

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

«30» мая 2022 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине (модулю)

Б1.В.07 «Системы автоматического проектирования энергетических объектов»

(наименование дисциплины (модуля))

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

«Инновационные технологии в электрохозяйстве нефтехимических предприятий»

(наименование профиля/программы/направленности/специализации)

Магистр


квалификация

очная/очно-заочная
форма обучения

Нижекамск, 2022 г.

Составитель ФОС:

Доцент
(должность)


(подпись)

Е. Н. Гаврилов
(Ф.И.О.)

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры электротехники и энергообеспечения предприятий, протокол от 21.04.2022 г. №8.

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



№ п/п	Наименование задания	Ф.И.О. преподавателя	Ф.И.О. студента	Дата выполнения	Оценки
1	Задание 1	Тумаева Е.В.	Иванов И.И.	21.04.2022	5
2	Задание 2	Тумаева Е.В.	Петров П.П.	21.04.2022	4
3	Задание 3	Тумаева Е.В.	Сидоров С.С.	21.04.2022	3
4	Задание 4	Тумаева Е.В.	Кузнецов К.К.	21.04.2022	2
5	Задание 5	Тумаева Е.В.	Левченко Л.Л.	21.04.2022	1
6	Задание 6	Тумаева Е.В.	Михайлов М.М.	21.04.2022	5
7	Задание 7	Тумаева Е.В.	Новиков Н.Н.	21.04.2022	4
8	Задание 8	Тумаева Е.В.	Осипов О.О.	21.04.2022	3
9	Задание 9	Тумаева Е.В.	Рябенко Р.Р.	21.04.2022	2
10	Задание 10	Тумаева Е.В.	Смирнов С.С.	21.04.2022	1
11	Задание 11	Тумаева Е.В.	Тихонов Т.Т.	21.04.2022	5
12	Задание 12	Тумаева Е.В.	Фролов Ф.Ф.	21.04.2022	4
13	Задание 13	Тумаева Е.В.	Харьков Х.Х.	21.04.2022	3
14	Задание 14	Тумаева Е.В.	Цыганов Ц.Ц.	21.04.2022	2
15	Задание 15	Тумаева Е.В.	Чайков Ч.Ч.	21.04.2022	1
16	Задание 16	Тумаева Е.В.	Шаров Ш.Ш.	21.04.2022	5
17	Задание 17	Тумаева Е.В.	Щербак Щ.Щ.	21.04.2022	4
18	Задание 18	Тумаева Е.В.	Юсупов Ю.Ю.	21.04.2022	3
19	Задание 19	Тумаева Е.В.	Яковлев Я.Я.	21.04.2022	2
20	Задание 20	Тумаева Е.В.	Зайцев З.З.	21.04.2022	1

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

Компетенция:

ПК-4 Способен разрабатывать концепцию системы электроснабжения объекта капитального строительства.

Индикаторы достижения компетенции:

4.1 Знает требования нормативных технических документов к устройству системы электроснабжения, правила разработки проектов системы электроснабжения, правила проведения обследования объекта, для которого предназначена система электроснабжения ;

4.2 Знает требования нормативных технических документов к устройству системы электроснабжения, правила разработки проектов системы электроснабжения, правила проведения обследования объекта, для которого предназначена система электроснабжения

4.3 Знает требования нормативных технических документов к устройству системы электроснабжения, правила разработки проектов системы электроснабжения, правила проведения обследования объекта, для которого предназначена система электроснабжения

ПК-6 Способен разрабатывать проект системы электропривода.

Индикаторы достижения компетенции:

6.1 Знает требования нормативных технических документов к устройству систем электроприводов, правила разработки проектов систем электроприводов, правила проведения обследования объекта, для которого предназначена система электропривода

6.2 Умеет определять характеристики электропривода и критерии оценки эффективности работы и методы повышения энергоэффективности электропривода

6.3 Владеет навыками проектирования системы электропривода

Для очного отделения

Индикаторы достижения компетенции	Этапы формирования в процессе освоения дисциплины				<i>Наименование оценочного средства</i>
	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Курсовой проект (работа)	
ПК-4.1, ПК-6.1	Тема 1-7	Не предусмотрены	Тема 2, 5	Не предусмотрены	Лабораторная работа № 1-4/ Зачет
ПК-4.2, ПК-6.2	Тема 1-7	Не предусмотрены	Тема 2, 5	Не предусмотрены	Лабораторная работа № 1-4 /Зачет
ПК-4.3, ПК-6.3	Тема 1-7	Не предусмотрены	Тема 2, 5	Не предусмотрены	Лабораторная работа № 1-4/ Зачет

Для очно-заочного отделения

Индикаторы достижения компетенции	Этапы формирования в процессе освоения дисциплины				<i>Наименование оценочного средства</i>
	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Курсовой проект (работа)	
ПК-4.1, ПК-6.1	Тема 1,2,5-7	Не предусмотрены	Тема 2, 5	Не предусмотрены	Лабораторная работа № 1-4/ Зачет
ПК-4.2, ПК-6.2	Тема 1,2,5-7	Не предусмотрены	Тема 2, 5	Не предусмотрены	Лабораторная работа № 1-4 /Зачет
ПК-4.3, ПК-6.3	Тема 1,2,5-7	Не предусмотрены	Тема 2, 5	Не предусмотрены	Лабораторная работа № 1-4/ Зачет

Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)

Для очного и очно-заочного отделений

Оценочные средства	Кол-во	Min, баллов	Max, баллов
Лабораторная работа № 1	1	10	15
Лабораторная работа № 2	1	10	15
Лабораторная работа № 3	1	10	15
Лабораторная работа № 4	1	10	15
Зачет	1	20	40
текущий рейтинг $R_{\text{тек}}$	1	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 (не зачтено)	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 средства

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	2	3	4
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	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

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Нижекамский химико-технологический (институт) 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»**
Программа подготовки **«Инновационные технологии в электрохозяйстве
нефтехимических предприятий»**

**Перечень лабораторных работ по дисциплине
«Преобразовательная техника»
(для очного и очно-заочного отделений)**

**Лабораторная работа №1.
Исследование однофазного двухполупериодного выпрямителя**

1. Цель работы

Исследование однофазного двухполупериодного выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с обратным диодом.

2. Указания к выполнению работы

К выполнению лабораторной работы следует приступить после изучения соответствующих разделов учебной литературы [Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.]. В качестве дополнительной литературы рекомендуется воспользоваться [Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.].

3. Содержание работы [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

Исследование внешней и энергетических характеристик однофазного двухполупериодного выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с обратным диодом без учета коммутации.

4. Описание виртуальной лабораторной установки

Виртуальная лабораторная установка для исследований, предусмотренных содержанием работы, показана на рис. 2.1, она содержит:

- 1) источник синусоидального напряжения (*AC Voltage Source*);
- 2) однофазный трансформатор (*Linear Transformer*);
- 3) однофазный диодный мост (*Universal Bridge*);
- 4) активно-индуктивную нагрузку (*Series RLC-Branch*);

- 5) обратный диод (*Diode*);
- 6) измерители мгновенных токов в источнике питания (*Current Measurement*) и нагрузке (*Current Measurement 1*);
- 7) измеритель мгновенного напряжения на нагрузке (*Voltage Measurement*);
- 8) блок для измерения гармонических составляющих тока питания (*Fourier I1*);
- 9) блок для измерения гармонических составляющих тока нагрузки (*Fourier I0*) и аналогичный блок для измерения гармонических составляющих напряжения на нагрузке (*Fourier U0*);
- 10) блок для наблюдения (измерения) мгновенных значений тока в цепи питания, тока нагрузки и напряжения на нагрузке (*Scope*);
- 11) блок для наблюдения и измерения мгновенных значений величин, которые выбраны в поле Measurement соответствующих блоков (*Multimeter*);
- 12) блок для измерения амплитудного значения тока первой гармоники и ее фазы в цепи питания (*Display 1*);
- 13) блок для измерения средних значений тока и напряжения на нагрузке (*Display 2*).

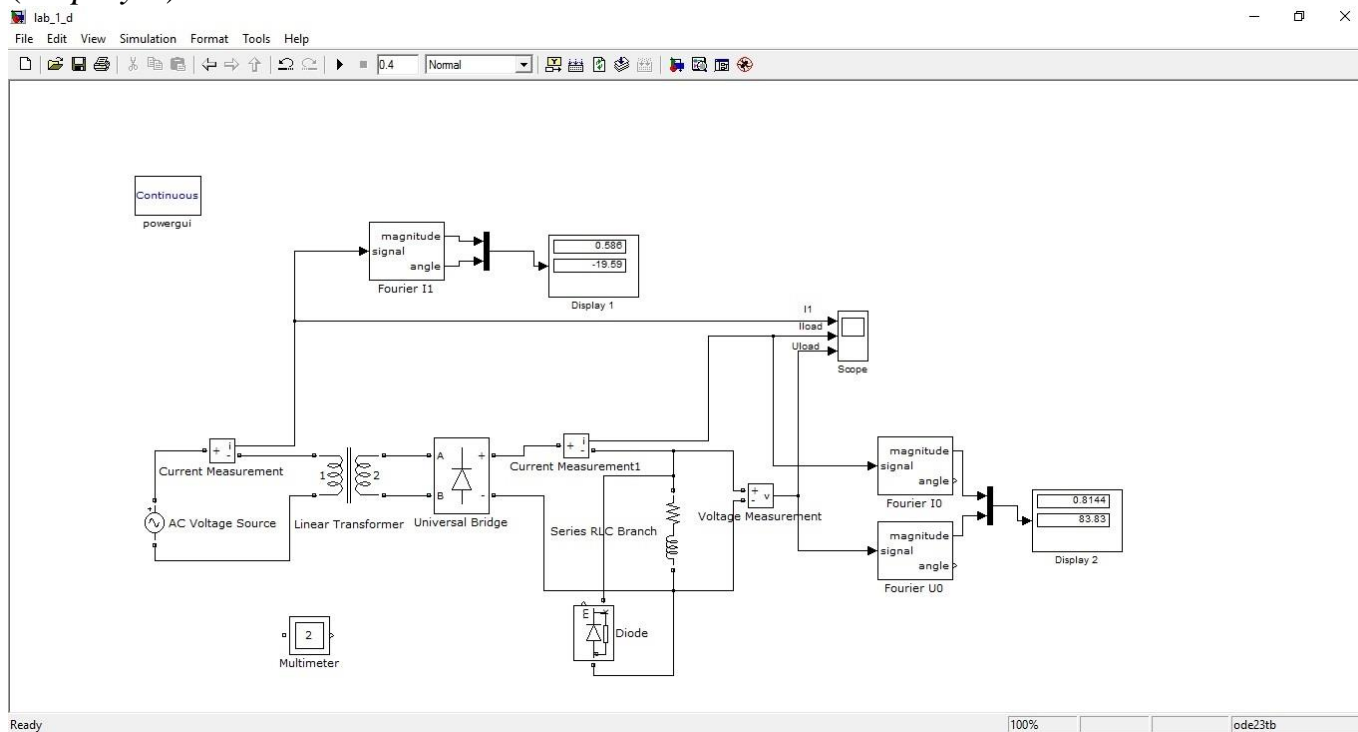


Рис. 2.1. Модель однофазного выпрямителя

Окно настройки параметров источника питания показано на рис. 2.2.
В полях настройки задаются:

- 1) амплитуда напряжения в вольтах (*Peak amplitude, V*);
- 2) начальная фаза напряжения в градусах (*Phase, deg*);
- 3) частота напряжения в герцах (*Frequency, Hz*).

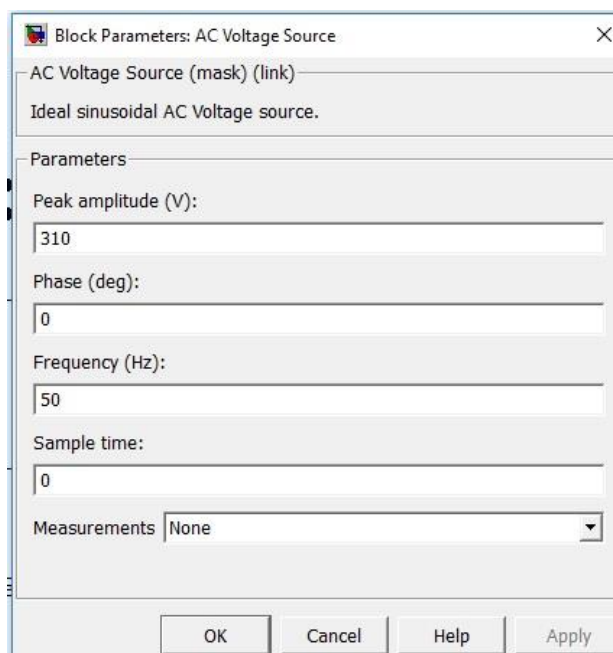


Рис. 2.2. Окно настройки параметров источника питания

Параметр *Sample time* задает дискретность задания напряжения. Такой параметр имеется во многих библиотечных блоках, он должен быть согласован с временем дискретизации при задании параметров моделирования. При моделировании аналоговых систем его можно установить равным нулю.

Окно настройки параметров трансформатора показано на рис. 2.3. В полях окна настройки вводятся номинальная мощность и частота трансформатора (*Nominal power and frequency*), параметры первичной и вторичной обмоток (*Winding 1 parameters, Winding 2 parameters*) и параметры ветви намагничивания (*Magnetization resistance and reactance*). Параметры схемы замещения трансформатора приведены к относительным (безразмерным) величинам.

