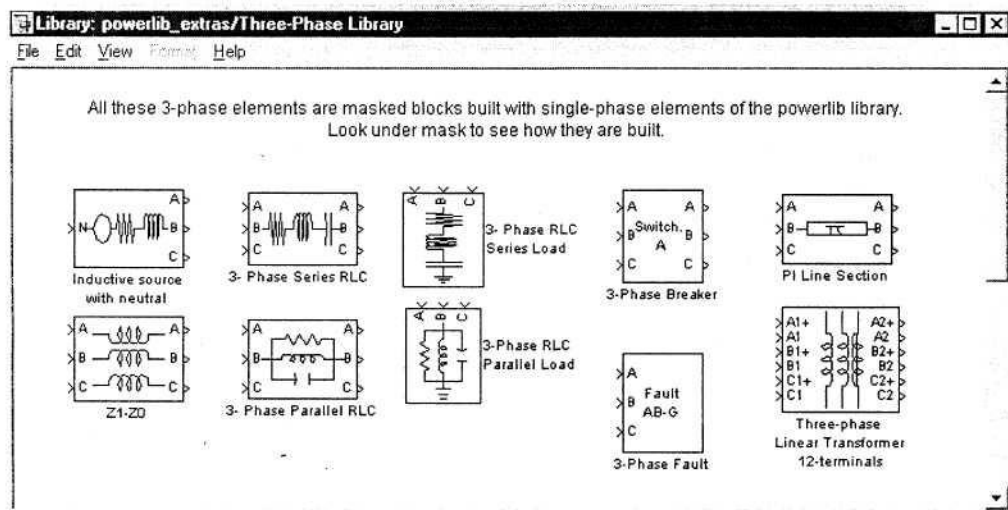


Рис. 1.21. Библиотека Three-PhaseLibrary

Особый интерес при моделировании электрических цепей представляет блок Powergui основной библиотеки PowerSystemBlockset (см. рис. 1.9). Этот блок, будучи установленным в исследуемую модель электрической цепи, позволяет измерить токи, напряжения и их начальные фазы на любом участке электрической цепи. Для связи блока с электрической схемой служат блоки измерений Multimeter, VoltageMeasurement, CurrentMeasurement. Кроме того, блок Powergui позволяет связать пакет расширения PowerSystemBlockset с пакетом расширения ControlSystem. Это обеспечивает возможность исследовать частотные характеристики и переходные процессы в электрических цепях. Окно настройки блока показано на рис. 1.22. В левом поле отражаются измеряемые величины. Справа кнопки и флажки позволяют выбрать величины для измерения. В выпадающем меню первого поля задаются измеряемые значения (амплитудное или действующее). В выпадающем меню второго поля задается частота. Включенный флажок States позволяет измерить переменные состояния (токи в индуктивностях, напряжения на конденсаторах). Включенный флажок Measurment позволяет измерить все величины, выбранные в окне блока Multimeter. Включенный флажок Sources позволяет измерить токи и напряжения источников, а включенный флажок Nonlinear — токи и напряжения в нелинейных элементах.

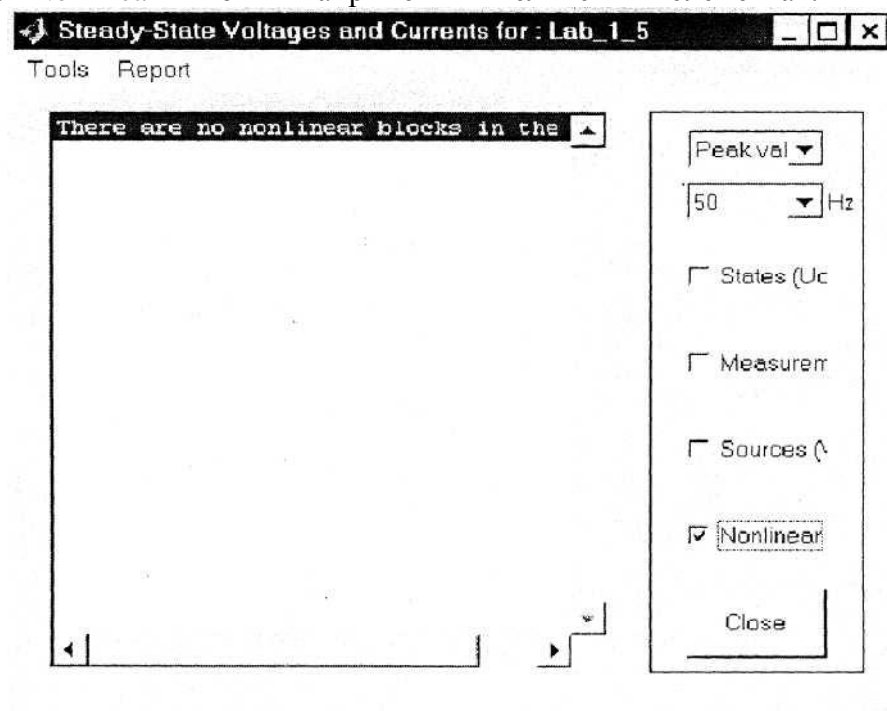


Рис. 1.22. Окно настройки блока Powergui

## Операции с блоками

**Копирование блоков** из одного окна в другое проводится следующим образом: открывается нужная библиотека или окно модели-прототипа и нужный блок перетаскивается мышью в окно создаваемой (редактируемой) модели.

Блоки можно копировать и при помощи команд меню. Последовательность действий при этом такова:

В окне библиотеки или модели выделяется блок (блоки), подлежащий копированию;

Выбирается в меню Edit (Правка) активного окна команда Copy (Копировать);

Сделать активным окно, в которое нужно скопировать блок, и выбрать в нём команду Paste (Вставить) из меню Edit (Правка).

Каждому скопированному блоку SimuLink присваивает имя.

Первый скопированный блок будет иметь то же имя, что и блок в библиотеке. Каждый следующий блок того же типа будет иметь такое же имя с добавлением порядкового номера. Пользователь может переименовать блок. При копировании блок получает те же значения настраиваемых параметров, что и блок-оригинал.

**Перестановка блока внутри модели** осуществляется путём перетаскивания его мышью. При этом Simulink автоматически перерисовывает линии, связывающие этот блок с другими блоками. Чтобы переставить несколько блоков вместе с соединительными линиями и сохранением относительных расстояний, необходимо их выделить и перетащить мышью один из блоков. Все другие выделенные блоки также займут новые места.

**Копирование блоков одной модели** можно выполнить двумя способами:

Перетащить блок в нужное положение, удерживая при этом клавишу <Ctrl>;

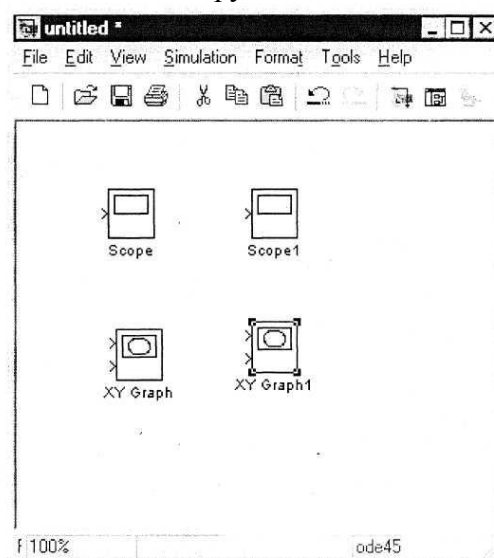
Перетащить блок, удерживая нажатой правую кнопку мыши, при этом к новому блоку добавляется очередной порядковый номер.

На рис. 1.23 представлен результат копирования блоков Scope и XY Graph.

**Установка параметров блока.** Функции, которые выполняет блок, зависят от значений параметров блока. Установка этих значений осуществляется в окне настройки, которое вызывается после двойного щелчка на изображении блока в блок-схеме.

**Удаление блоков.** Для удаления ненужных блоков из блок-схемы достаточно выделить эти блоки так, как было указано ранее, и нажать клавишу <Del> или <Backspace>. Можно также вызвать команду Clear(Очистить) или Cut (Вырезать) из меню Edit (Правка) окна блок-схемы. Если использована команда Cut, то в дальнейшем удаленные блоки можно скопировать в модель при помощи команды Paste (Вставить) того же меню.

**Отсоединение блока.** Чтобы отсоединить блок от линий, достаточно нажать клавишу <Shift> и, не отпуская её, перетащить блок в другое место.



**Рис. 1.23. Копирование блоков**

**Изменение угловой ориентации блока.** В начальном состоянии сигнал проходит через блок слева направо (по левую сторону располагаются входы блока, а по правую сторону — выходы). Чтобы изменить угловую ориентацию блока надо:

- выделить блок, который нужно повернуть;
- выбрать в меню Format (Формат) окна блок-схемы одну из следующих команд: FlipBlock (Поворот блока на 180 градусов) или RotateBlock (Поворот блока по часовой стрелке на 90 градусов).

**Изменение размеров блока.** Изменение размеров блока выполняется следующим образом. Выделяется блок и устанавливается указатель мыши на одну из угловых меток блока. Форма указателя при этом изменится — он примет вид двунаправленной стрелки. Надо захватить мышью эту метку и перетянуть её в новое положение.

**Изменение и перемещение имени блока.** Все имена блоков в модели должны быть уникальными и состоять хотя бы из одного символа. Чтобы изменить имя блока, нужно выполнить щелчок на имени, а затем, используя обычные приёмы редактирования, внести необходимые изменения.

Для изменения шрифта следует выделить блок, вызвать команду Font (Шрифт) из меню Format (Формат) окна модели и затем выбрать шрифт в открывшемся диалоговом окне.

По умолчанию имя блока располагается следующим образом. Если блок ориентирован слева направо, то имя находится под блоком; если справа налево — над блоком; если же сверху вниз или снизу вверх — по правой стороне блока.

Изменить местоположение имени выделенного блока можно двумя способами:

- перетащить имя мышью на противоположную сторону блока;
- воспользоваться командой FlipName из меню Format окна модели — она также переносит имя на противоположную сторону блока.

Скрыть имя блока можно, используя команду HideName (Скрыть имя) меню Format окна модели. Чтобы восстановить отображение имени, следует воспользоваться командой ShowName (Показать имя) того же меню.

**Создание соединительных линий.** Сигналы в модели передаются по линиям. Каждая линия может передавать или скалярный, или векторный сигнал. Линия соединяет выходной порт одного блока с входным портом другого блока. Линия может также разветвляться и соединять выходной порт одного блока с входными портами нескольких блоков.

**Создание линии между блоками.** Чтобы соединить выходной порт одного блока с входным портом другого, нужно выполнить следующие действия:

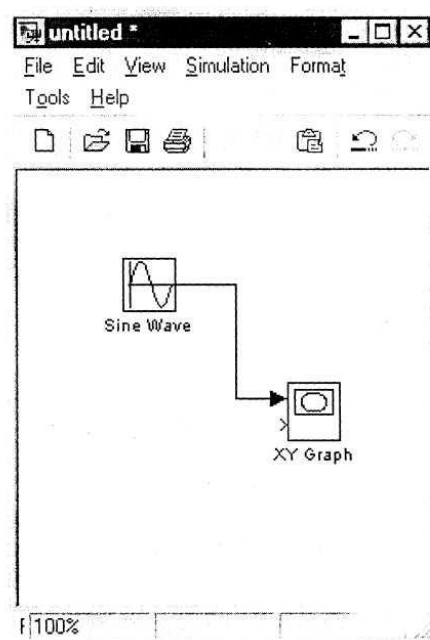
- установить указатель мыши на выходной порт первого блока (при этом курсор должен принять форму перекрестия);
- нажать левую кнопку мыши и, удерживая её в этом положении, передвинуть указатель к входному порту второго блока;
- отпустить кнопку мыши.

Simulink заменит символы портов соединительной линией с указанием направления передачи сигнала. Именно таким образом (на рис. 1.24) выход блока SaveWave соединён с входом блока XYGraph.

Линии можно рисовать как от входного порта к выходному, так и наоборот.

По умолчанию SimuLink рисует соединительные линии, состоящие из горизонтальных и вертикальных сегментов. Чтобы построить линию под углом 45 градусов, необходимо в процессе рисования удерживать клавишу <Shift>.

**Создание разветвления линии.** Линия, которая ответвляется, начинается с существующей и передаёт её сигнал к входному порту другого блока.



**Рис. 1.24. Соединение блоков**

Как существующая, так и ответвленная линии передают один сигнал. Разветвленная линия дает возможность передать один и тот же сигнал к нескольким блокам. Чтобы образовать ответвление от существующей линии, необходимо выполнить следующие действия:

- установить курсор в точку ответвления;
- нажать правую кнопку мыши, удерживать ее нажатой;
- провести линию к входному порту нужного блока, отпустить правую кнопку мыши.

**Создание сегмента линии.** Блоки можно соединять ломаными линиями, состоящими из нескольких сегментов. Для создания следующего сегмента необходимо установить курсор в конец предыдущего сегмента и нарисовать, удерживая левую клавишу мыши, следующий сегмент.

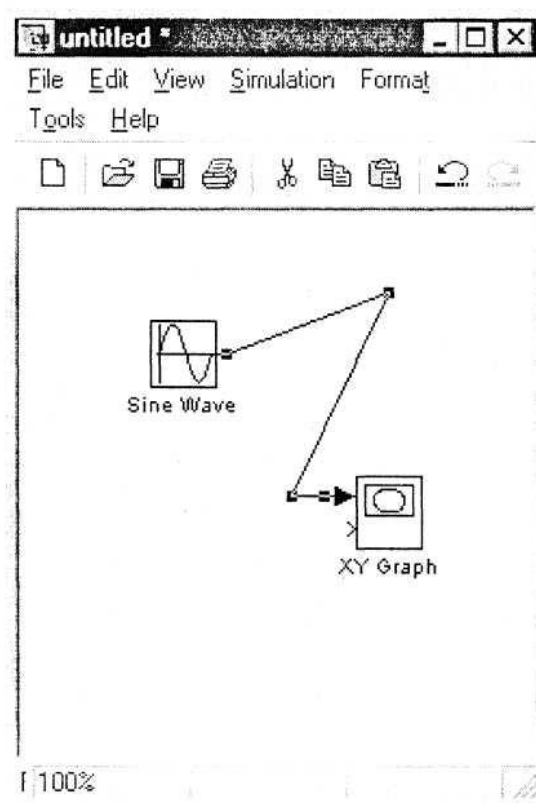
**Перемещение сегмента линии.** Чтобы переместить отдельный сегмент линии, необходимо выполнить следующие действия:

- установить указатель на перемещаемом сегменте;
- нажать и удерживать левую кнопку мыши (курсор при этом должен принять форму креста);
- переместить указатель в новое положение сегмента и отпустить кнопку мыши.

Сегмент, непосредственно прилегающий к порту блока, переместить невозможно.

**Деление линии на сегменты.** При необходимости линию можно разделить на два сегмента. Для этого следует выполнить следующие действия:

- выделить линию и установить курсор в точку излома линии;
- нажать клавишу <Shift> и левую кнопку мыши; курсор при этом примет форму окружности, а на линии образуется излом;
- переместить курсор (излом) в новое положение;
- отпустить клавишу <Shift> и кнопку мыши.



**Рис. 1.25. Деление линии на сегменты**

Результат этих действий представлен (на рис.1.25), где линия, соединяющая блоки Sine Wave и XY Graph 1, разделена на несколько сегментов.

**Перемещение излома линии.** Чтобы переместить излом линии, достаточно перетянуть мышью точку излома в новое положение.

**Проставление меток сигналов и комментариев.** Для наглядности и удобства блок-схемы линии можно снабдить метками, указывающими, какие сигналы по ним проходят. Метки размещают под или над горизонтальной линией, по левую или по правую сторону от вертикальной линии. Метка может быть расположена в начале, в конце или по середине линии.

**Создание и манипулирование метками сигналов.** Чтобы создать метку сигналов, нужно дважды щелкнуть на сегменте линии и затем ввести текст метки. Причем двойной щелчок следует выполнять точно на линии, т. к. в противном случае будет создан комментарий к модели.

Перемещение метки осуществляется путём перетаскивания её мышью на новое место. Если при этом удерживать нажатой клавишу <Ctrl>, то метка будет скопирована в новое место. Скопировать метку можно также, выполнив двойной щелчок на другом сегменте линии.

Чтобы отредактировать метку, следует щелкнуть на ней и затем внести соответствующие изменения в её текст.

Чтобы удалить метку, надо выделить её, удерживая клавишу <Shift>, и нажать клавишу <Del> или <Backspace>. При этом будут удалены все метки этой линии.

**Создание и манипулирование комментарием.** Комментарии дают возможность сопровождать блок-схемы текстовой информацией о модели и отдельных её составляющих. Комментарии можно проставлять в любом свободном месте блок-схемы. После двойного щелчка в любом свободном месте блок-схемы появляется прямоугольная рамка, в которую можно ввести текст комментария. Перемещение комментария осуществляется путём перетаскивания его с помощью мыши. Если при этом удерживать нажатой клавишу <Ctrl>, комментарий будет скопирован в новое место.

Созданный комментарий можно отредактировать. Для этого нужно выполнить на нем щелчок, а потом внести соответствующие изменения. Чтобы изменить при этом параметры шрифта комментария, необходимо выделить текст комментария и выбрать команду Font (Шрифт) из меню Format (Формат) окна блок-схемы. После этого появится диалоговое

окно, в котором следует выбрать название шрифта, его размер, атрибуты и стиль и нажать кнопку ОК. Комментарий можно удалить. Для этого выделите его, удерживая клавишу <Shift>, и нажмите клавишу <Del> или <Backspace>.

## Лабораторная работа №2. «Моделирование тепловых процессов в двигателе»

Рассмотрим решение задачи нагрева двигателя для случая повторно-кратковременного режима работы при использовании пакета Simulink.

Первоначально преобразуем уравнение (2.3) в форму Коши:

$$\frac{d\bar{\theta}}{dt} = \frac{1}{T_{\theta}} \Delta \bar{P}_T - \frac{1}{T_{\theta}} \bar{\theta} \quad (2.4)$$

Затем уравнение (2.4) представим в операторной форме, тогда получим:

$$s\bar{\theta} = \frac{1}{T_{\theta}} \Delta \bar{P}_T - \frac{1}{T_{\theta}} \bar{\theta} \quad (2.5)$$

Рассчитаем нагрев двигателя постоянного тока типа ПБВ-100М. Тепловая постоянная времени для этого двигателя  $T = 3600$  с.

Последовательно открываем Matlab, Simulink и три необходимые для решения библиотеки Sources (Источники сигналов), Sinks (Приборы) и Continuous (Непрерывные блоки). При открывании Simulink одновременно открывается поле для набора структурной схемы, первоначально это поле имеет название Untitled (без имени). Все библиотеки первоначального вызова показаны на рис. 2.12 а, б, в.

Блоки из библиотек в наборное поле Untitled переносятся известным способом Drag-andDrop (Перетаски и Оставь).

Структурная схема, соответствующая уравнению (2.5), представлена на рис. 2.13 а. После того как создана структурная схема, следует переименовать блок и записать его в папку Simulink для будущей работы. Этот файл будет сохраняться в памяти компьютера до тех пор, пока он не будет стерт. В главном меню открывается раздел File, далее SaveAs... при этом появляется панель, позволяющая выбрать папку для записи и название файла. Последовательно (двойной щелчок на блоке) устанавливаются параметры усилителя (Gain) и интегратора (Integrator).

На рис. 2.13 б, в видны окна настройки этих блоков. Коэффициент передачи блока усилителя ( $1/3600$ ) есть величина, обратная тепловой постоянной двигателя. В поле настройки интегратора задается начальное состояние относительной температуры

$$\bar{\theta} = \frac{\theta_0}{\theta_{\max}} = \frac{25}{130} = 0.19$$

(здесь принято, что начальная температура равна  $25^{\circ}\text{C}$ , а максимально допустимая для выбранного двигателя —  $130^{\circ}\text{C}$ ).

Для установки параметров моделирования в разделе главного меню Simulation выбирается команда Parameters, по этой команде открывается диалоговое окно настроек параметров моделирования (рис. 2.14). Это окно содержит пять вкладок (Solver, Workspase I/O, Diagnostic, Advanced). На вкладке Solver первоначально устанавливаем начальное (Starttime = 0) и конечное (Stoptime = 15000с) время моделирования. Конечное время моделирования, как известно, должно составлять 3-4 постоянных времени.

В окне Solveroptions задается способ изменения модельного времени (Variable-step — моделирование с переменным шагом; эту опцию рекомендуется выбирать при моделировании аналоговых непрерывных систем) и способ интегрирования дифференциального уравнения. Ниже задаются максимальный и начальный шаги интегрирования, а также относительная и абсолютная точность. При решении простых задач здесь лучше оставить то, что компьютер сам предлагает по умолчанию (рис. 2.14).

Нижние поля определяют способ вывода результатов моделирования в рабочую область, они оставлены такими, какими программа их установила по умолчанию.