Block Parameters: Linear Transformer

Linear Transformer (mask) (link)

Implements a three windings linear transformer.

Click the Apply or the OK button after a change to the Units popup to confirm the conversion of parameters.

Parameters

Units: **pu**

Nominal power and frequency [Pn(VA) fn(Hz)]:
[5e3 50]

Winding 1 parameters [V1(Vrms) R1(pu) L1(pu)]:
[220 0.2 0.8]

Winding 2 parameters [V2(Vrms) R2(pu) L2(pu)]:
[100 0.2 0.8]

☐ Three windings transformer

Winding 3 parameters [V3(Vrms) R3(pu) L3(pu)]:
[315e3 0.002 0.08]

Magnetization resistance and inductance [Rm(pu) Lm(pu)]:
[500 500]

Measurements: **None**

☐ Use SI units

OK Cancel Help Apply

Рис. 2.3. Окно настройки параметров трансформатора

Для определения относительных параметров трансформатора необходимо рассмотреть его схему замещения.

Обобщенная схема замещения трансформатора показана на рис. 2.4. Эта схема замещения представлена как идеальный трансформатор с вынесенными элементами, характеризующими потери в обмотках ($R1$, $R2$, $R3$), потоки рассеяния обмоток ($L1$, $L2$, $L3$) и цепь намагничивания трансформатора (Lm , Rm).

Преимущество задания параметров трансформатора в относительных величинах состоит в том, что для первичной и вторичных обмоток они оказываются равными (рис. 2.4). Кроме того, относительные параметры ветви намагничивания тоже равны между собой. В приложении приведены данные трансформаторов и выражения для определения их относительных параметров. В лабораторной работе исследуется двухобмоточный трансформатор. В этом случае в поле параметров для третьей обмотки введен нуль.

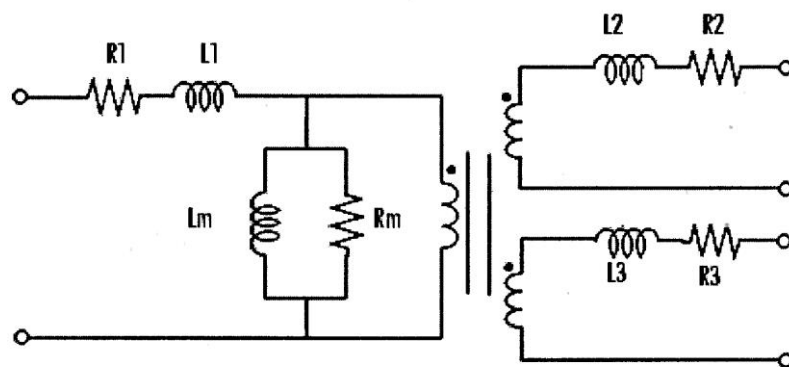


Рис. 2.4. Обобщенная схема замещения трансформатора

Окно настройки параметров выпрямителя показано на рис. 2.5. В полях настройки заданы:

- 1) количество ветвей моста (2) (*Number of bridge arms*);
- 2) конфигурация входных и выходных портов (*Port configuration*);
- 3) параметры демпфирующих цепей (*Snubber resistance, Snubber capacitance*);
- 4) тип полупроводниковых приборов в универсальном мосте (*Power Electronic device*);
- 5) динамическое сопротивление диодов в открытом состоянии в омах (*Ron, Ohms*);
- 6) индуктивность диода в открытом состоянии в генри (*Lon, H*);
- 7) пороговое напряжение на диоде в открытом состоянии в вольтах (*Forward voltage, V*).

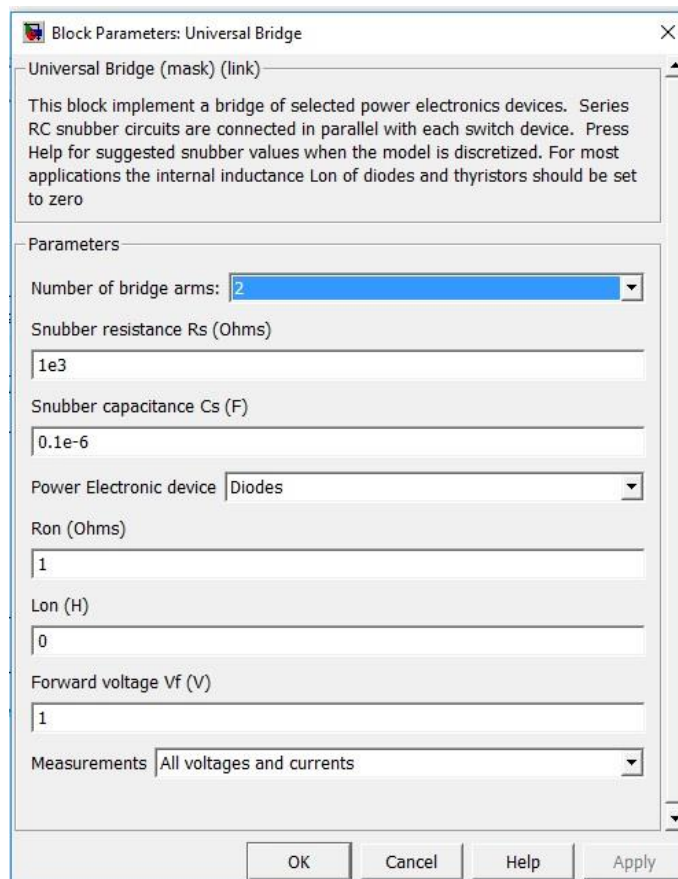


Рис. 2.5. Окно настройки параметров диодного выпрямителя

В поле *Measurement* выбраны величины, которые измеряются блоком *Multimeter*.

Окно настройки параметров нагрузки показано на рис. 2.6. Для реализации активно-индуктивной нагрузки в последовательной R , L , C цепи в двух первых полях (*Resistance R, Ohms, Inductance L, H*) устанавливается значение активного сопротивления в омах и индуктивности в генри, в третьем поле (*Capacitance C(F)*) — бесконечность (*inf*).

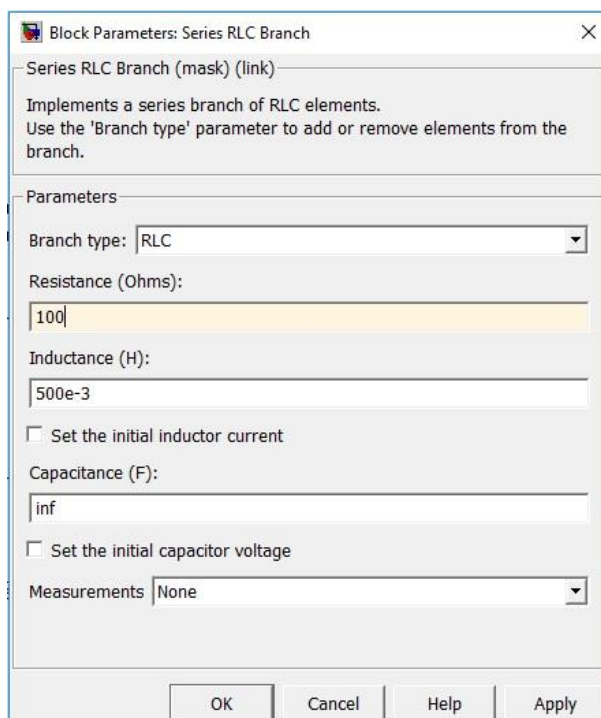


Рис. 2.6. Окно настройки параметров нагрузки

В окне настройки параметров блока *Fourier II* (рис. 2.7) устанавливается частота, равная частоте питающего напряжения, и номер первой гармоники. Блоки *Fourier IO*, *Fourier UO* измеряют постоянные составляющие выходного тока и напряжения. При двухполупериодном выпрямлении основная частота выходного напряжения (тока) равна удвоенной частоте источника ($f = 100$ Гц).

В поле (*Harmonic n*) задается номер гармоники. В данном случае измеряется постоянная составляющая ($n = 0$).

Окно приборов *Display* для измерения значений исследуемых процессов показано на рис. 2.8. В первом поле задается формат представления измеряемых значений.

Второе поле (*Decimation*) определяет периодичность вывода значений в окне *Display*.

Параметр *Sample time* задает дискретность вывода измеряемых значений. Этот параметр должен быть согласован с временем дискретизации при задании параметров моделирования (рис. 2.8). При моделировании аналоговых систем его можно установить равным нулю.

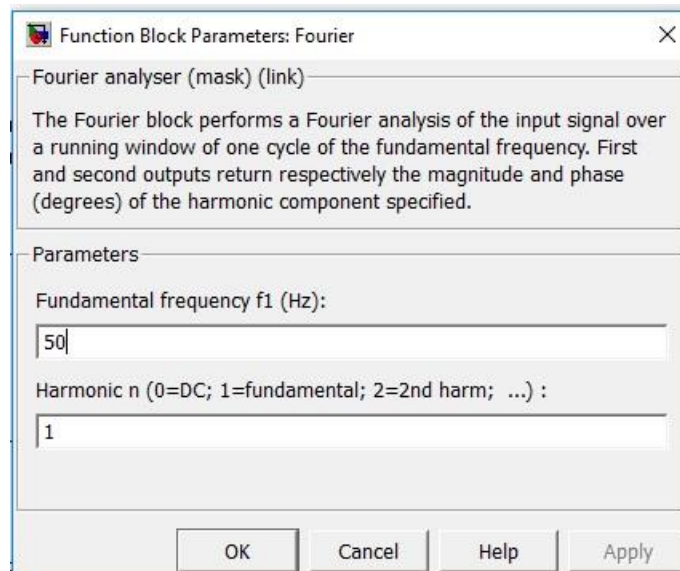


Рис. 2.7. Окно настройки блока Fourier I1

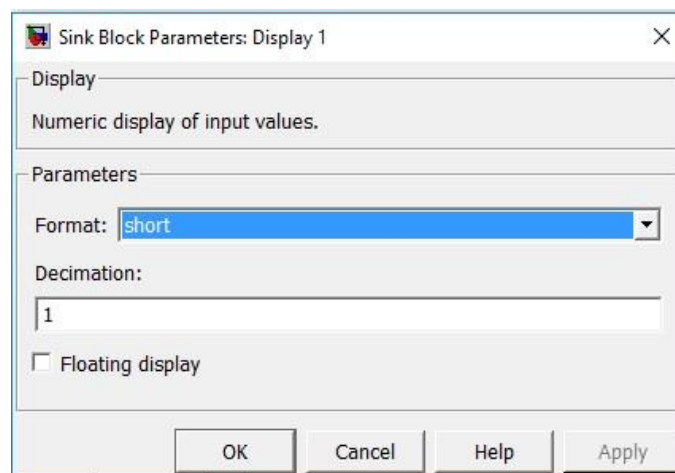


Рис. 2.8. Окно настройки блока Display

Окно настройки блока *Multimeter* показано на рис. 2.9.

В левом поле (*Available*) высвечиваются все напряжения и токи универсального моста, так как они заданы в окне настройки блока рис. 2.9.

В правом поле (*Selected*) отражены те переменные, которые измеряет блок (эти значения перенесены из левого поля в правое кнопкой *Select*).

Переменные правого поля можно измерить на выходе блока внешними приборами. При включенном флажке *Plot selected measurement* мгновенные значения этих величин отражаются в графическом окне блока по окончании очередного моделирования.

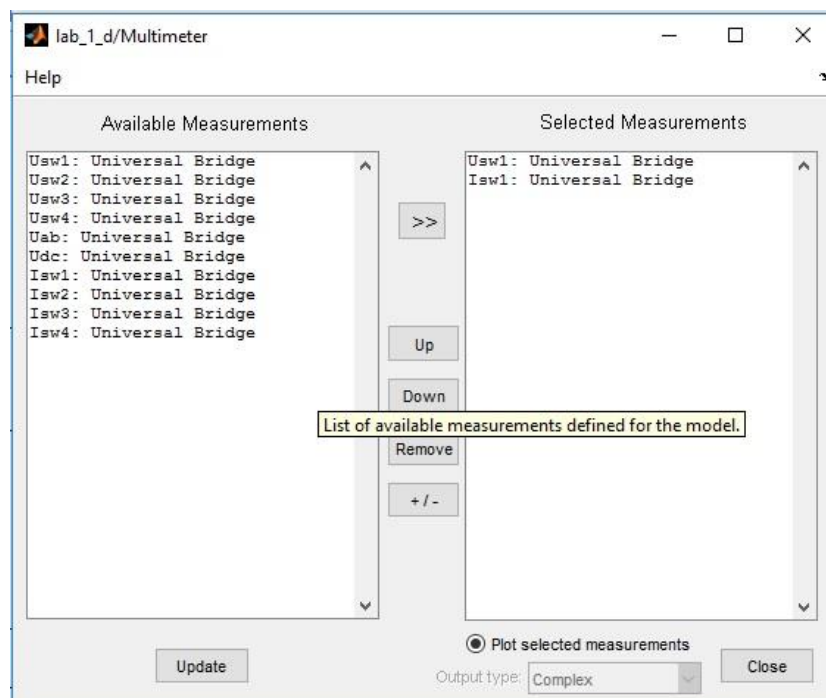


Рис. 2.9. Окно настройки блока Multimeter

5. Порядок проведения лабораторной работы

Исследование однофазного двухполупериодного выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с обратным диодом проводится на виртуальной установке (рис. 2.1), подробное описание которой приведено выше.

Параметры источника питания, трансформатора, нагрузки и диодного моста задаются преподавателем. Параметры нагрузки задаются так, чтобы постоянная времени $T_H = L_H / R_H$ находилась в пределах $(2-5)T$ ($T = 1/f$, f – частота источника). Параметры моделирования задаются на вкладке *Simulation/Configuration Parameters* (рис. 2.10).