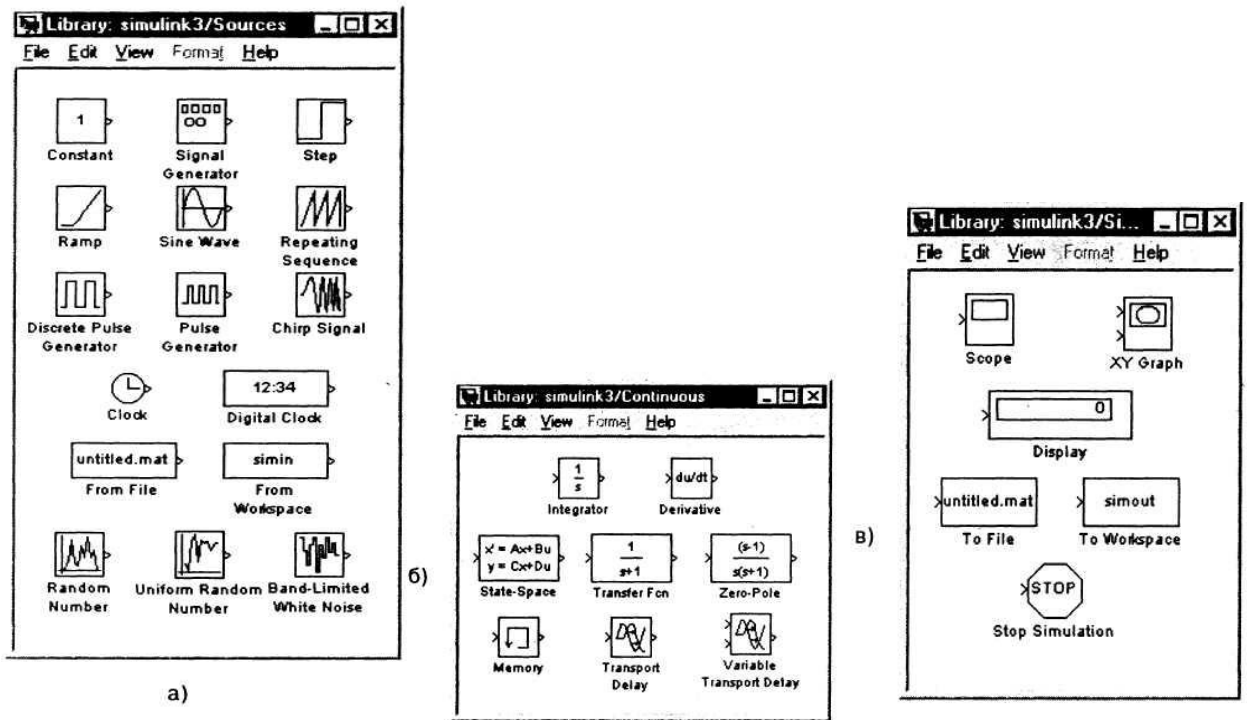


Рис. 2.12. Библиотеки для выполнения моделирования

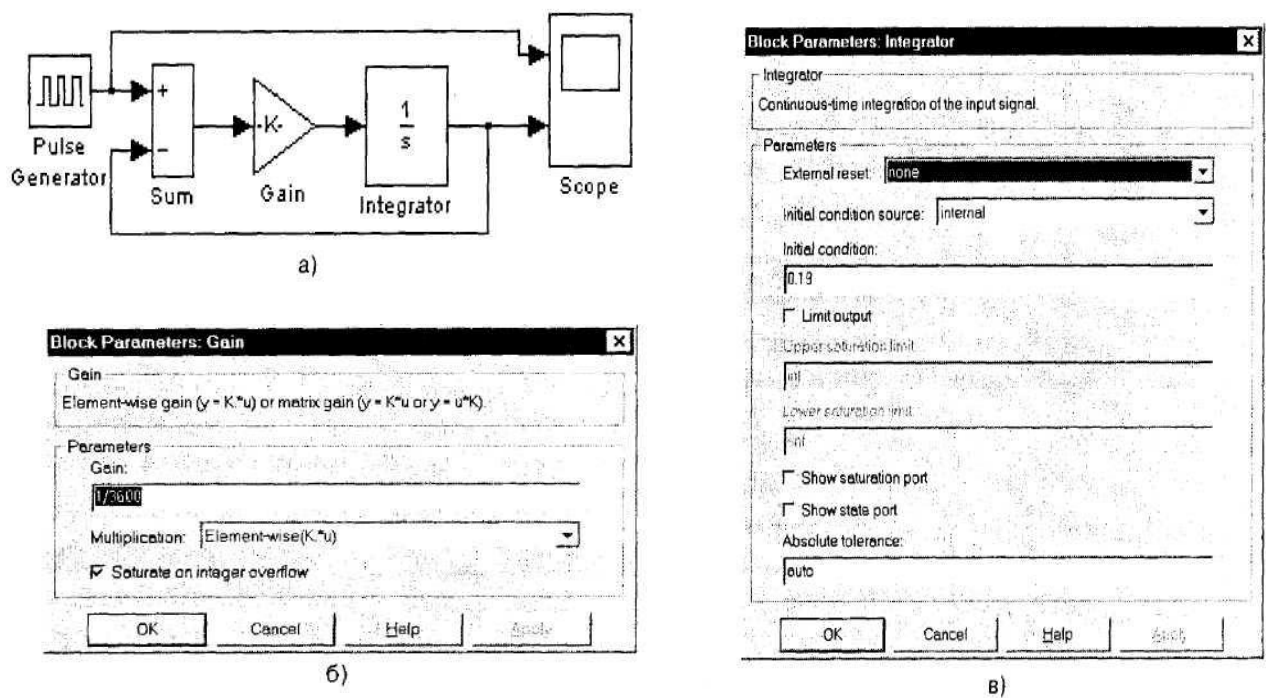
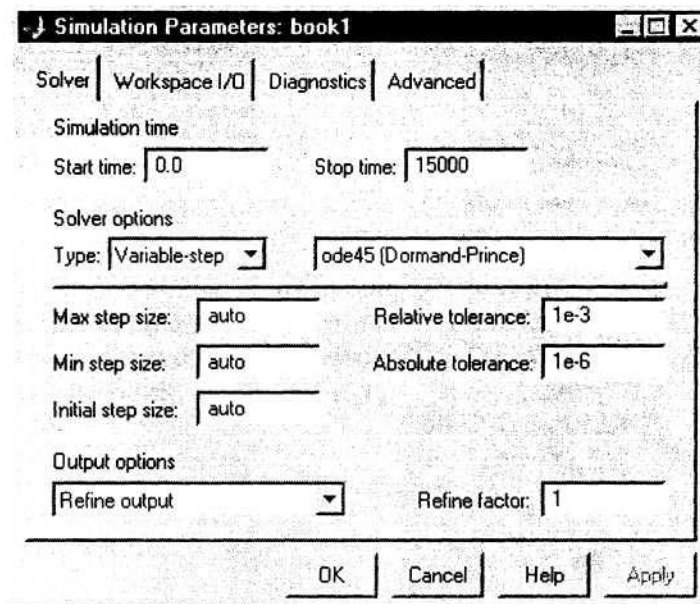


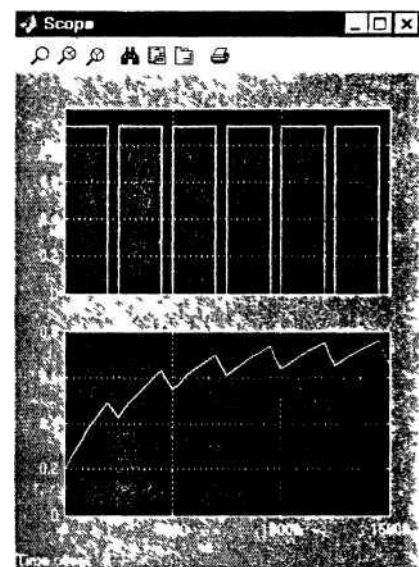
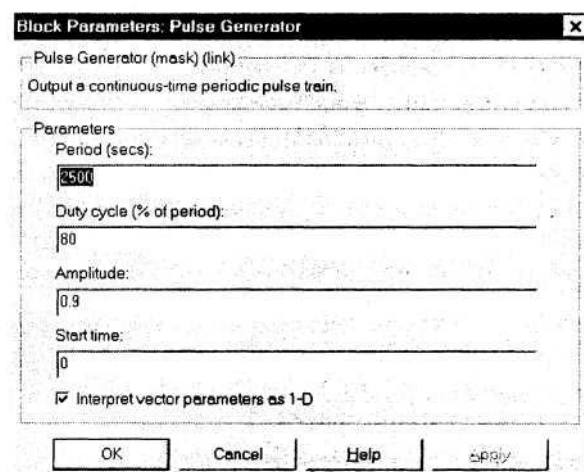
Рис. 2.13. Модель нагрева двигателя в повторно-кратковременном режиме (а) и окна настройки (б, в) блоков



**Рис. 2.14. Параметры моделирования тепловых процессов в двигателе**

Окно настройки генератора и результаты моделирования представлены на рис. 2.15 а и 2.15 б соответственно. В окне настройки генератора указываются период цикла, относительное время включенного состояния, амплитуда и начало работы.

Результаты моделирования представлены на экране осциллоскопа (рис. 2.15 б), они показывают, что в установившемся режиме двигатель нагревается приблизительно до 0.8 от максимальной температуры.



**Рис. 2.15. Результаты моделирования тепловых процессов в двигателе в повторно-кратковременном режиме работы**

Выбираем блок `RandomNumber` из библиотеки `Sources` главной библиотеки `Simulink`. Этот блок генерирует случайный сигнал с нормальным распределением. Модель для этого случая представлена на рис. 2.16 а. Окно настройки блока `RandomNumber` и результаты моделирования показаны на рис. 2.16 б, в.

При таком режиме работы температура двигателя на короткое время может превысить максимальную. Конечное решение о применимости двигателя здесь остается за проектировщиком. Заметим, что в верхнем поле окна настройки генератора устанавливается значение  $a = 1$ , а в следующем поле — значение  $a = 5.0$

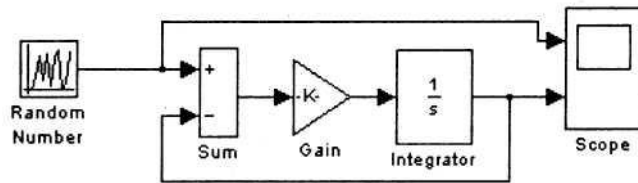
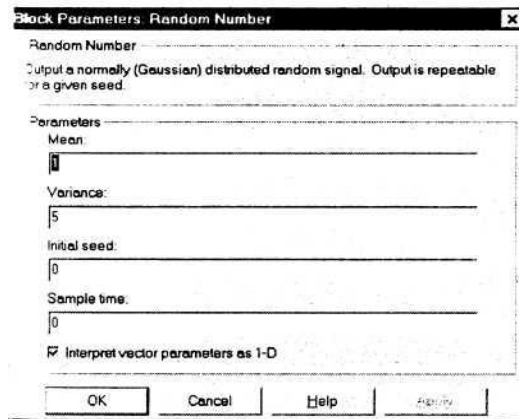
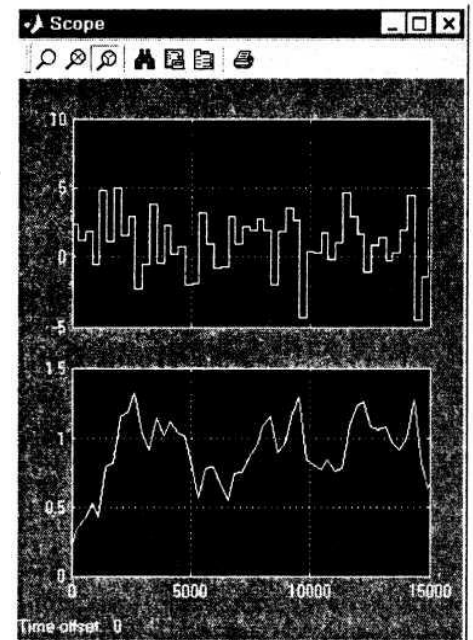


Рис. 2.16. Модель (а), окно настройки (б) и резуль-



б)



в)

таты моделирования (в) тепловых процессов в двигателе в режиме случайной нагрузки

### Лабораторная работа №3. «Моделирование нерегулируемого электропривода постоянного тока»

#### Цель работы

Исследование машины постоянного тока при работе в двигательном и генераторном режимах.

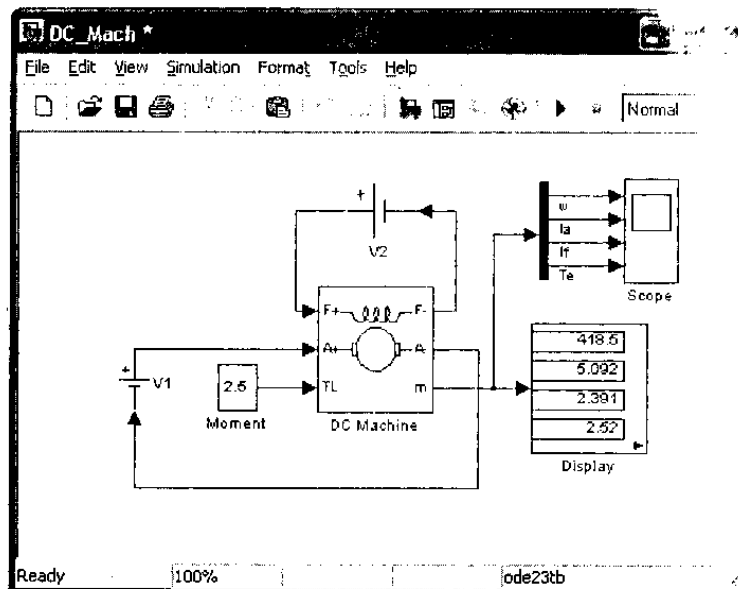
#### Содержание работы

- 2.1. Снятие механической и расчет рабочих характеристик машин в двигательном режиме работы.
- 2.2. Снятие механической и расчет рабочих характеристик машин в генераторном режиме работы.
- 2.3. Снятие механических характеристик при различных напряжениях питания в цепи якоря.
- 2.4. Снятие механических характеристик при различных сопротивлениях в цепи якоря.
- 2.5. Снятие механических характеристик при различных потоках возбуждения.
- 2.6. Снятие регулировочных характеристик при изменении напряжения якоря.

#### Описание виртуальной лабораторной установки.

Виртуальная лабораторная установка представлена на рис. 5.1.

Она включает источники постоянного напряжения ( $V_1$  для питания якоря машины,  $V_2$  для питания обмотки возбуждения из библиотеки PowerSystemBlockset/ElectricalSources), блок *Moment* для задания момента нагрузки (блок *Constant* из библиотеки Simulink/Sources), саму машину постоянного тока (блок *DCMachine* из библиотеки PowerSystemBlockset/Machines), блок для измерения переменных состояния машины *Display* и осциллограф *Scope* для визуального наблюдения процессов из библиотеки Simulink/Sinks.



**Рис.5.1. Виртуальная лабораторная установка.**

Цепь якоря и цепь возбуждения видны из графического начертания блока, на вход  $TL$  подается момент нагрузки, выход  $m$  предназначен для измерения и наблюдения переменных состояния машины в следующей последовательности: угловая скорость (рад/с), ток якоря в (А), ток возбуждения (А), электромагнитный момент (Нм). В полях настройки машины (рис. 5.2) задаются:

- параметры обмотки якоря —  $R_a$  (Ом),  $L_a$  (Гн);
- параметры обмотки возбуждения —  $R_f$  (Ом),  $L_f$  (Гн);
- коэффициент  $L_{af}$ ;
- суммарный момент инерции машины и нагрузки —  $J$  (кг·м<sup>2</sup>). Следует подчеркнуть, что параметры ( $L_f$ ,  $J$ ) важны при исследовании переходных процессов. На установившиеся режимы они не влияют;

**Block Parameters: DC Machine**

DC machine (mask) (link)

This block implements a separately excited DC machine. Access is provided to the field connections so that the machine can be used as a shunt-connected or a series-connected DC machine.

Input 1 and output 1 : positive and negative armature terminals  
 Input 2 and output 2 : positive and negative field terminals  
 Input 3 : Load torque  
 Output 3 : Simulink measurement output [ w Ia If Te ]

**Parameters**

Armature resistance and inductance [Ra (ohms) La (H)]  
 [ 2.52 48e-3 ]

Field resistance and inductance [Rf (ohms) Lf (H)]  
 [ 92 0.4 ]

Field-armature mutual inductance Laf (H):  
 0.207

Total inertia J (kg.m^2)  
 0.001

Viscous friction coefficient Bm (N.m.s)  
 0.25e-4

Coulomb friction torque Tf (N.m)  
 0.01

Initial speed (rad/s):  
 0

OK Cancel Help Apply

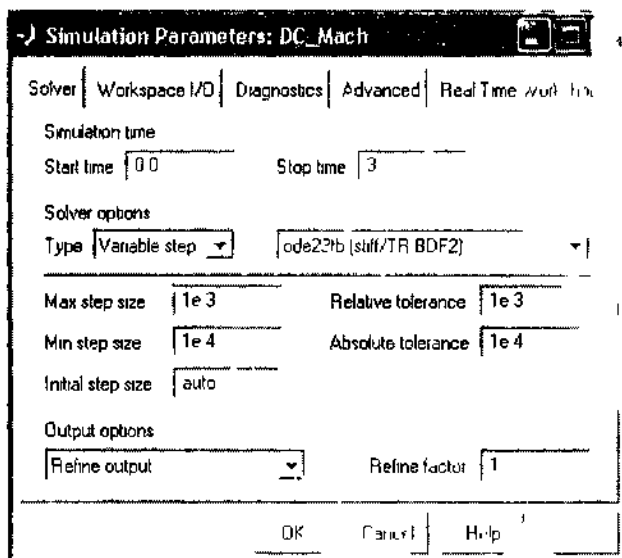
**Рис. 5.2. Окно настройки параметров машины постоянного тока.**

- коэффициент вязкого трения —  $B_m$  (Нм·с);

- коэффициент сухого трения —  $T_f(\text{Нм})$ ;
- начальная скорость.

Паспортные параметры машин постоянного тока приведены в таблице 5.1.

**Таблица 5.1**



**Рис. 5.3. Окно задания параметров моделирования**

Окно настройки параметров моделирования показано на рис.5.3.

#### **Порядок проведения лабораторной работы**

4.1. Для заданной преподавателем (или выбранной при самостоятельной работе) машины рассчитать значение параметров и заполнить поля окна настройки параметров машины.

4.2. Задать параметры моделирования (рис. 5.3).

4.3. При снятии характеристик по п. 2.1 порядка выполнения работы в окне настройки блока *Moment* последовательно задаются значения момента от 0 до  $1,2M_n$  с шагом  $0,2M_n$ . Для каждого значения момента осуществляется моделирование и заполняется таблица 5.2 измеренных и рассчитанных значений.

**Таблица 5.2**

Задание	Измерения			Расчет		
$M$ [Нм]	$\omega$ [рад/с]	$I_a$ [А]	$I_b$ [А]	$P_1$ [Вт]	$P_2$ [Вт]	$\eta$

Вычисления осуществляются по выражениям:

Тип двигателя	$P_n$ [кВт]	$U_n$ [В]	$n_n$ [об/мин]	$h_n$ [%]	$R_a$ [Ом]	$R_e$ [Ом]	$L_a$ [мГн]
1	2	3	4	5	6	7	8
2ПН-0.17	0,17	220	750	48,5	27,2	162	514
2ПН-0.25	0,25	220	1120	57	15,47	612	297
2ПН-0.37	0,37	220	1500	61,5	10,61	612	190
2ПН-0.71	0,71	220	2360	70	3,99	123	70
2ПН-1.0	1	220	3000	72,5	2,52	92	48

$$P_1 = U(I_a + I_b), \quad P_2 = M_n \omega, \quad \eta = \frac{P_2}{P_1}$$

4.4. При снятии характеристик по п. 2.2 порядка выполнения работы в окне настройки блока *Moment* последовательно задаются значения момента от 0 до  $-1,2 M_n$  с шагом  $-0,2 M_n$ . Для каждого значения момента осуществляется моделирование и заполняется таблица 5.2. измеренных и рассчитанных, значений. Коэффициент полезного действия в этом случае

вычисляется по формуле  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$

4.5. Снятие механических характеристик при различных напряжениях питания в цепи якоря по п. 2.3 содержания работы следует провести для двух значений напряжения на якоре  $0,6 U_{я}$  и  $0,8 U_{я}$ , где  $U_{я}$  — первоначальное напряжение на якоре, при котором выполнялись п.п. 2.1, 2.2. При этом момент нагрузки следует изменять от  $-1,2 M_n$  до  $1,2 M_n$  шагом  $0,2 M_n$ . Для каждого значения напряжения на якоре и момента проводится моделирование и заполняется таблица 5.3.

**Таблица 5.3**

М [Нм]	$\omega$ [рад/с]

4.6. Снятие механических характеристик при различных сопротивлениях в цепи якоря по п. 2.4 содержания работы следует провести для двух значений сопротивления якоря  $2R_{я}$  и  $4R_{я}$ , где  $R_{я}$  - первоначальное значение сопротивления. Изменение сопротивления якоря осуществляется в поле окна настройки параметров машины. При этом момент нагрузки следует изменять от  $-1,2 M_n$  до  $1,2 M_n$  шагом  $0,2 M_n$ . Для каждого значения сопротивления якоря и момента проводится моделирование и заполняется таблица 5.3.

4.7. Снятие механических характеристик при различных потоках возбуждения по п. 2.5 содержания работы следует провести для двух значений потока  $0,6 \Phi_n$  и  $0,8 \Phi_n$ . Для этого в поле *Field-armature mutual inductance* необходимо установить значение  $L_{af}$  вначале  $0,6$ , а затем  $0,8$  от первоначальной величины.

При этом момент нагрузки следует изменять от  $-1,2 M_n$  до  $1,2 M_n$  шагом  $0,2 M_n$ . Для каждого значения потока и момента проводить моделирование и заполняется таблица 5.3.

4.8. Снятие регулировочных характеристик при изменении напряжения якоря по п. 2.6 содержания работы проводится для постоянной момента нагрузки, равного номинальному, и изменению напряжения в цепи якоря от  $0,4$  до  $1,2$  исходного значения с шагом  $0,2$  исходного значения напряжения. Для каждого значения напряжения проводить моделирование и заполняется таблица 5.4.

**Таблица 5.4**

$U_{я}$ [В]	$\omega$ [рад/с]

### **Содержание отчета**

- 5.1. Схема модели для проведения лабораторной работы.
- 5.2. Расчетные формулы параметров машины.
- 5.3. Расчетные формулы для мощностей  $P_1$ ,  $P_2$  и КПД.
- 5.4. Заполненные таблицы.
- 5.5. Графики рабочих характеристик машины в двигательном и генераторном режимах.
- 5.6. Графики механической характеристики машины при различных напряжениях на якоре.
- 5.7. Графики механической характеристики машины при различных сопротивлениях якоря.
- 5.8. Графики механической характеристики машины при различных потоках.
- 5.9. Регулировочная характеристика двигателя

## Лабораторная работа №4. «Моделирование нерегулируемого асинхронного электропривода»

### Цель работы

Исследование трехфазной асинхронной машины с короткозамкнутым ротором.

### Содержание работы

2.1 Снятие механической характеристики машины в двигательном и генераторном режимах.

2.2 Снятие рабочих характеристик машины в двигательном режиме.

### Описание виртуальной лабораторной установки

Виртуальная лабораторная установка представлена на рис. 1.