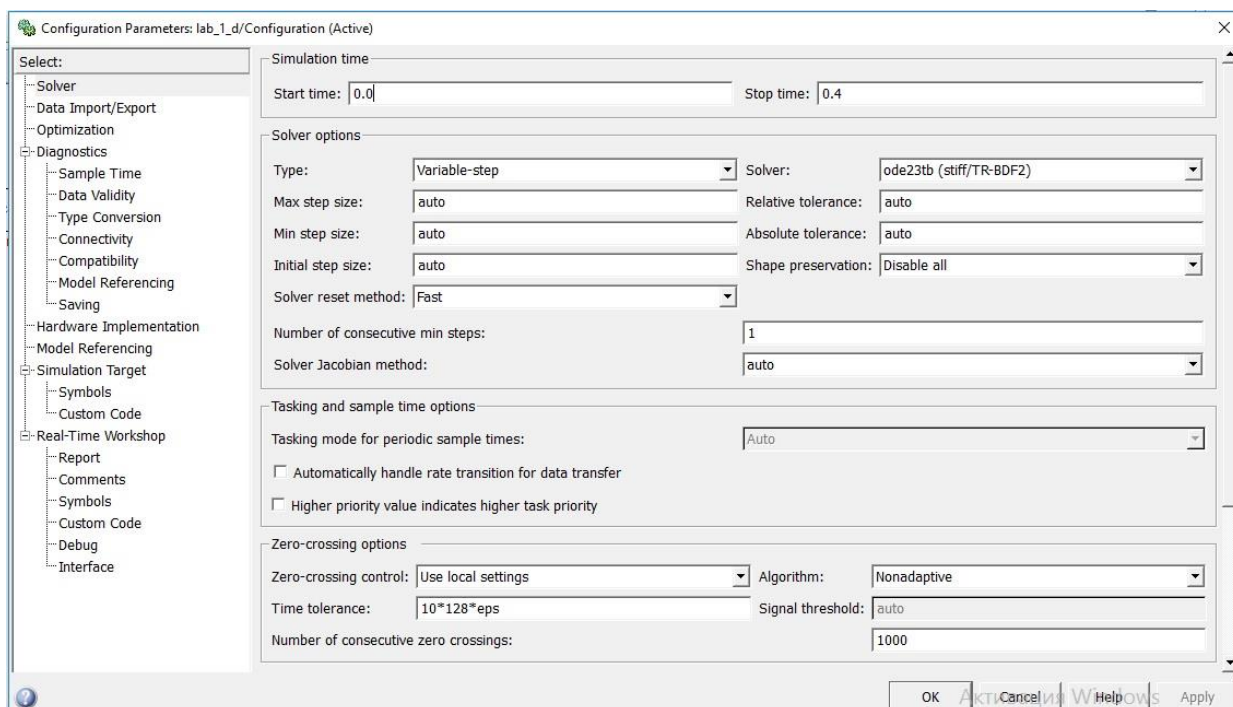


Рис. 2.10. Окно настройки параметров моделирования

В поле *Stop time* задается время в секундах, равное 10...20 периодов напряжения источника. В поле *Type* задается переменный шаг (*Variable-step*) и метод решения дифференциальных уравнений — *ode 23 tb (stiff/TR-BDF2)*. В поле *Max step size* устанавливается значение шага моделирования, это же значение заносится в поле *Sample time* всех блоков, которые это поле имеют (рис. 2.10). В оставшихся полях можно оставить то, что компьютер устанавливает по умолчанию.

Изменяя сопротивление нагрузки от 10 Ом до 100 Ом с шагом 10 Ом и индуктивность нагрузки так, чтобы постоянная времени $T_H = L_H / R_H$ оставалась постоянной, измеряют и рассчитывают основные характеристики выпрямителя. При этом моделирование проводится для каждого сопротивления нагрузки.

Результаты моделирования заносятся в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты моделирования

Данные				Измерения						Вычисления		
$U_{I\max}$	f_I	L_H	R_H	I_H	U_H	$I_I(1)_{\max}$	φ_I	$U_{D\max}$	$I_{D\max}$	$S_I(1)$	$P_I(1)$	P_H
В	Гц	Гн	Ом	А	В	А	град	В	А	ВА	Вт	Вт

Амплитуда первой гармоники тока в источнике питания $I_I(1)_{\max}$ и начальная фаза этого тока φ_I , определяются по показаниям *Display 1*, ток и напряжение на нагрузке определяются по показаниям *Display 2*. Мгновенные значения этих величин можно наблюдать на экране осциллоскопа (рис. 2.11).

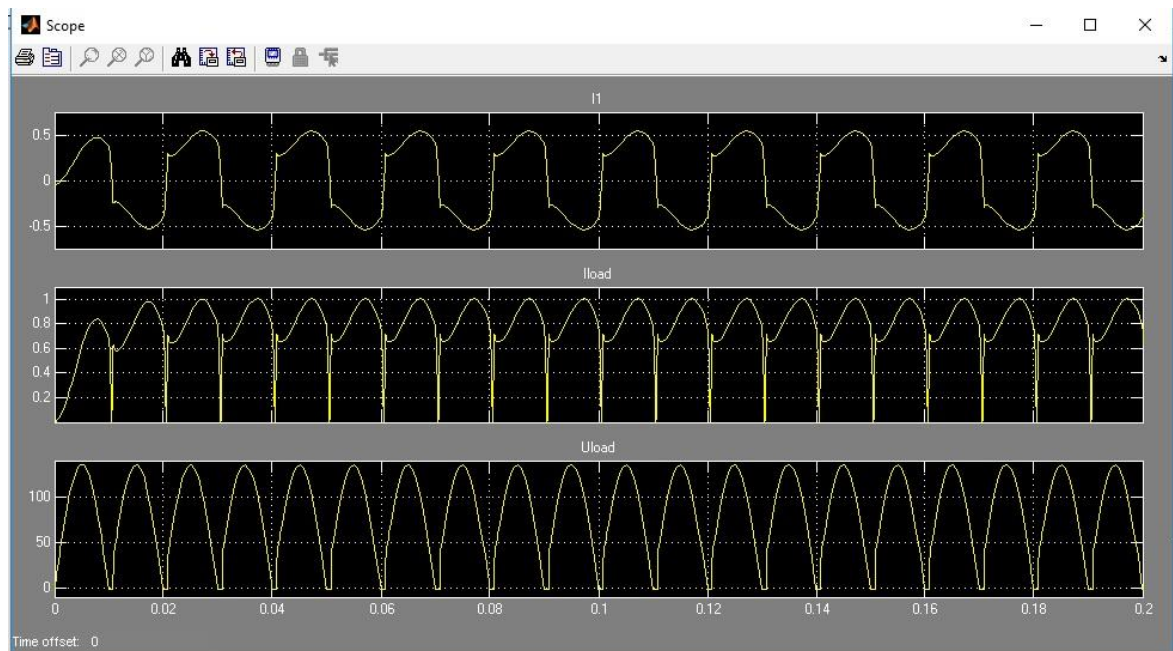


Рис. 2.11. Осциллограммы тока питания, тока нагрузки и напряжения на нагрузке

Вычисления полной и активной мощности, потребляемой выпрямителем от источника питания по первой гармонике, осуществляются по выражениям:

$$S_1(1) = \frac{U_{1.\max} I_{1.\max}(1)}{2} \quad (BA) \quad P_1(1) = S_1(1) \cos \varphi_1 \quad (Bm).$$

Мощности в нагрузке определяются выражением

$$P_H = U_H I_H \quad (Bm) .$$

По завершении очередного моделирования появляется графическое окно блока *Multimeter* (рис. 2.12) с кривыми мгновенных значений напряжения и тока диода выпрямителя.

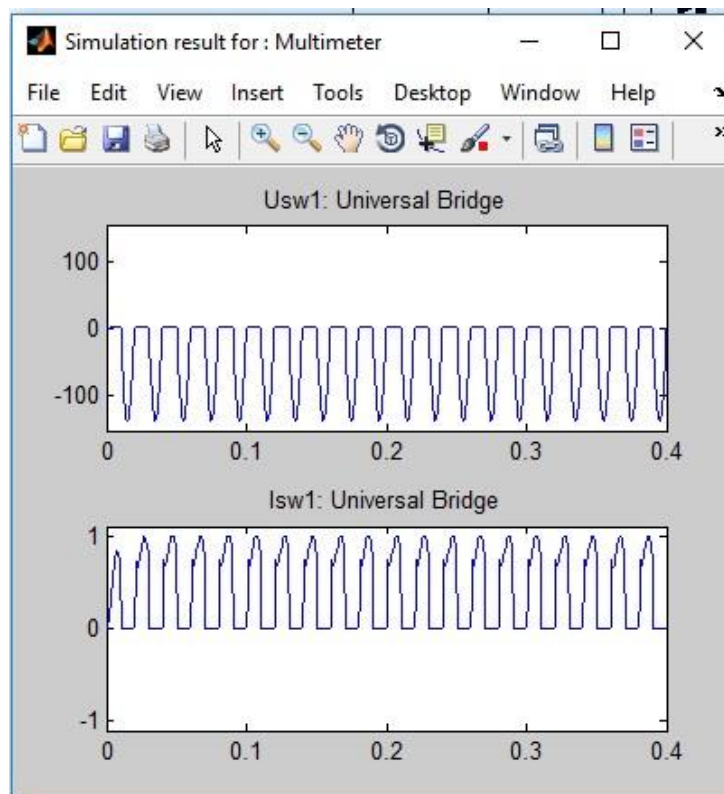


Рис. 2.12. Осциллограммы напряжения и тока диода выпрямителя

Максимальные значения этих величин табл. 2.1 определяются из графического окна блока *Multimeter*. По результатам табл. 2.1 строятся:

- 1) внешняя (нагрузочная) характеристика выпрямителя $U_H = f(I_H)$;
- 2) энергетические характеристики выпрямителя $I_I(I)$, $I_{Dmax} = f(I_H)$; $S_I(I)$, $P_I(I) = f(P_H)$.

6. Содержание отчета

- 1) схема виртуальной установки;
- 2) выражения для расчета основных характеристик;
- 3) нагрузочная характеристика;
- 4) энергетические характеристики;
- 5) осциллограммы мгновенных напряжений и токов;
- 6) выводы по работе.

Лабораторная работа №2. Исследование трехфазного двухполупериодного (мостового) выпрямителя

1. Цель работы

Исследование трехфазного двухполупериодного (мостового) выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку, шунтированную обратным диодом.

2. Указания к выполнению работы

К выполнению лабораторной работы следует приступить после изучения соответствующих разделов учебной литературы [Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.]. В качестве дополнительной литературы рекомендуется воспользоваться [Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.].

3. Содержание работы [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

3.1 Исследование внешней и энергетических характеристик трехфазного двухполупериодного выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с обратным диодом без учета коммутации.

3.2 Исследование внешней и энергетических характеристик трехфазного двухполупериодного выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с обратным диодом с учетом коммутации.

4. Описание виртуальной лабораторной установки

Виртуальная лабораторная установка для исследований показана на рис. 2.13.

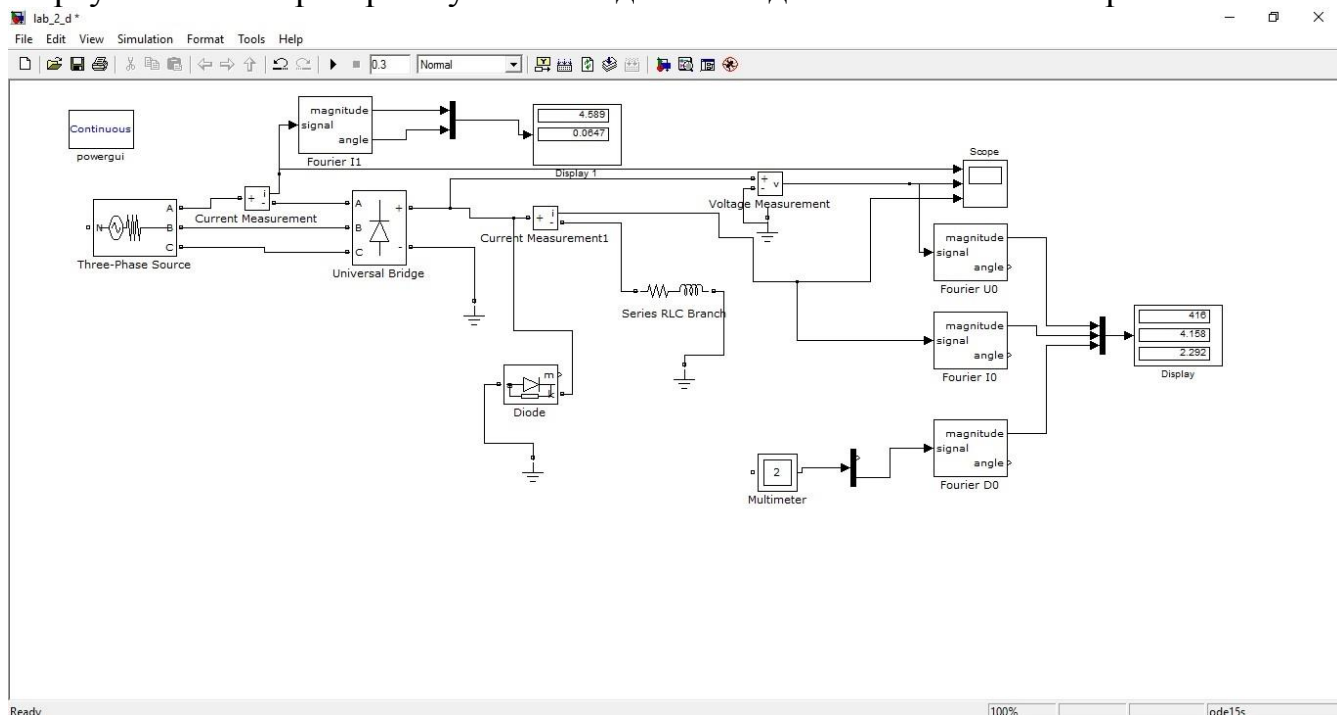


Рис. 2.13. Модель трехфазного двухполупериодного выпрямителя

Она содержит:

- 1) источник трехфазного синусоидального напряжения (*Three-Phase Source*);
- 2) трехфазный диодный мост (*Universal Bridge*);
- 3) активно-индуктивную нагрузку (*Series RLC Branch*);
- 4) обратный диод (*Diode*);
- 5) измерители мгновенных токов в источнике питания (*Current Measurement*) и нагрузке (*Current Measurement 1*);
- 6) измеритель мгновенного напряжения на нагрузке (*Voltage Measurement*);
- 7) блок для измерения гармонических составляющих тока питания (*Fourier I1*);
- 8) блок для измерения постоянной составляющей (среднего значения) тока нагрузки (*Fourier I0*) и аналогичный блок для измерения среднего значения напряжения на нагрузке (*Fourier U0*);
- 9) блок для измерения среднего значения тока в диоде выпрямителя (*Fourier D0*);
- 10) блок для наблюдения (измерения) мгновенных значений тока в цепи питания, тока нагрузки и напряжения на нагрузке (*Scope*);
- 11) блок для наблюдения (измерения) мгновенных значений величин, которые выбраны в поле *Measurement* соответствующих блоков (*Multimeter*);
- 12) блок для измерения амплитудного значения первой гармоники тока и его фазы в цепи питания (*Display 1*) - блок для измерения средних значений тока и напряжения на нагрузке и среднего тока в диоде выпрямителя (*Display 2*);
- 13) блок сбора скалярных сигналов в один векторный и разложения векторных сигналов на скалярные (*Mux, Demux*).

Окно настройки параметров источника питания показано на рис. 2.14.

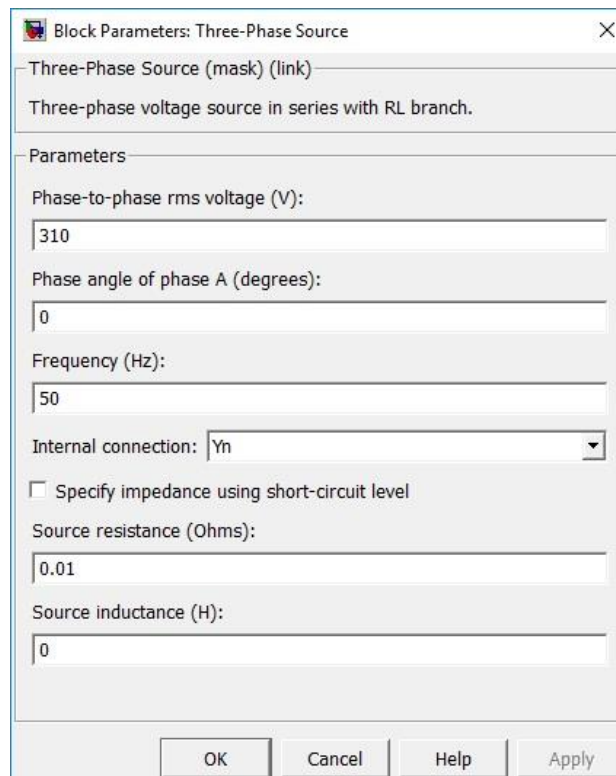


Рис. 2.14. Окно настройки параметров источника питания

В полях настройки задаются:

- 1) амплитуда линейного напряжения в вольтах (*Phase-to-phase rms voltage (V)*);
- 2) начальная фаза напряжения в градусах (*Phase angle of phase A (Degrees)*);
- 3) частота напряжения в герцах (*Frequency, Hz*);
- 4) внутренние параметры источника (сопротивление в ом и индуктивность в генри).

Окно настройки параметров выпрямителя показано на рис. 2.15. В полях настройки заданы:

- 1) количество ветвей моста (3) в поле *Number of bridge arms*;
- 2) параметры формирования динамических процессов переключения диодов (*Snubber resistance, Snubber capacitance*);
- 3) тип полупроводниковых приборов в универсальном мосте (*Power Electronic device*);
- 4) динамическое сопротивление полупроводникового модуля открытым состоянием в омах (*Ron, Ohms*);
- 5) пороговое напряжение на транзисторе и диоде модуля в открытом состоянии в вольтах (*Forward voltage, V*);

В поле *Measurement* выбраны токи и напряжения для измерения блоком *Multimeter*.

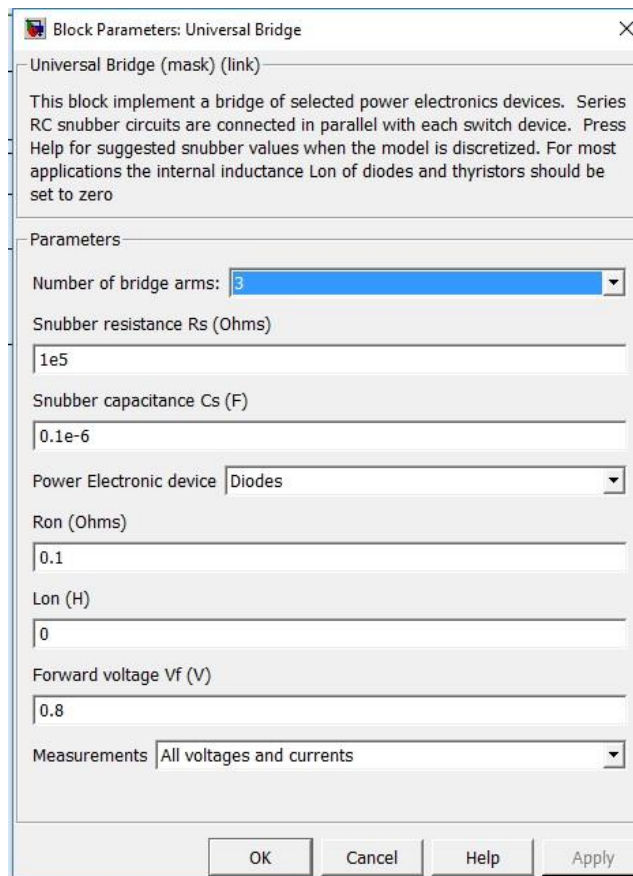


Рис. 2.15. Окно настройки параметров выпрямителя

Все остальные блоки практически повторяют те, которые подробно рассмотрены в лабораторной работе №1. Следует, однако, иметь в виду, что основная частота для блоков *Fourier I0* и *Fourier U0* равна 300 Гц, т.к. измерения производятся на входе трехфазного двухполупериодного выпрямителя.

5. Порядок проведения лабораторной работы

5.1. Исследование трехфазного двухполупериодного выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку по п. 3.1. проводится на виртуальной установке (рис. 2.13), подробное описание приведено выше.

Параметры источника питания, нагрузки и диодного моста задаются преподавателем. При самостоятельном изучении при задании параметров источников питания в поле *Source Inductance* нужно при выполнении п. 3.1 задать нуль. Остальные параметры источника задать такими же, как на рис. 2.14, а параметры выпрямителя – как на рис. 2.15. Параметры нагрузки задаются так, чтобы постоянная времени нагрузки $T_H = L_H / R_H$ находилась в пределах $(2-5)T$ ($T = 1/f$, f – частота источника). Параметры моделирования задаются на вкладке *Simulation/Configuration parameters* (рис. 2.16). В поле *max step size* устанавливается значение шага моделирования, это же значение заносится в поле *Sample time* всех блоков, которые это поле имеют. В оставшихся полях можно оставить то, что компьютер устанавливает по умолчанию.

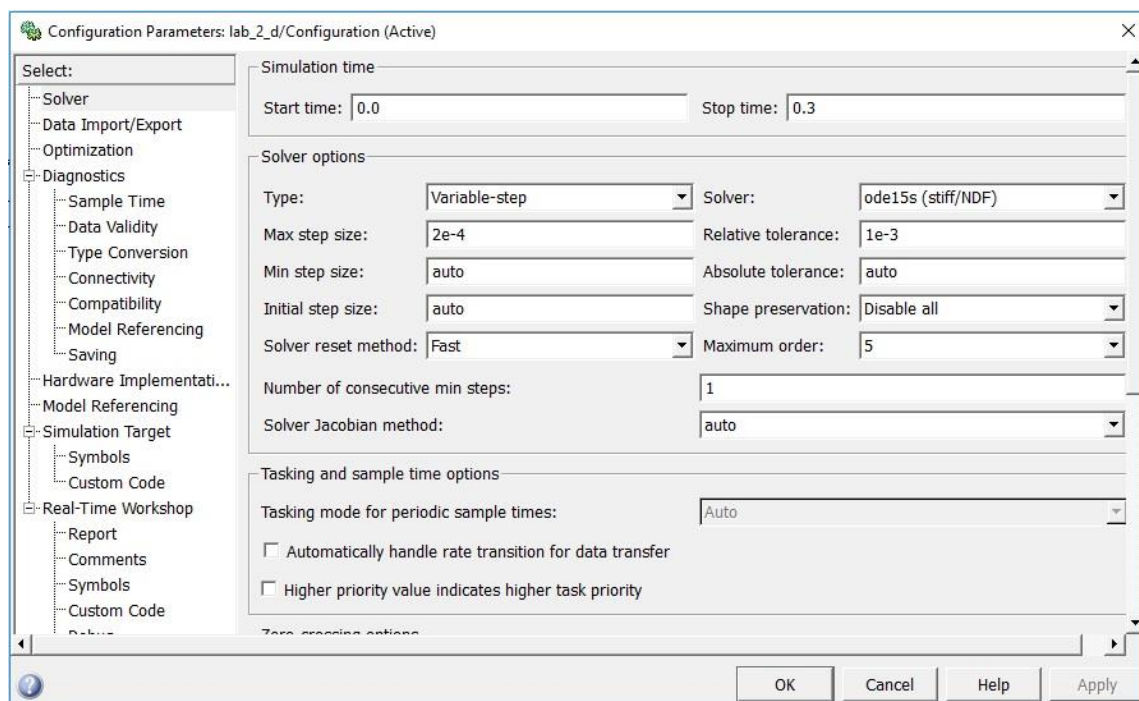


Рис. 2.16. Параметры моделирования

Изменяя сопротивление нагрузки от 1 до 100 Ом с шагом 10 Ом и индуктивность нагрузки так, чтобы постоянная времени $T_H = L_H / R_H$ оставалась неизменной, измеряются и рассчитываются основные характеристики выпрямителя. При этом моделирование проводится для каждого значения сопротивления нагрузки.

Результаты моделирования заносятся в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты моделирования

Данные				Измерения							Вычисления		
$U_{I_{ma}}$ $_x$	f_I	L_H	R_H	I_H	U_H	$I_I(I)_{ma}$ $_x$	φ_I	$I_{D,c}$ $_p$	$U_{D,ma}$ $_x$	$I_{D,ma}$ $_x$	$S_I(I)$ $_x$	$P_I(I)$ $_x$	P_H
В	Гц	Гн	Ом	А	В	А	град	А	В	А	ВА	Вт	Вт

Амплитуда первой гармоники тока $I_I(1)_{max}$ в источнике питания и начальная фаза этого тока φ_I определяются по показателям *Display 1*. Ток и напряжение на нагрузке, а также средний ток в диоде выпрямителя определяются по показателям *Display*. Мгновенные значения тока питания, тока нагрузки и напряжения нагрузки можно наблюдать на экране осциллоскопа (рис. 2.17).

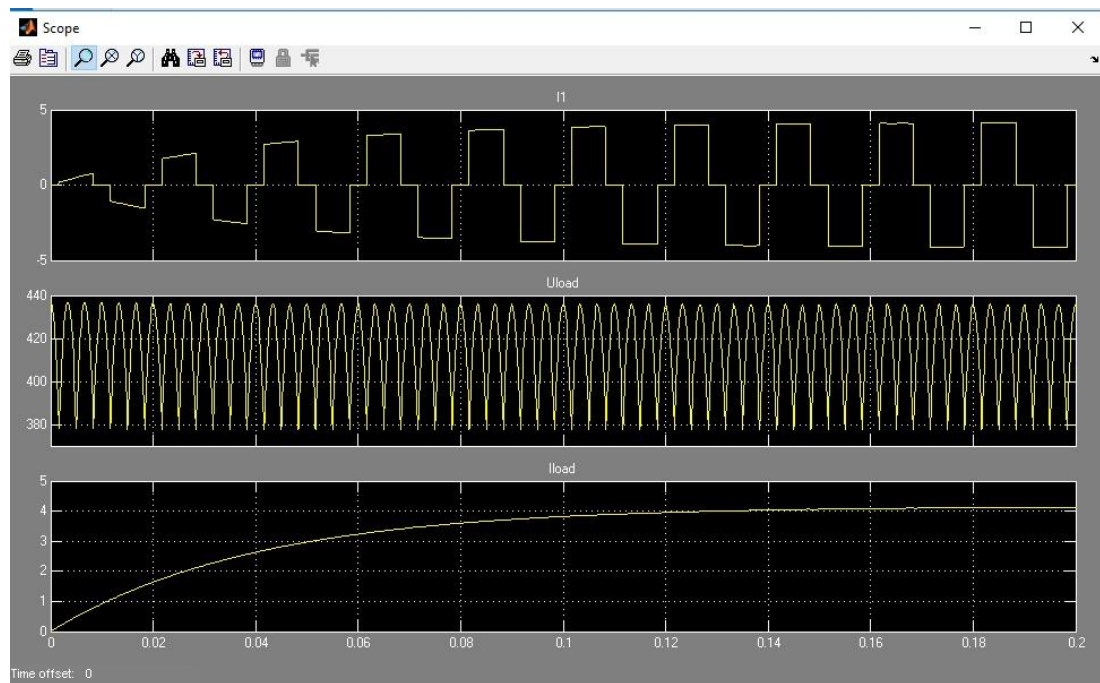


Рис. 2.17. Мгновенные напряжения и токи выпрямителя

Вычисления полной и активной мощности, потребляемой выпрямителем от источника питания по первой гармонике, а также мощности в нагрузке осуществляются по выражениям:

$$S_1(1) = \frac{3U_{1.\max} I_{1.\max}(1)}{2} \text{ (BA)} , P_1(1) = S_1(1) \cos \varphi_1 \text{ (Bm)}.$$

$$P_H = U_H I_H \text{ (Bm)} .$$

По завершению очередного моделирования появляется графическое окно блока *Multimeter* (рис. 2.18) с кривыми мгновенных значений напряжения и тока диода.

Максимальные значения этих величин табл. 2.2 определяются из графического окна блока *Multimeter*. По результатам таблицы 2.2. строятся:

- 1) внешняя (нагрузочная) характеристика выпрямителя $U_H = f(I_H)$;
- 2) энергетические характеристики выпрямителя $I_{D,cp}, I_{D,max}, I_1(I)_{max} = f(I_H)$;
- 3) энергетические характеристики выпрямителя $S_1(I), P_1(I) = f(P_H)$.

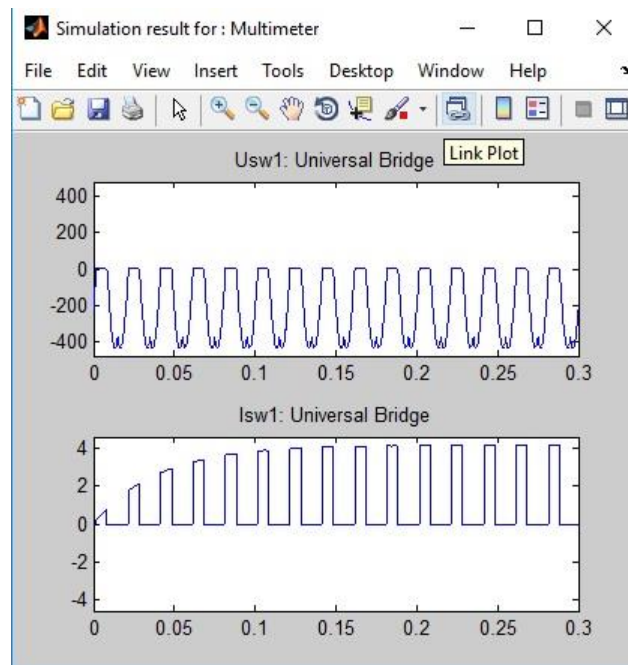


Рис. 2.18. Мгновенные напряжения и ток диода выпрямителя

5.2. Исследование трехфазного двухполупроводникового выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с учетом коммутации по п. 3.2 проводится на виртуальной установке (рис. 2.13). При выполнении этого пункта в окне параметров источника в поле *Source Inductance* нужно задать величину индуктивности порядка 0,01-0,1 Гн. Порядок выполнения работы аналогичен рассмотренному выше. При проведении работы заполняется таблица, аналогичная табл. 2.2. Результаты моделирования видны из рис. 2.19, 2.20.

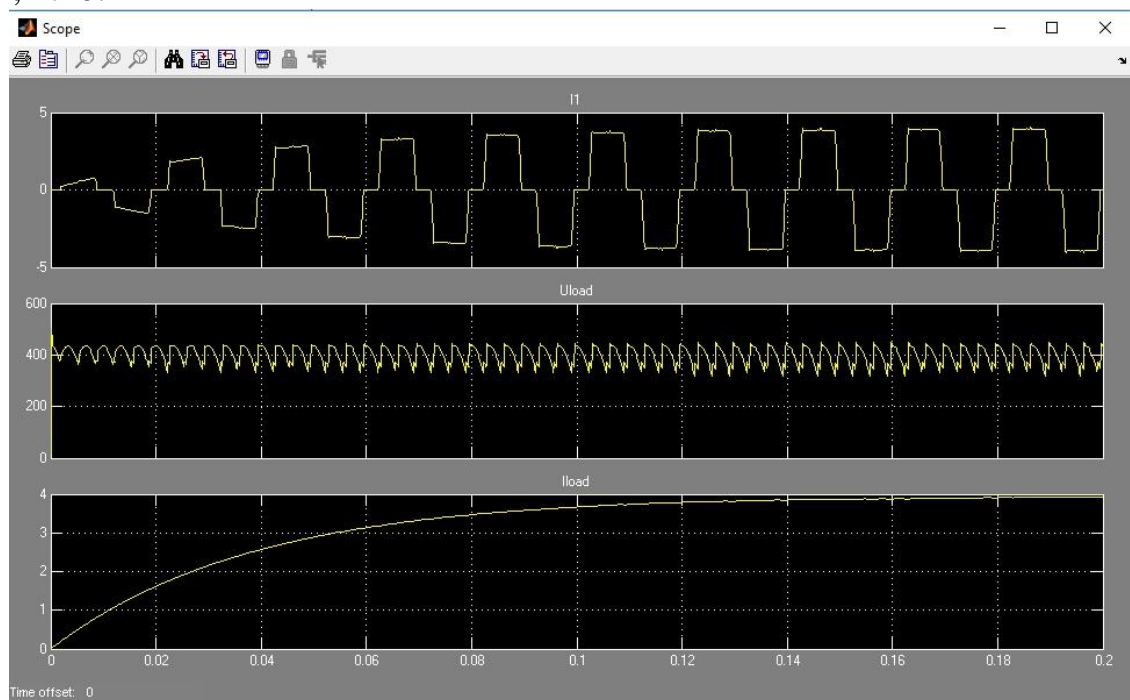


Рис. 2.19. Мгновенные напряжения и токи выпрямителя

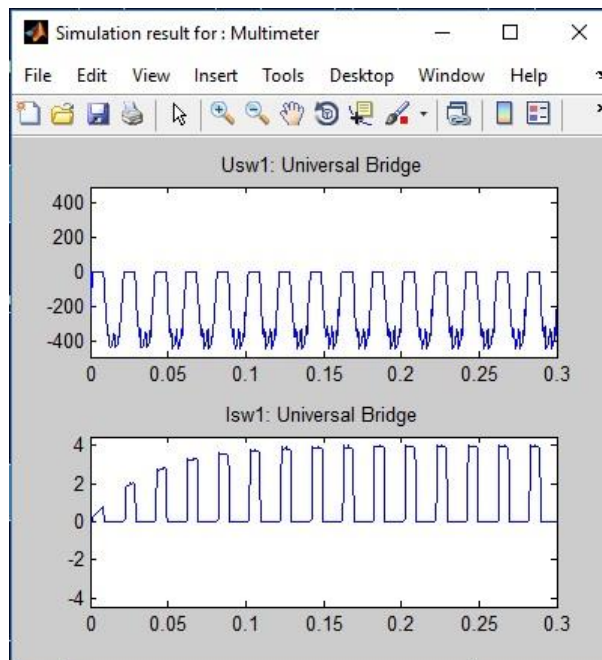


Рис. 2.20. Напряжение и ток диода

По результатам исследования строятся:

- 1) внешняя (нагрузочная) характеристика выпрямителя $U_H = f(I_H)$;
- 2) энергетические характеристики выпрямителя $I_{D,cp}$, $I_{D,max}$, $I_I(I)_{max} = f(I_H)$;
- 3) энергетические характеристики выпрямителя $S_I(I)$, $P_I(I) = f(P_H)$.

6. Содержание отчета

- 1) схема виртуальной установки;
- 2) выражение для расчета основных характеристик;
- 3) нагрузочные характеристики выпрямителя без учета коммутации и при учете коммутации (на одном графике);
- 4) энергетические характеристики выпрямителя $I_{D,cp}$, $I_{D,max}$, $I_I(I)_{max}$ без учета коммутации и при учете коммутации (на одном графике);
- 5) энергетические характеристики $S_I(I)$, $P_I(I)$;
- 6) осциллограммы мгновенных напряжений и токов;
- 7) выводы по работе.

Лабораторная работа №3.
**Исследование однофазного двухполупериодного управляемого
выпрямителя**

1. Цель работы

Исследование однофазного управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-э.д.с. и с обратным диодом.

2. Указания к выполнению работы

К выполнению лабораторной работы следует приступить после изучения соответствующих разделов учебной литературы [Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.]. В качестве дополнительной литературы рекомендуется воспользоваться [Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.].

3. Содержание работы [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

3.1 Исследование внешних и энергетических характеристик однофазного управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-э.д.с. и обратным диодом.

3.2 Исследование регулировочных характеристик однофазного управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-э.д.с. и обратным диодом.

3.3 Исследование гармонического состава тока потребления однофазного управляемого выпрямителя.

4. Описание виртуальной лабораторной установки

Виртуальная лабораторная установка для исследований показана на рис. 2.21. Она содержит:

- 1) источник синусоидального напряжения (*AC Voltage Source*);
- 2) трансформатор (*Linear Transformer*);
- 3) активно-индуктивную нагрузку (*Series RLC Branch*) с противо-э.д.с. (*DC Voltage Source*);
- 4) обратный диод (*Diode*);
- 5) измерители мгновенных токов в источнике питания (*Current Measurement*) и нагрузке (*Current Measurement I*);
- 6) измеритель мгновенного напряжения на нагрузке (*Voltage Measurement*);
- 7) блок для измерения гармонических составляющих тока питания (*Fourier II*) и тока тиристора (*Fourier T0*);
- 8) блок для измерения гармонических составляющих тока нагрузки (*Fourier I0*) и аналогичный блок для измерения гармонических составляющих напряжения на нагрузке (*Fourier U0*);
- 9) блок для измерения действующего тока тиристора (*RMS T0*);
- 10) блок для наблюдения (измерения) мгновенных значений тока в цепи

питания, тока нагрузки и напряжения на нагрузке (*Scope*);

11) блок для наблюдения (измерения) мгновенных значений величин, которые выбраны в поле Measurement соответствующих блоков (*Multimeter*);

12) блок для измерения амплитудного значения тока и его фазы в цепи питания (*Display 1*) и блок для измерения средних значений тока и напряжения на нагрузке (*Display*);

13) блок для измерения среднего и действующего значения тока тиристора (*Display 2*);

14) однофазный тиристорный мост (*Universal Bridge*);

15) блок *To Workspace*, предназначенный для передачи исследуемого сигнала в рабочее пространство MatLab с последующей обработкой пакетом расширения *Signal Processing Toolbox* для исследования гармонического спектра тока потребления.

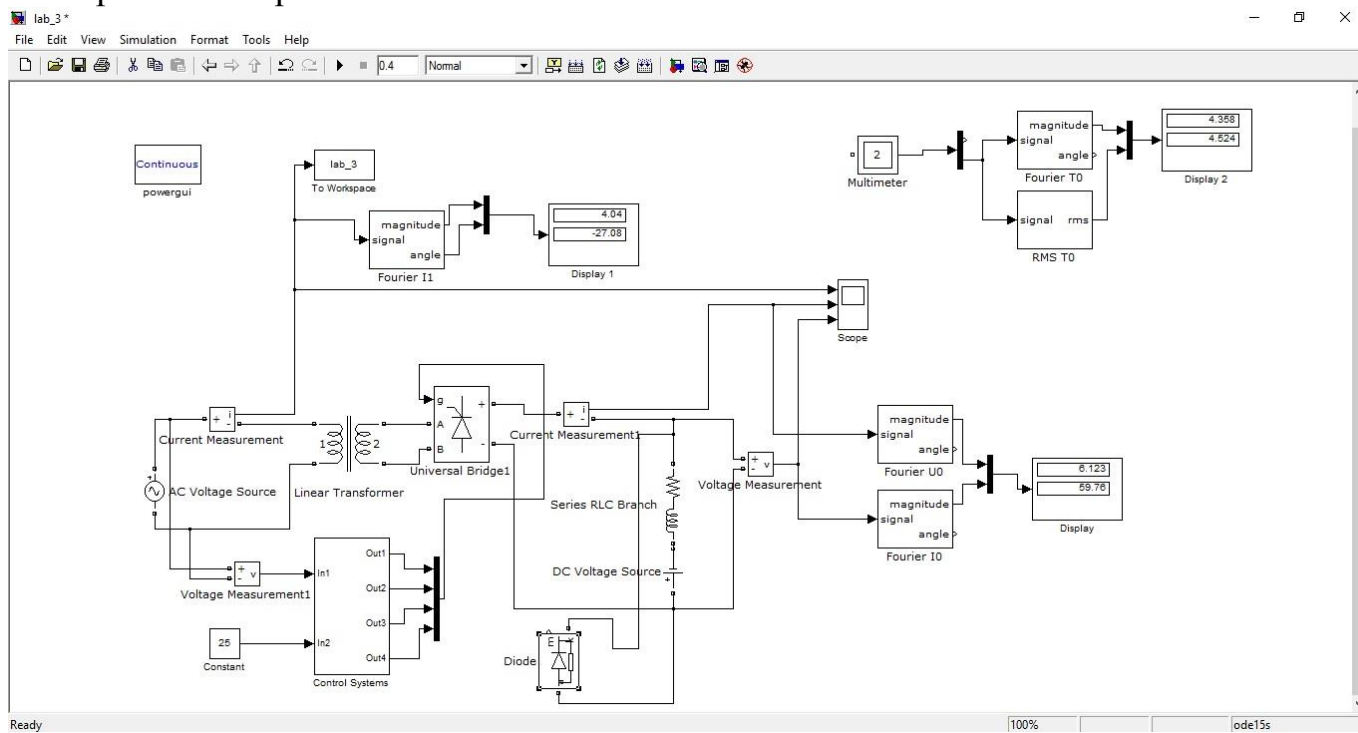


Рис. 2.21. Модель однофазного управляемого выпрямителя

Все перечисленные блоки (кроме двух последних) и их параметры повторяют те, которые были рассмотрены в лабораторной работе № 1.