Она содержит:

- источник переменного трехфазного напряжения *Source* из библиотеки PowerSystemBlockset/Extras/ElectricalSources;
- измеритель трехфазного напряжения и тока *Three-Phase V-I Measurement* из библиотеки PowerSystemBlockset/Extras/Measurement;
- исследуемую трехфазную асинхронную машину *Asynchronous Machine* из библиотеки PowerSystemBlockset/Machines;
- измеритель активной и реактивной мощности  $P, Q$  из библиотеки PowerSystemBlockset/Extras/Measurement;
- блок *Display* для количественного представления измеренных мощностей и блок *Scope* для наблюдения тока ротора и статора, а также скорости и момента асинхронной машины из главной библиотеки Simulink/Sinks;
- блок *Moment* для задания механического момента на валу машины из главной библиотеки Simulink/Source;
- блок *Machines Measurement* из библиотеки Power System Blockset/Machines;
- блок *Display!* для количественного представления измеренных электромагнитного момента (Нм) и скорости (рад/с) машины из главной библиотеки Simulink/Sinks;
- блок *Mux*, объединяющий три сигнала в один векторный из главной библиотеки Simulink/Signal&System.

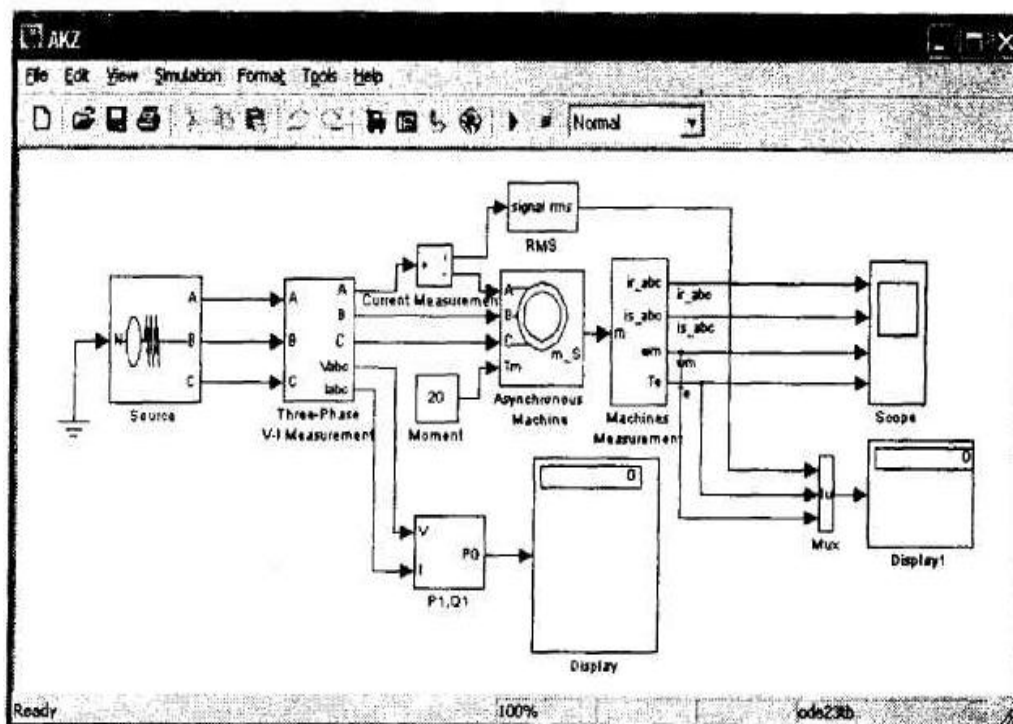


Рис. 1. Модель для исследования асинхронной машины

Окно настройки параметров асинхронной машины показано на рис. 2.

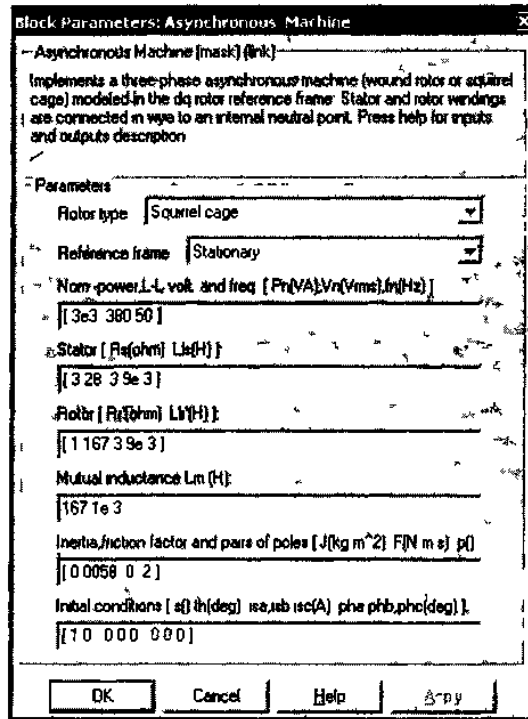


Рис. 2. Окно настройки параметров асинхронной машины

В полях окна последовательно задаются:

- ☐ тип ротора (*RotorType*), в выпадающем меню этого поля можно задать либо короткозамкнутый, либо фазный ротор;
- ☐ система отсчета при анализе (*Referenceframe*);
- ☐ мощность, номинальное действующее линейное напряжение и частота; П параметры схемы замещения статора;
- ☐ параметры схемы замещения ротора;
- ☐ параметры ветви намагничивания;
- ☐ момент инерции, коэффициент вязкого трения, число пар полюсов;
- ☐ начальные условия для моделирования (скольжение, положение ротора, токи статора и их начальные фазы).

Параметры машины частично берутся из паспортных данных, частично рассчитываются по известным уравнениям, либо используя программу (листинг 1, файл *as.m*).

Окно настройки параметров универсального блока измерения переменных машины показано на рис. 3. В выпадающем меню поля *Machinetype* задается тип машины. Флажками выбираются переменные для измерения.

Линейное номинальное напряжение для всех машин 380 В.

Таблица 1

Тип двигателя	$P_H [кВт]$	$n [об/мин]$	$\eta [\%]$	$осφ$	$I_H [A]$	$k_I = \frac{I_n}{I_H}$	$m_I = \frac{M_n}{M_H}$	$m_{max} = \frac{M_{max}}{M_H}$	$J [кг*м^2]$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RA71B2	0,55	2850	74	0,84	1,8	6,5	2,3	2,4	0,0005
RA80A2	0,75	2820	74	0,83	2	5,3	2,5	2,7	0,0008
RA80B2	1,1	2800	77	0,86	2	5,2	2,6	2,8	0,0012
RA80A4	0,55	1400	71	0,80	1	5	2,3	2,8	0,0018
RA80B4	0,75	1400	74	0,80	2	5	2,5	2,8	0,0023
RA90S2	1,5	2835	79	0,87	3	6,5	2,8	3	0,0010
RA90L2	2,2	2820	82	0,87	4	6,5	2,9	2,9	0,0015
RA100LA4	2,2	1420	79	0,82	5	6	2,2	2,2	0,0048
RA100LB4	3	1420	81	0,81	7	6,2	2,2	2,2	0,0058
RA112M2	4	2895	84	0,87	9	6,8	2,2	2,2	0,0082
RA112M4	4	1430	85,5	0,84	9	6,5	2,2	2,2	0,0103
RA132SA2	5,5	2880	89	0,89	11	6,5	2,4	2,4	0,0155
RA132SB2	7,5	2890	89	0,89	15	7	2,5	2,5	0,0185

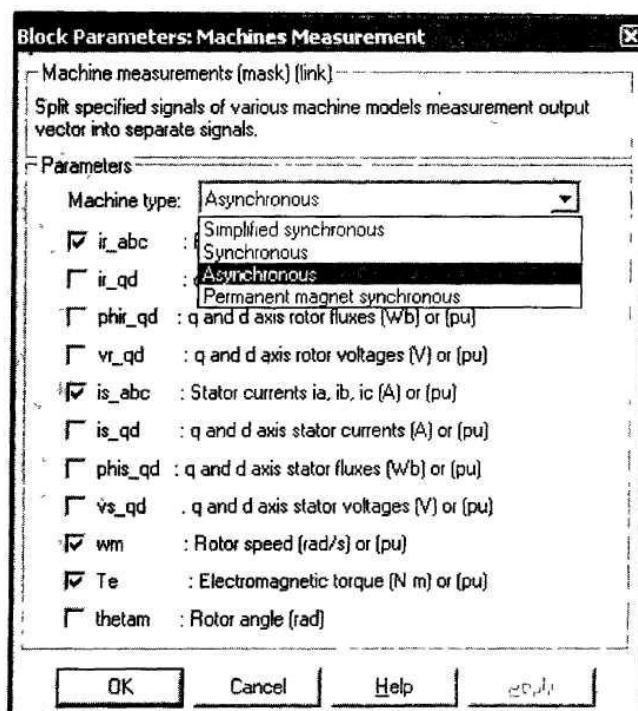


Рис. 3. Окно настройки параметров блока измерения

Окно настройки параметров источника питания показано на рис.4. В полях окна задаются:

- ☐ начальная фаза в градусах
- ☐ амплитуда фазного напряжения источника (В);
- ☐ частота (Гц);
- ☐ внутреннее сопротивление (Ом) и индуктивность источника (Гн).

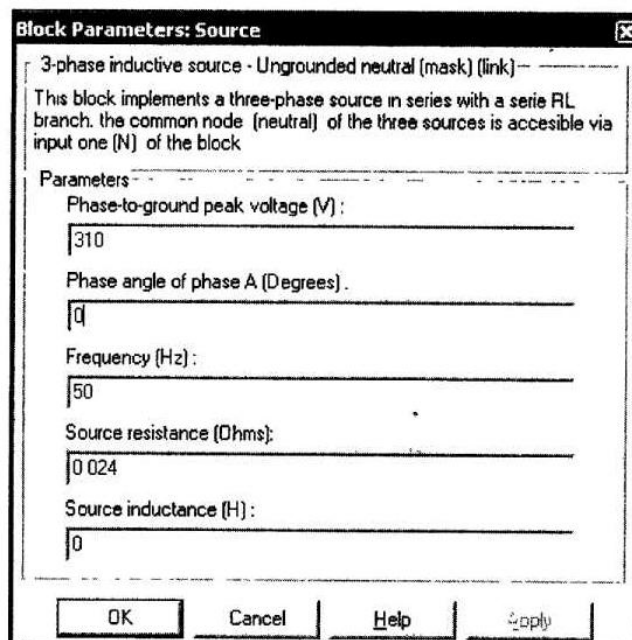


Рис. 4. Окно настройки параметров трехфазного источника питания

Напряжение и частота источника должны соответствовать параметрам асинхронной машины.

Окно настройки параметров блока измерения активной и реактивной мощности показано на рис. 5.

Здесь задается только один параметр — частота, которая должна быть равно частоте источника питания.

Окно настройки дисплея показано на рис. 6. В полях окна настройки указывается формат представления числовых результатов, в поле *Decimation* (разбивка) задается число шагов вычисления, через которые значения выводятся на дисплей. Установка в поле *Sampletime* значения -1 синхронизирует работу блока с шагом вычислений.