Параметры тиристорного моста показаны на рис. 2.22.

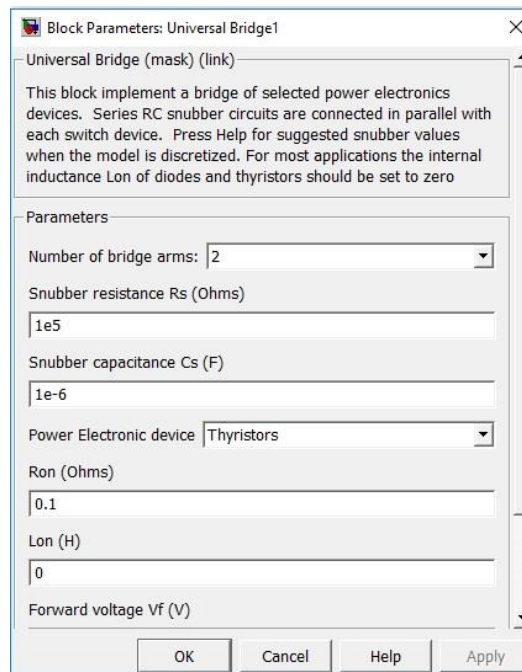


Рис. 2.22. Окно настройки управляемого выпрямителя

Модель блока управления (*Control system*) показана на рис. 2.23.

На вход *In1* блока поступает синхронизирующий сигнал от сети и сигнал задания угла управления (вход *In2*).

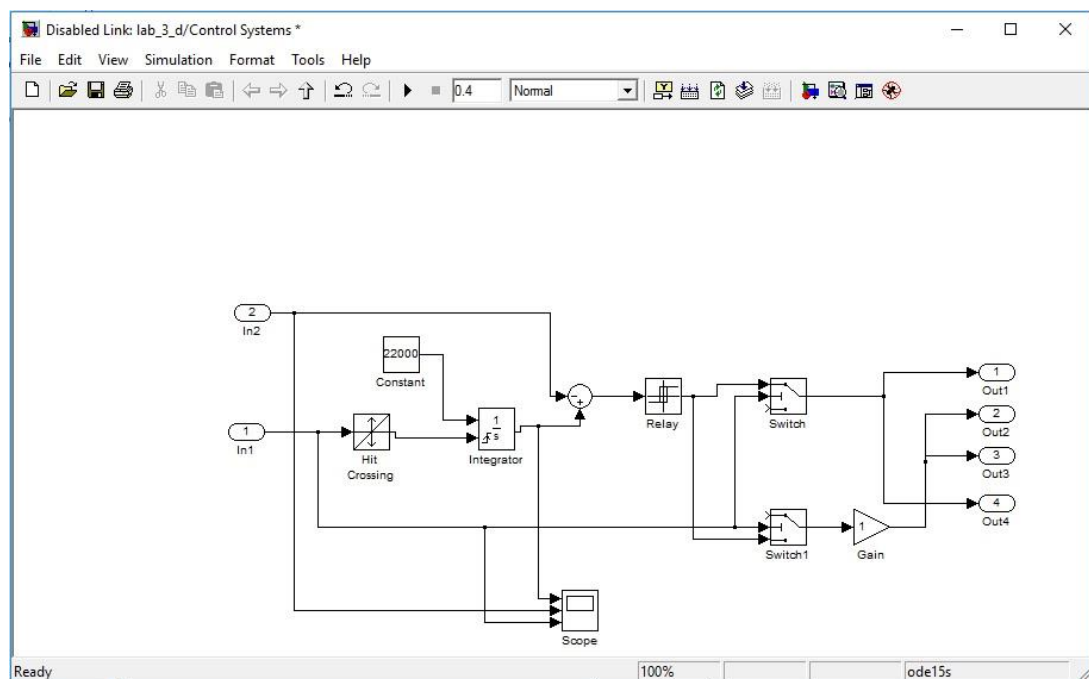


Рис. 2.23. Модель блока управления

Блок *To Workspace* предназначен для передачи исследуемого сигнала в рабочее пространство MatLab с последующей обработкой пакетом расширения *Signal Processing Toolbox* для исследования гармонического спектра тока потребления. Окно настройки параметров блока показано на рис. 2.24.

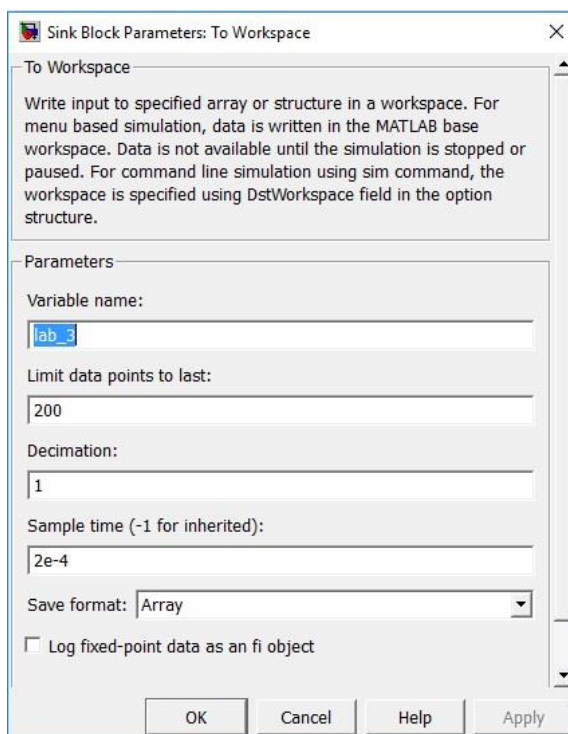


Рис. 2.24. Окно настройки параметров блока To Workspace

В первое поле окна настройки введено название переменной, под которой измеренный вектор будет фигурировать в рабочем пространстве. Во втором поле определена длина вектора (количество записанных значений исследуемой переменной). Длина вектора должна быть связана как с частотой (периодом) исследуемого сигнала, так и с временем поля *Sample time*. Частота исследуемого сигнала в рассматриваемом случае равна 50 Гц (период 0,02 с). При времени считывания сигнала $2e-4$ на периоде считывается 100 точек. Из этого следует, что в рабочую область при длине вектора 200 будут записаны два последних периода исследуемого сигнала. Следует подчеркнуть, что для получения спектра необходимо записывать в рабочую область не менее двух периодов. Следует также подчеркнуть, что время в поле *Sample Time* должно быть согласовано с шагом моделирования в окне параметров моделирования (рис. 2.25). Формат вектора устанавливается в нижнем поле окна.

5. Порядок проведения лабораторной работы

Исследование однофазного управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с обратным диодом проводится на виртуальной установке (рис. 2.21), подробное описание которой приведено выше.

В поле *Stop time* задается время в секундах. В поле *Max step size* устанавливается значение шага моделирования, это же значение заносится в поле *Sample time* всех блоков, которые это поле имеют. В оставшихся полях можно оставить то, что компьютер устанавливает по умолчанию.

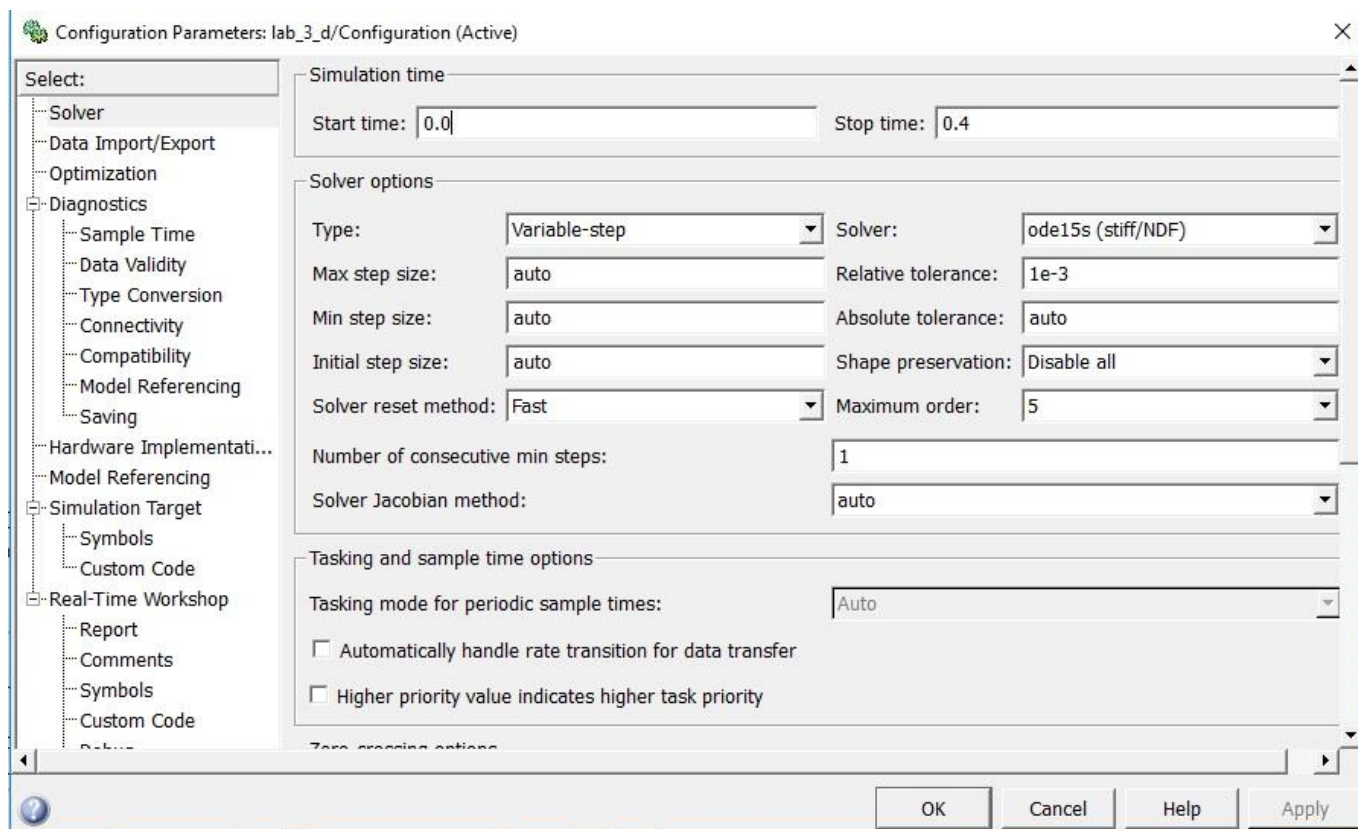


Рис. 2.25. Окно настройки параметров моделирования

5.1 Исследование внешних и энергетических характеристик

При снятии внешних характеристик параметры R , L нагрузки остаются без изменений, изменяется противо-э.д.с. нагрузки от — 100 В до 0 В с шагом 20 В. Внешние характеристики снимаются для трех значений угла управления выпрямителем ($\alpha = 0^\circ, 40^\circ, 60^\circ$).

При этом моделирование проводится для каждого значения противо-э.д.с. и угла управления. Результаты моделирования заносятся в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты моделирования

Данные		Измерения								Вычисления		
α	E	I_H	U_H	$I_1(I)_{max}$	φ_I	I_{T0}	I_T	U_{Dmax}	I_{Dmax}	$S_1(I)$	$P_1(I)$	P_H
град	В	А	В	А	град	А	А	В	А	ВА	Вт	Вт

Амплитуда первой гармоники в источнике питания и начальная фаза этого тока определяются по показаниям *Display 1*, ток и напряжение на нагрузке определяются по показаниям *Display*. Мгновенные значения этих величин можно наблюдать на экране осциллоскопа (рис. 2.26).