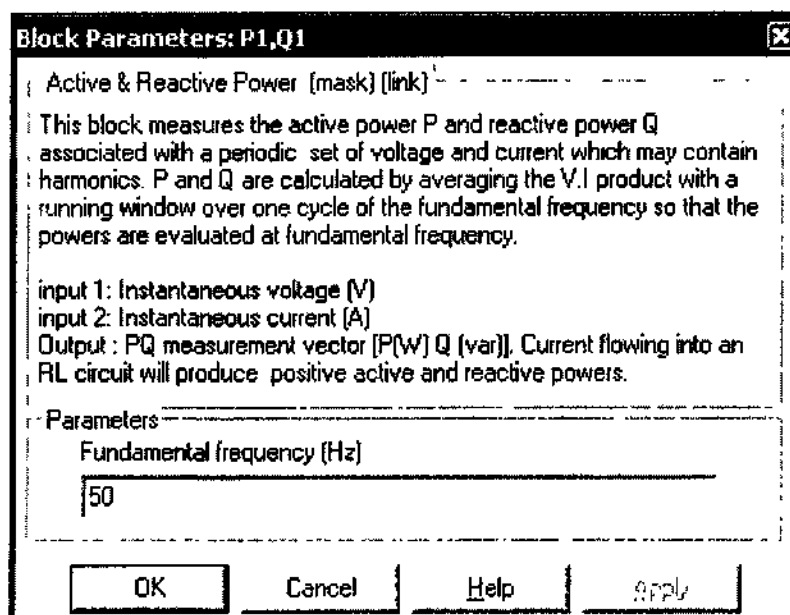


Рис. 5. Окно настройки блока измерения мощности

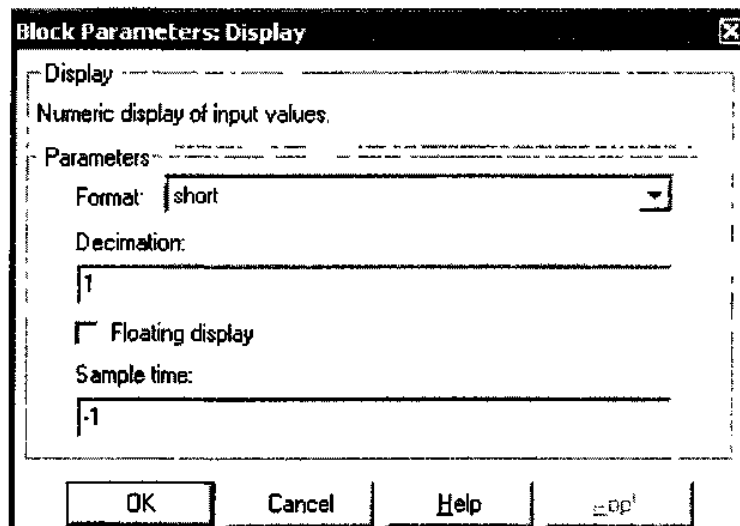


Рис. 6. Окно настройки параметров дисплея

Окно настройки блока *Mux*, объединяющего два сигнала в один векторный, показано на рис. 7. В полях окна настройки задаются число входов и внешний вид представления блока

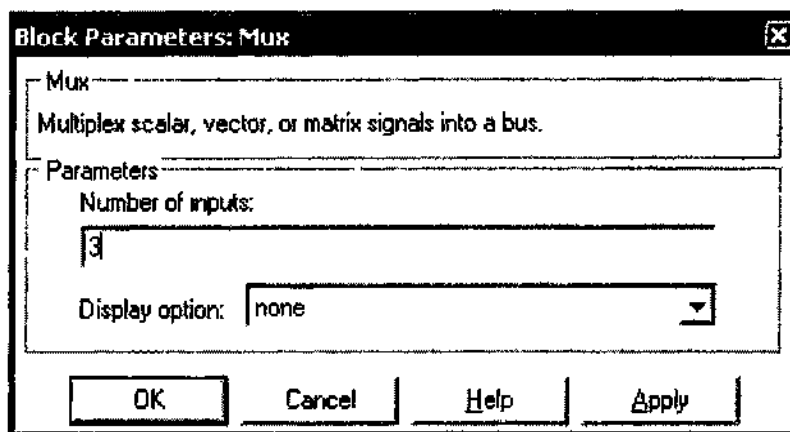


Рис. 7. Окно настройки блока *Mux*

### ***Порядок выполнения работы***

Параметры асинхронной машины для выполнения работы задаются преподавателем. При самостоятельной работе эти данные выбираются из таблицы 1 и рассчитываются, пользуясь паспортными данными. Окно настройки параметров моделирования показано на рис. 8.

Снятие механической характеристики машины в двигательном генераторном режимах в соответствии с п. 2.1 содержания работ производится на модели (рис. 1) при изменении нагрузочного момента во всем диапазоне -1,5-1,5 от номинального. При этом для каждого значения момента нагрузки осуществляется моделирование. При проведении исследований заполняется таблица 2.

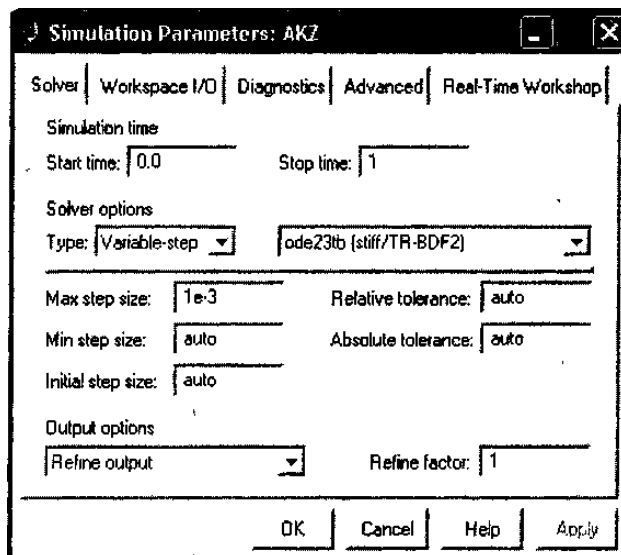


Рис. 8. Окно настройки параметров моделирования

Таблица 2

$M$ [Нм]	$\omega$ [рад/с]

Снятие рабочих характеристик двигателя в соответствии с п. 2.2 содержания работы проводится на модели (рис. 1) при изменении нагрузочного момента в пределах 0-1,2 от номинального. При этом для каждого значения момента нагрузки осуществляется моделирование. При проведении исследований заполняется таблица 3.

Таблица 3

$M$ [Нм]	Измерения					Вычисления				
	$P_1$ [Вт]	$Q_1$ [ВАр]	$U_1$ [В]	$I_1$ [А]	$\omega$ [рад/с]	$\varphi$ [град]	$\cos\varphi$	$P_2$ [Вт]	$\eta$ [%]	$s$ [%]

Вычисления производятся по выражениям:

$$\varphi = \arctg \frac{Q_1}{P_1}, P_2 = M\omega, s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}$$

По данным таблицы строится механическая характеристика машины и на отдельном графике — рабочие характеристики.

Временные зависимости переменных состояния машины можно наблюдать на экране осциллографа (рис. 9). Здесь видны и переходной процесс при пуске машины, и установившиеся процессы.

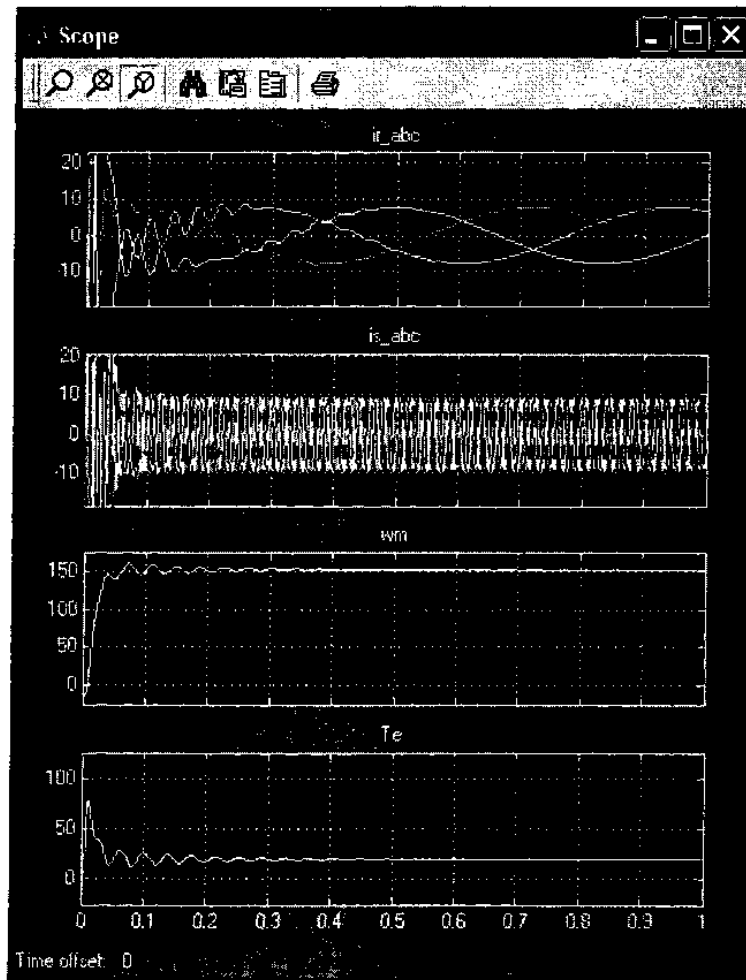


Рис.9. Временные зависимости переменных состояния машины при работе в двигательном режиме

#### **Содержание отчета**

- 5.1. Схема модели и описание виртуальных блоков.
- 5.2. Механическая характеристика машины в двигательном и генераторном режимах.
- 5.3. Рабочие характеристики машины в двигательном режиме

### **Лабораторная работа №5. «Моделирование синхронного электропривода»**

#### **Цель работы**

Исследование трехфазной явнополюсной, магнитоэлектрической синхронной машины.

#### **Содержание работы**

- 2.1. Снятие рабочих характеристик машины в двигательном режиме.
- 2.2. Снятие зависимости потребляемой из сети мощности от потока возбуждения машины.

#### **Описание виртуальной лабораторной установки**

Виртуальная лабораторная установка представлена на рис. 1.