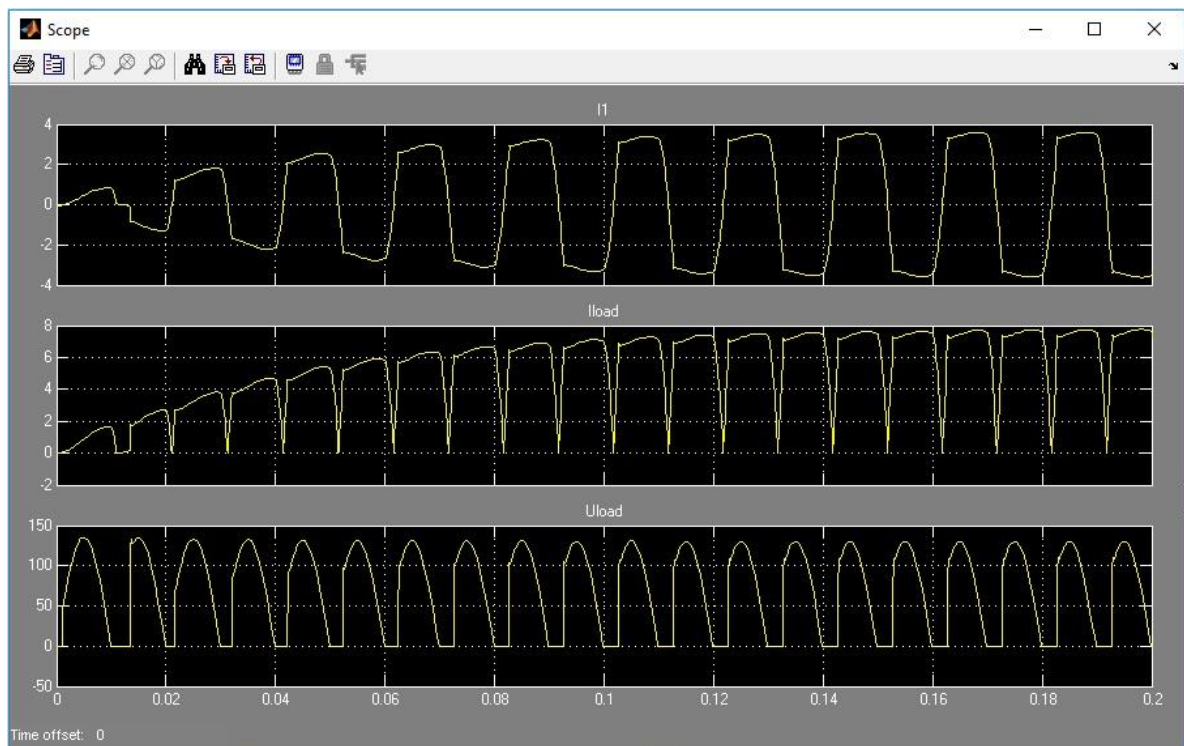


Рис. 2.26. Мгновенные токи и напряжения управляемого выпрямителя

В графическом окне блока *Multimeter* (рис. 2.27) наблюдаются и определяются максимальные напряжения и ток тиристора управляемого выпрямителя. Средний I_{T0} и I_T эффективный ток тиристора определяются по показаниям *Display 2*.

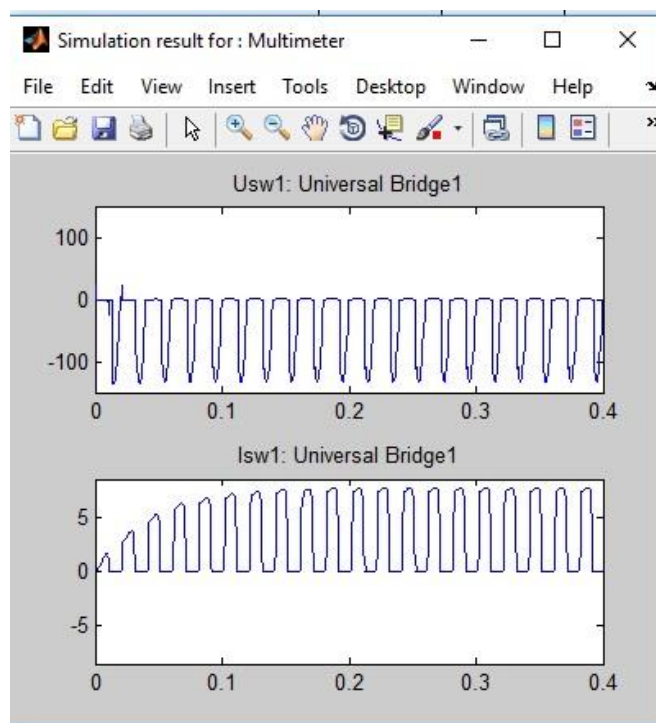


Рис. 2.27. Напряжения и ток на тиристоре УВ

Полная и активная мощность по первой гармонике, потребляемая выпрямителем из сети, рассчитываются по выражениям:

$$S_1(1) = \frac{U_{1.\max} I_{1.\max}(1)}{2} \text{ (BA)} \quad P_1(1) = S_1(1) \cos \varphi_1 \text{ (Bm)}.$$

Мощности в нагрузке определяются выражением

$$P_H = U_H I_H \text{ (Bm)}.$$

Потери в тиристоре УВ рассчитываются по выражению:

$$P_T = U_{SW} I_{T0} + I_T^2 R_{on} \text{ (Bm)},$$

где U_{SW} – максимальное напряжение на тиристоре управляемого выпрямителя, определяется в графическом окне блока *Multimeter* (рис.2.27); R_{on} – динамическое сопротивление тиристора в открытом состоянии, выбирается согласно окна настройки параметров управляемого выпрямителя (рис. 2.22) .

По результатам табл. 1 строятся:

- 1) внешняя (нагрузочная) характеристика управляемого выпрямителя $U_H = f(I_H)$;
- 2) энергетические характеристики управляемого выпрямителя $S_I(I)$, $P_I(I)$, $P_T = f(P_H)$;
- 3) энергетические характеристики управляемого выпрямителя $I_I(I)_{\max}$, I_{T0} , $I_T = f(I_H)$.

5.2 Исследование регулировочных характеристик

Исследование регулировочной характеристики управляемого однофазного выпрямителя осуществляется на модели (рис. 2.21) при одном значении противо-эдс и изменении угла управления от 0 до 180 градусов с шагом 20 градусов. Моделирование осуществляется при каждом значении угла управления, при этом заполняется табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты моделирования

Измерения	
α (град)	U_H (В)

Исследование спектрального состава тока потребления управляемым выпрямителем осуществляется при одном значении угла управления (задается преподавателем) в пакете расширения *Signal Processing Toolbox*. Подробное описание интерактивных средств этого пакета расширения было дано в гл. 1. Используя средства просмотра сигнала, записанного в рабочую область под именем *Lab_3*, можно просмотреть исследуемый сигнал (рис. 2.28).

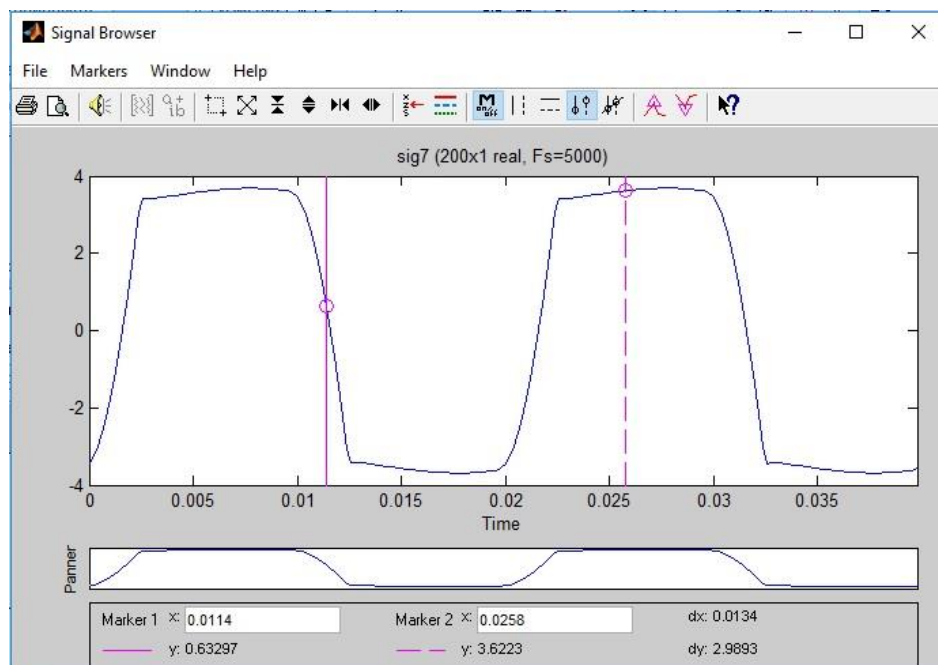


Рис. 2.28. Ток в цепи питания УВ

В данном случае записано два последних периода исследуемого сигнала, о чем уже говорилось выше. Спектральный состав тока показан на рис. 2.29. Для определения абсолютных значений гармонических составляющих в амперах следует воспользоваться формулой:

$$I_1(v)_{\max} (A) = \frac{y_v}{y_1} I_1(1)_{\max}.$$

где v - номер гармоники, $I_1(v)$ – амплитуда тока v -ой гармоники в амперах, y_1 , y_v — значения, определенные из рис. 2.29, $I_1(1)_{\max}$ — ток, считанный с дисплея в амперах. По результатам измерений и расчетов заполняется таблица 2.5.

Таблица 2.5

Результаты моделирования

Измерения			Вычисления
$\alpha(\text{град})$	$y_2 \dots y_v$	$I_1(1)_{\max} (A)$	$I_1(2)_{\max} \dots I_1(v)_{\max} (A)$

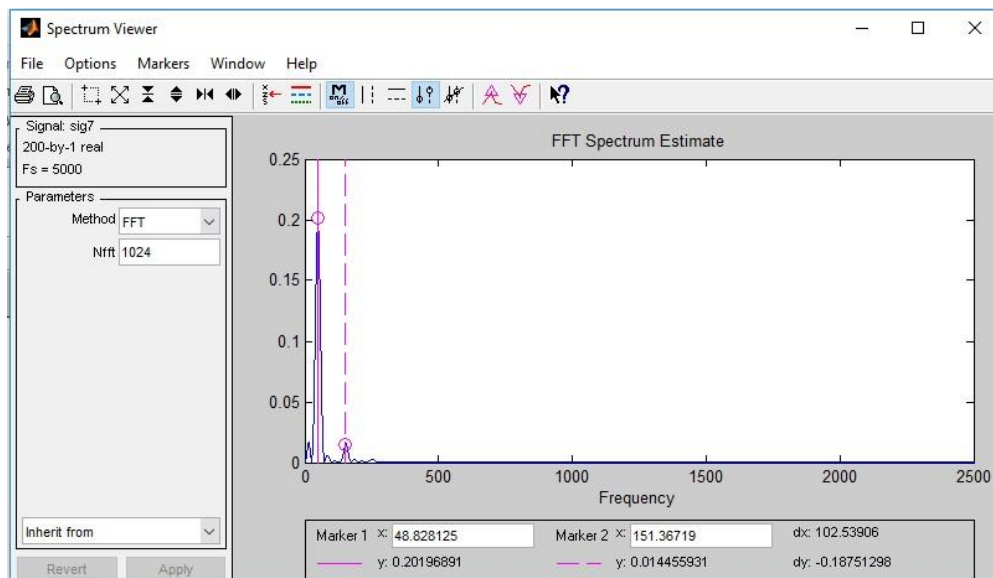


Рис. 2.29. Спектр тока питания УВ

6. Содержание отчета

- 1) схема виртуальной установки;
- 2) выражения для расчета основных характеристик;
- 3) мгновенные токи и напряжения УВ (экран осциллографа) при $\alpha = 0^\circ$, 30° , 40° , $E=0, 20, 40, 60, 80, 100$ В;
- 4) нагрузочная характеристика;
- 5) энергетические характеристики;
- 6) регулировочная характеристика;
- 7) выводы по работе.

Лабораторная работа №4.
**Исследование трехфазного двухполупериодного управляемого
выпрямителя**

1. Цель работы:

Исследования трехфазного двухполупериодного (мостового) управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-э.д.с. и с обратным диодом

2. Указания к выполнению работы

К выполнению лабораторной работы следует приступить после изучения соответствующих разделов учебной литературы [Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.]. В качестве дополнительной литературы рекомендуется воспользоваться [Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.].

3. Содержание работы [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

3.1 Исследование внешних и энергетических характеристик трехфазного управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-э.д.с. и обратным диодом.

3.2 Исследование регулировочных характеристик трехфазного управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-э.д.с. и обратным диодом.

3.3 Исследование гармонического состава тока потребления трехфазного управляемого выпрямителя.

4. Описание виртуальной лабораторной установки

Виртуальная лабораторная установка для исследований по п. 3.1 показана на рис. 2.30. Она содержит:

- 1) источник трехфазного синусоидального напряжения (*Three-Phase Source*);
- 2) активно-индуктивную нагрузку (*Series RLC Branch*) с противо-э.д.с. (*DC Voltage Source*);
- 3) обратный диод (*Diode*);
- 4) измерители мгновенных токов в источнике питания (*Current Measurement*) и нагрузке (*Current Measurement I*);
- 5) измеритель мгновенного напряжения на нагрузке (*Voltage Measurement*);
- 6) блок для измерения гармонических составляющих тока питания (*Fourier II*) и тока тиристора (*Fourier T0*);
- 7) блок для измерения гармонических составляющих тока нагрузки (*Fourier I0*) и аналогичный блок для измерения гармонических составляющих напряжения на нагрузке (*Fourier U0*);
- 8) блок для измерения действующего тока в тиристоре (*RMS T0*);

- 9) блок для наблюдения (измерения) мгновенных значений тока в цепи питания, тока нагрузки и напряжения на нагрузке (*Scope*);
- 10) блок для наблюдения (измерения) мгновенных значений величин, которые выбраны в поле *Measurement* соответствующих блоков *Multimeter*;
- 11) блок для измерения амплитудного значения тока и его фазы в цепи питания (*Display 1*);
- 12) блок для измерения средних значений тока и напряжения на нагрузке (*Display*);
- 13) блок для измерения среднего и действующего значения тока тиристора (*Display 2*);
- 14) трехфазный тиристорный мост (*Universal Bridge*);
- 15) библиотечный блок управления трехфазным выпрямителем (*Synchronized 6-Pulse Generator*).