Она содержит:

- источник переменного трехфазного напряжения *Source* из библиотеки PowerSystemBlockset/Extras/ElectricalSources;
- измеритель трехфазного напряжения и тока *Three-Phase V-I Measurement* из библиотеки PowerSystemBlockset/Extras/Measurement;
- исследуемую трехфазную синхронную машину

*PermanentMagnetSynchronousMachine* из библиотеки *PowerSystemBlockset/Machines*;

- измеритель активной и реактивной мощности  $P_1$ ,  $Q_1$  из библиотеки *PowerSystemBlockset/Extras/Measurement*;

- блок измерения переменных состояния машины *MachinesMeasurement* из библиотеки *PowerSystemBlockset/Machines*;

- блок *Display* для количественного представления измеренных мощностей (в трех первых окнах блока представлены активные мощности в каждой фазе машины, в трех последних — реактивные мощности);

- блок *RMS* из библиотеки *PowerSystemBlockset/Extras/Measurement*, измеряющий действующий ток в фазе машины;

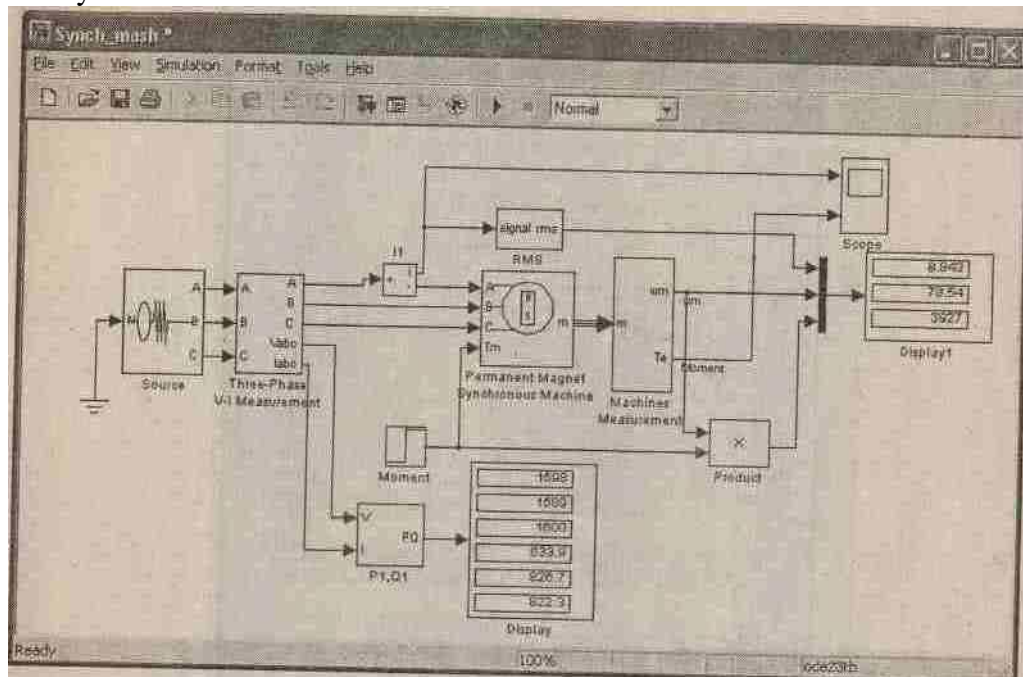
- блок *Moment* для задания механического момента на валу машины из главной библиотеки *Simulink/Source*;

- блок *Product* из главной библиотеки *Simulink/Math*, вычисляющий механическую мощность на валу машины;

- блок *Scope* для наблюдения тока статора, момента и механической мощности синхронной машины из главной библиотеки *Simulink/Sinks*;

- блок *Display 1* для количественного представления измеренных тока (А) и электромагнитного момента (Нм) машины из главной библиотеки *Simulink/Sinks*;

- блок *Mux*, объединяющий два сигнала в один векторный главной библиотеки *Simulink/Signal&System*.



**Рис. 1. Модель для исследования синхронной машины**

Окно настройки параметров синхронной машины показано на рис. 2.

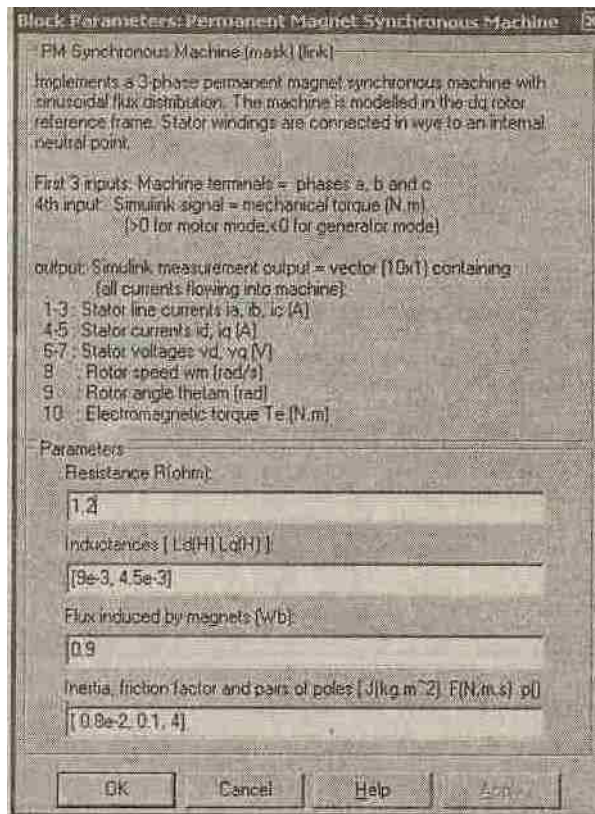


Рис. 2. Окно настройки параметров синхронной машины

В полях окна последовательно задаются:

- активное сопротивление обмотки статора (Ом);
- индуктивности по продольной и поперечной оси (Гн);
- максимальный поток в машине (Вб);
- момент инерции ( $\text{кгм}^2$ ), коэффициент вязкого трения (Нмс), число пар полюсов.

Окно настройки блока измерения переменных состояния машины показано на рис. 3.

Тип машины выбирается в поле *Machinetype*. В выпадающем меню этого поля следует выбрать *Permanentmagnetsynchronous*. Флажки слева включаются у тех переменных состояния, которые подлежат измерению.

Окно настройки параметров источника показано на рис. 4. Напряжение и частота источника должны быть согласованы с напряжением, скоростью и числом пар полюсов машины.

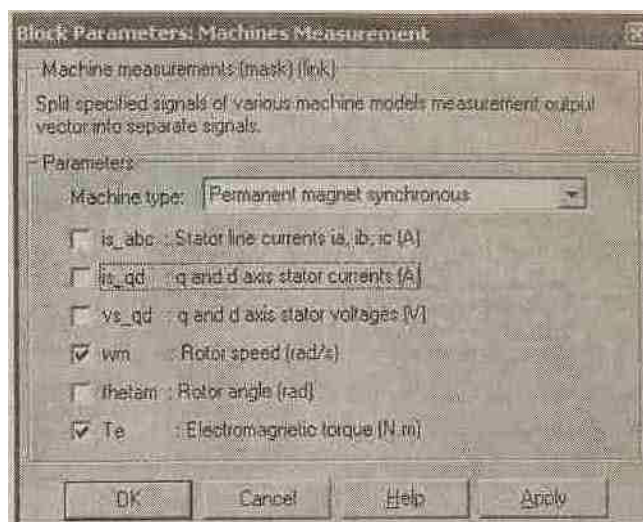
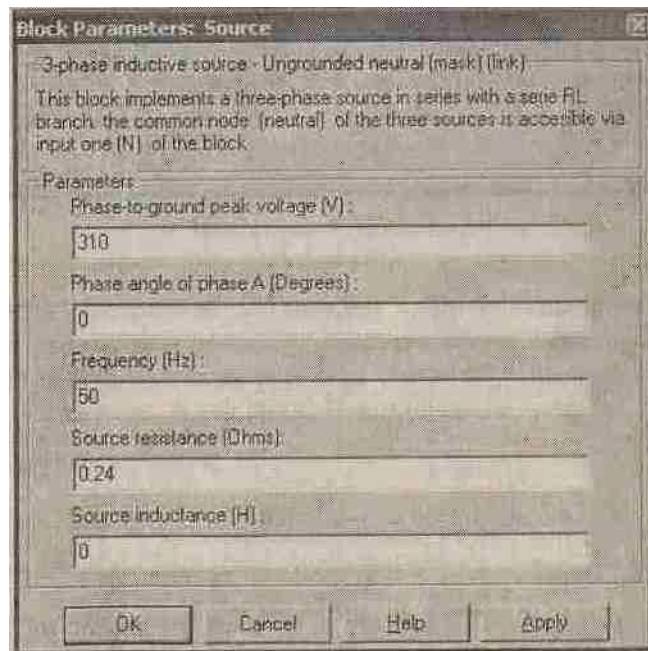


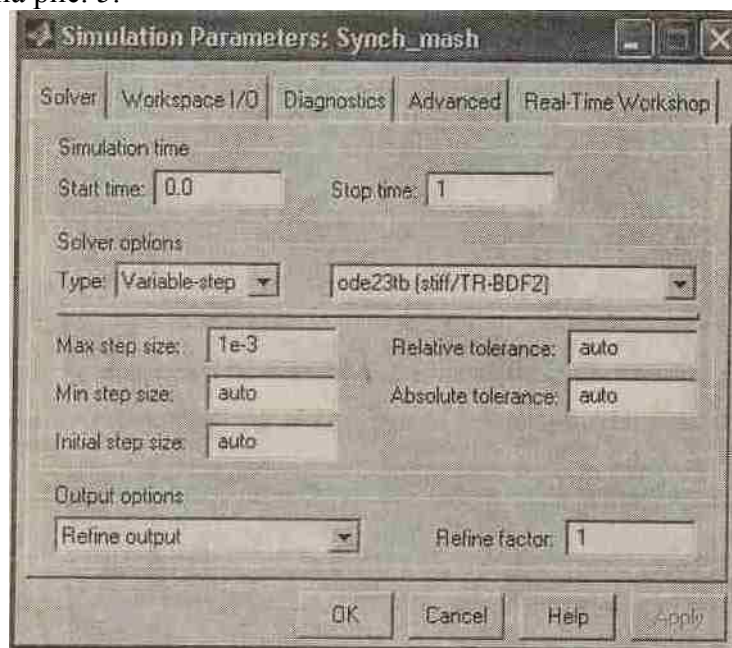
Рис. 3. Окно настройки измерителя переменных состояния машины



**Рис. 4. Окно настройки параметров источника питания**

### ***Порядок выполнения работы***

Параметры синхронной машины и источника питания для выполнения работы задаются преподавателем. При самостоятельной работе данные машины можно принять такими, как на рис. 2, а данные источника — как на рис. 4. Окно настройки параметров моделирования показано на рис. 5.



**Рис. 5. Окно настройки параметров моделирования**

Снятие механической и рабочих характеристик машины в двигательном режиме в соответствии с п. 2.1 содержания работы производится на модели (рис. 1) при изменении нагрузочного момента от нуля до 1,4 от номинального. Номинальный момент определяется из выражения

$$M_H \approx \frac{\sqrt{3}U_m(U_m - \omega \Phi_m)p}{\sqrt{2} \omega R_s},$$

где  $U_m$ ,  $\omega = 2\pi f$  — амплитуда и частота источника питания,  $\Phi_m$ ,  $R_s$ ,  $p$  — максимальный поток, сопротивление статора и число пар полюсов машины (рис. 2).

Для каждого значения момента нагрузки осуществляется моделирование. При проведении исследований заполняется таблица 1.

Таблица 1.

Измерения						Вычисления				
$M$	$P_1$	$Q_1$	$U_1$	$I_1$	$\omega$	$P_2$	$I$	$\varphi$	$\cos \varphi$	$\eta$
[Нм]	[Вт]	[ВАр]	[В]	[А]	[рад/с]	[Вт]	[А]	[град]		[%]

Вычисления осуществляются по формулам:

$$\varphi = \arctg \frac{Q_1}{P_1}, \quad \eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad P_1 = P_A + P_B + P_C, \quad Q_1 = Q_A + Q_B + Q_C.$$

По данным таблицы строятся рабочие характеристики  $I$ ,  $\cos \varphi$ ,  $h = f(P_2)$ .

На рис. 6 видны зависимости переменных состояния машины.

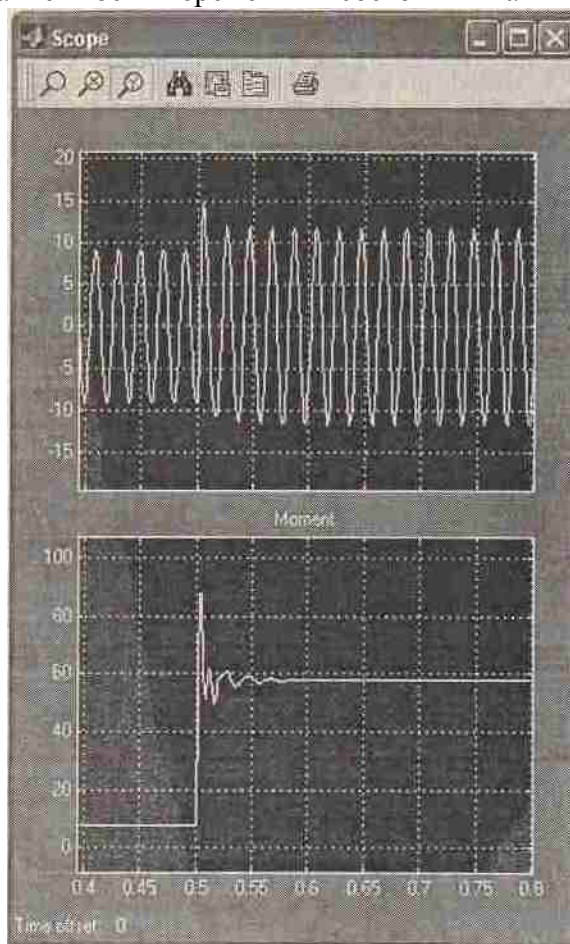


Рис. 6 Временные зависимости переменных состояния машины

Снятие зависимости потребляемой из сети мощности от потока возбуждения машины в соответствии с п. 2.2 содержания работы осуществляется на модели (рис. 1) при постоянном моменте нагрузки (задается преподавателем). Максимальный поток в поле *Flux-induced magnets* (рис. 2) следует задавать в диапазоне 0,6—1,2 с шагом 0,05 Вб. Для каждого значения потока проводить моделирование, по результатам заполнить таблицу 2.

Таблица 2.

$\Phi_m$	$Q_1$	$P_1$	$\cos \varphi$
[Вб]	[ВАр]	[Вт]	

### Содержание отчета

- 5.1. Схема модели и описание виртуальных блоков.
- 5.2. Рабочие характеристики машины в двигательном режиме.
- 5.3. Зависимости  $P_1$ ,  $Q_1$ ,  $\cos \varphi$  от  $\Phi_m$

### Критерии оценки лабораторных работ

При подготовке к лабораторной работе по дисциплине «Моделирование в электротехнике» в 4 (8) семестре студент должен выполнить следующие виды работ:

Виды работ	Минимальный балл	Максимальный балл
Самостоятельная проработка теоретического материала к лабораторной работе	1 (1)	2 (2)
Ознакомление с установкой, прибором, методикой выполнения лабораторной работы	1 (1)	2 (2)
Выполнение необходимого эксперимента	1 (1)	2 (2)
Обработка результатов исследования, построение графиков	2 (2)	3 (2)
Анализ результатов исследования и вывод по работе	2 (2)	3 (2)
<b>ИТОГО:</b>	<b>7 (7)</b>	<b>12 (10)</b>

Таким образом, каждая лабораторная работа оценивается минимум в 7(7) баллов, максимум в 12(10) баллов. После выполнения всех работ рассчитывается итоговый балл по данному оценочному средству, как среднее арифметическое по всем лабораторным работам.

***X - для очногоотделения; (X) - для заочного отделения.***

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижнекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет информационных технологий  
Кафедра электротехники и энергообеспечения предприятий*

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование)

Профиль/программа: «Инновационные технологии в электрохозяйстве нефтехимических предприятий»  
(наименование)

**Комплект заданий для контрольной работы  
для заочного отделения  
по дисциплине «Моделирование в электротехнике»**

Исследовать основные величины, характеризующие синусоидальные переменные токи и напряжения; исследовать линейные электрические цепи синусоидального тока, проверить выполнение законов Кирхгофа в цепях синусоидального тока. Исходные данные, соответствующие варианту студента приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ варианта	Амплитуда напряжения $U_m$ , В	Частота $f$ , Гц	Начальная фаза $\psi_u$ , °	Амплитуда тока $I_m$ , А	Начальная фаза $\psi_i$ , °	Активное сопротивление $R$ , Ом	Индуктивность $L$ , мГн	Емкость $C$ , мкФ
1, 11, 21	100	50	10	10	10	30	100	60
2, 12, 22	200	50	20	20	20	35	95	65
3, 13, 23	300	50	30	30	30	40	90	70
4, 14, 24	400	50	40	40	40	45	85	75
5, 15, 25	500	50	50	50	50	50	80	80
6, 16, 26	600	50	60	60	60	55	75	85
7, 17, 27	50	50	70	5	70	60	70	90
8, 18, 28	60	50	80	6	80	65	65	95
9, 19, 29	70	50	90	7	90	70	60	100
10, 20, 30	80	50	0	8	0	75	55	30

**Содержание расчетно-графической работы:**

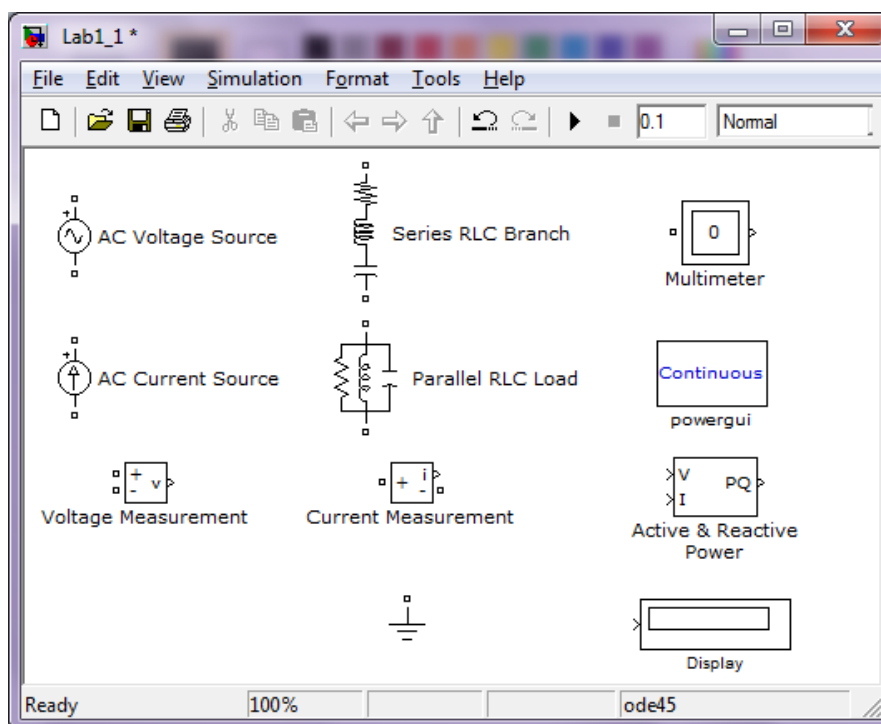
1. Исследование источников напряжения и тока; исследование основных величин, характеризующих синусоидальный ток.
2. Исследование резистора в цепи синусоидального тока.
3. Исследование индуктивности в цепи синусоидального тока.
4. Исследование емкости в цепи синусоидального тока.
5. Исследование последовательного соединения резистора, индуктивности и емкости в цепи синусоидального тока.

6. Исследование параллельного соединения резистора, индуктивности и емкости в цепи синусоидального тока.
7. Исследование смешанного соединения резистора, индуктивности и емкости в цепи синусоидального тока.
8. Проверка законов Кирхгофа в цепи синусоидального тока.

### **Виртуальные приборы и оборудование:**

Виртуальные приборы и оборудование для выполнения расчетно-графической работы представлены на **рис.1**. Они содержат источник синусоидального напряжения (AC VoltageSource), источник синусоидального тока (ACCurrentSource), последовательные и параллельные RLC-цепи (SeriesRLC, ParallelRLC), измерительные приборы (VoltageMeasurement (вольтметр), CurrentMeasurement (амперметр), Multimeter, powergui (блок графического интерфейса пользователя), ActiveandReactivePower (блок измерения активной и реактивной мощности), Display) и элементы соединения – вход и выход заземления (Groundinput, Groundoutput).

Все виртуальные приборы и оборудование (кроме Display) являются блоками пакета расширения PowerSystemBlockset (SimPowerSystems для версий позднее Matlab 6.5). Дисплей (Display) является блоком основной библиотеки Simulink.



**Рис. 1** - Библиотечные виртуальные блоки к лабораторной работе

**Максимальный балл за контрольную работу составляет 10 минимальный балл – 5.**

**При повторном переписывании контрольной в итоговый рейтинг идет средний балл по всем попыткам.**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет информационных технологий*  
*Кафедра электротехники и энергообеспечения предприятий*

Направление подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование)

Профиль/программа: «Электроснабжение»  
(наименование)

Семестр 4 – очное отделение;

Семестр 8 – заочное отделение;

**Вопросы для зачета с оценкой**  
по дисциплине «Моделирование в электротехнике»

Контрольные вопросы по теме № 1  
**«Операционная среда Simulink»**

1. Запуск системы.
2. Обзорщик библиотеки блоков Simulink.
3. Создание модели.
4. Основные элементы окна модели.
5. Основные приемы подготовки и редактирования модели.
6. Установка параметров моделирования и его выполнение.

Контрольные вопросы по теме № 2  
**«Обзор основной библиотеки Simulink»**

1. Источники сигналов Sources.
2. Приемники сигналов Sinks.
3. Блоки непрерывных моделей Continuous.
4. Блоки математических операций MathOperations.
5. Блоки маршрутизации сигналов Signal&Routing.
6. Функции, определяемые пользователем User-definedFunction.

Контрольные вопросы по теме № 3  
**«Библиотека блоков SimPowerSystems»**

1. Состав библиотеки и основные особенности.
2. Источники электрической энергии ElectricalSources.
3. Измерительные и контрольные устройства.
4. Электротехнические элементы Elements.
5. Элементы силовой электроники PowerElectronics.
6. Электрические машины Machines.
7. Модели для расчета векторным методом PhasorElements.

Контрольные вопросы по теме № 4  
**«Графический интерфейс пользователя Powergui»**

1. Расчет схем символическим (векторным) методом.
2. Дискретизация модели.
3. Расчет установившегося режима.
4. Инициализация трехфазных схем, содержащих электрические машины.
5. Определение импеданса цепи.
6. Гармонический анализ.
7. Создание отчета.

Контрольные вопросы по теме № 5  
**«Основные команды Matlab для управления SPS-моделью»**

1. Функция инициализации SPS-модели power\_init.
2. Функция для определения математической модели линейной части электрической схемы power\_statespace.

Контрольные вопросы по теме № 6  
**«Принцип работы SimPowerSystems»**

1. Алгоритм расчета SPS-модели.
2. Выбор метода интегрирования.
3. Особенности моделирования схем силовой электроники.

*Максимальный балл за зачет с оценкой для очного отделения составляет 40, минимальный балл – 25.*

*Максимальный балл за зачет с оценкой для заочного отделения составляет 40, минимальный балл – 20.*