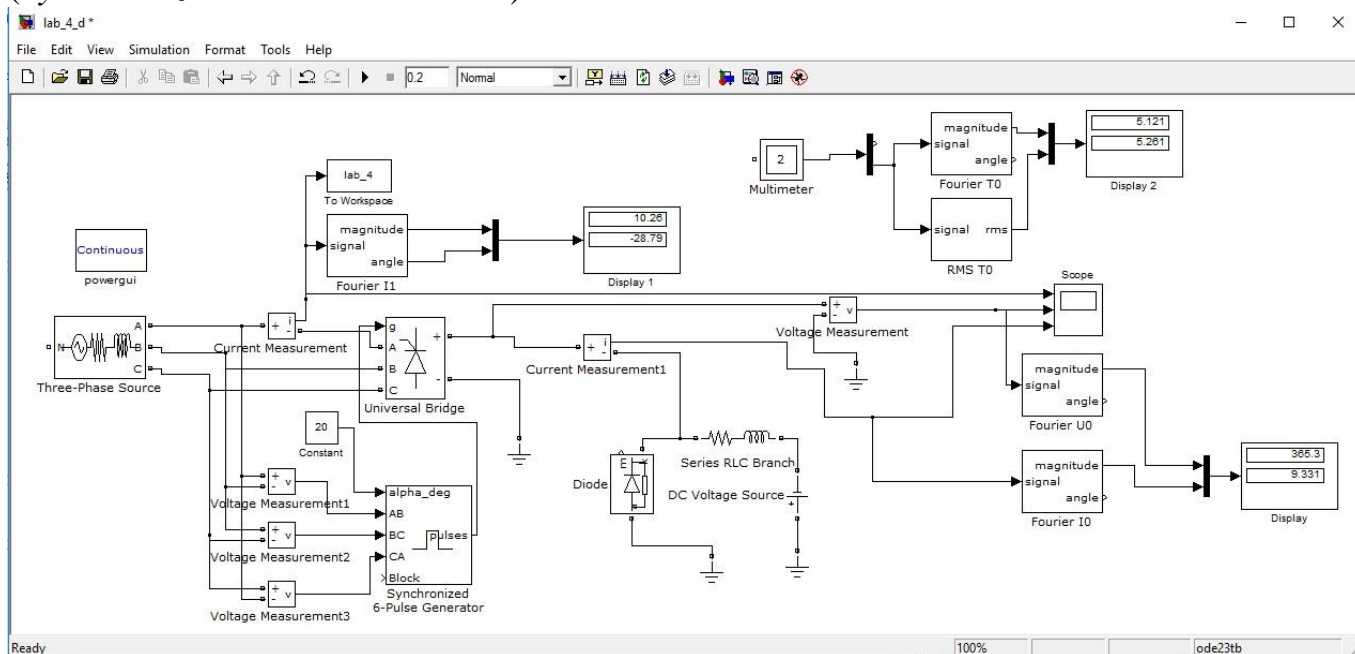


Рис. 2.30. Модель трехфазного управляемого выпрямителя

Все перечисленные блоки (кроме двух последних) и их параметры повторяют те, которые были рассмотрены в лабораторных работах № 2, № 3. Окно настройки параметров тиристорного моста приведено на рис. 2.31.

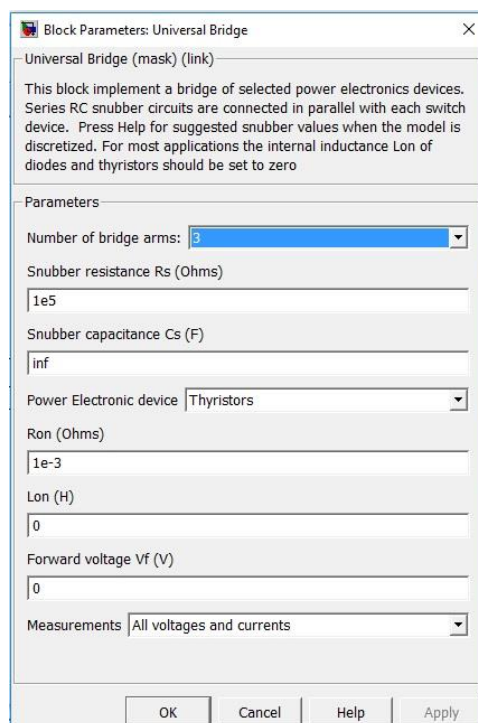


Рис. 2.31. Окно настройки управляемого выпрямителя

Окно настройки параметров блока управления показано на рис. 2.32. В поля окна вводится частота источника и длительность импульса управления в градусах. Последнюю величину следует согласовывать с сигналом управления (вход *alpha_deg* в блоке *Synchronized 6-Pulse Generator* рис. 2.30), так, чтобы сумма этих углов не превышала 120 градусов.

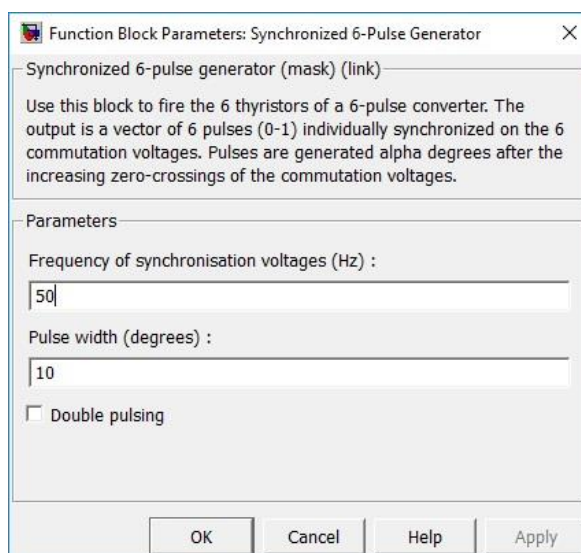


Рис. 2.32. Окно настройки параметров блока управления

На вход блока поступают синхронизирующие сигналы от сети и сигнал задания угла управления.

Блок *To Workspace* предназначен для передачи исследуемого сигнала в рабочее пространство MatLab с последующей обработкой пакетом

расширения *Signal Processing Toolbox*. Окно настройки параметров блока показано на рис. 2.33.

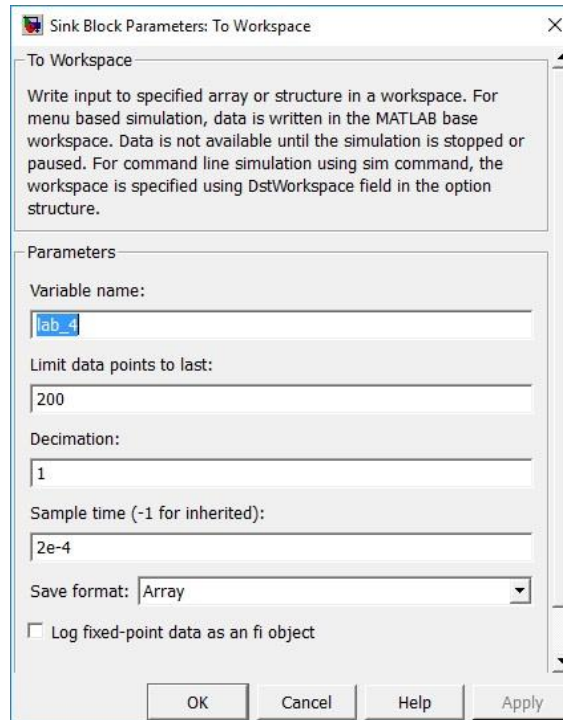


Рис. 2.33 Окно настройки параметров блока **To Workspace**

В первое поле окна настройки введено название переменной, под которой измеренный вектор будет фигурировать в рабочем пространстве. Во втором поле определена длина вектора (количество записанных значений исследуемой переменной). Длина вектора должна быть связана как с частотой (периодом) исследуемого сигнала, так и с временем поля *Sample time*. Частота исследуемого сигнала в рассматриваемом случае равна 50 Гц (период 0,02 с). При времени считывания сигнала 2e-4 на периоде считывается 100 точек. Из этого следует, что в рабочую область при длине вектора 200 будут записаны два последних периода исследуемого сигнала.

5. Порядок проведения лабораторной работы

Исследование трехфазного управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с обратным диодом по п. 3.1 содержания работы проводится на виртуальной установке (рис. 2.30), подробное описание которой приведено выше.

Параметры источника питания, нагрузки и тиристорного моста задаются преподавателем. При самостоятельном изучении их целесообразно задать такими же, как на рис. 2.6. лаб. раб. № 1, рис. 2.14 лаб. раб № 2 и рис. 2.31. Параметры моделирования задаются на вкладке *Simulation/Configuration Parameters* (рис. 2.34). В поле *Stop time* задается время в секундах. В поле *Max step size* устанавливается значение шага моделирования, это же значение заносится в поле *Sample time* всех блоков, которые это поле имеют. В

оставшихся полях можно оставить то, что компьютер устанавливает по умолчанию.

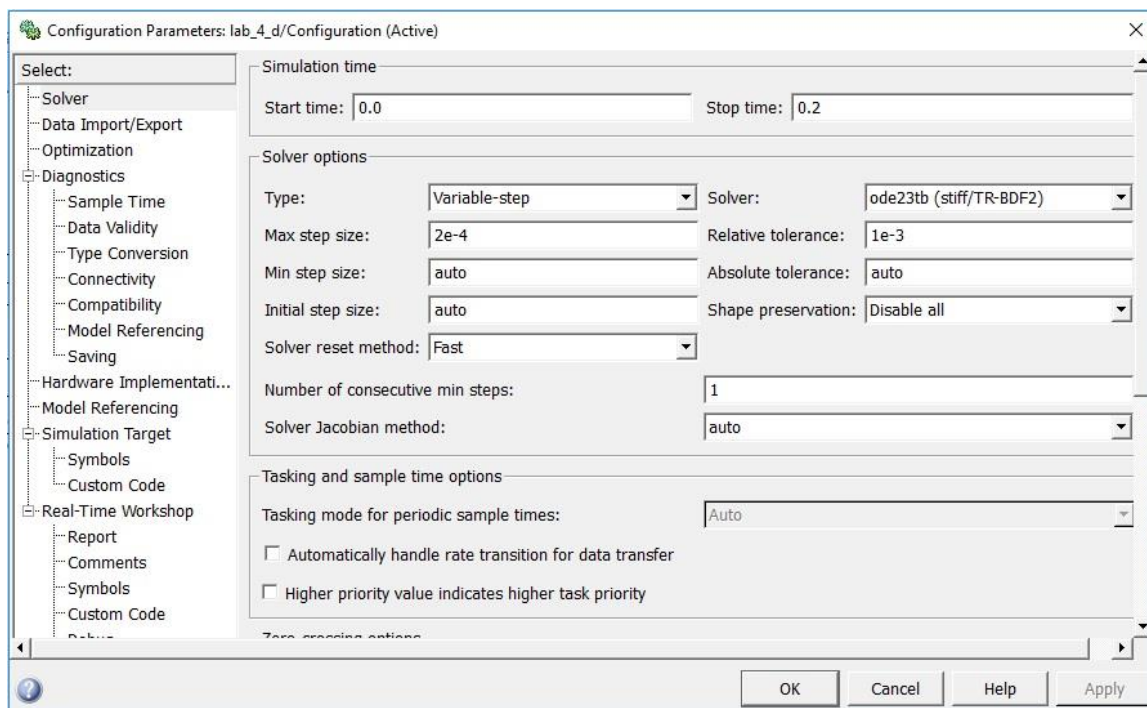


Рис. 2.34. Параметры моделирования

При снятии внешних характеристик параметры R , L нагрузки остаются без изменений, изменяется противо-э.д.с. нагрузки от -100 В до 0 В с шагом 20 В. Внешние характеристики снимаются для трех значений угла управления выпрямителем ($\alpha = 0^\circ, 40^\circ, 60^\circ$).

При этом моделирование проводится для каждого значения противо-э.д.с. и угла управления. Результаты моделирования заносятся в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Результаты моделирования

Данные		Измерения								Вычисления		
α	E	I_H	U_H	$I_L(I)_{max}$	φ_I	I_{TO}	I_T	$U_{D.max}$	$I_{D.max}$	$S_I(I)$	$P_I(I)$	P_H
Град	В	А	В	А	Град	А	А	В	А	ВА	Вт	Вт

Амплитуда первой гармоники в источнике питания и начальная фаза этого тока определяются по показаниям *Display 1*, ток и напряжение на нагрузке определяются по показаниям *Display*. Мгновенные значения этих величин можно наблюдать на экране осциллоскопа (рис. 2.35).

В графическом окне блока *Multimeter* (рис. 2.36) наблюдаются и определяются максимальные напряжение и ток тиристора управляемого выпрямителя.

Полная и активная мощность по первой гармонике, потребляемая выпрямителем из сети, рассчитываются по выражениям:

$$S_1(1) = \frac{3U_{1.\max} I_{1.\max}}{2} (BA) \quad P_1(1) = \frac{3U_{1.\max} I_{1.\max}}{2} \cos \varphi_1 (Bm) .$$

Мощность в нагрузке определяется по выражению:

$$P_H = U_H I_H (Bm) .$$

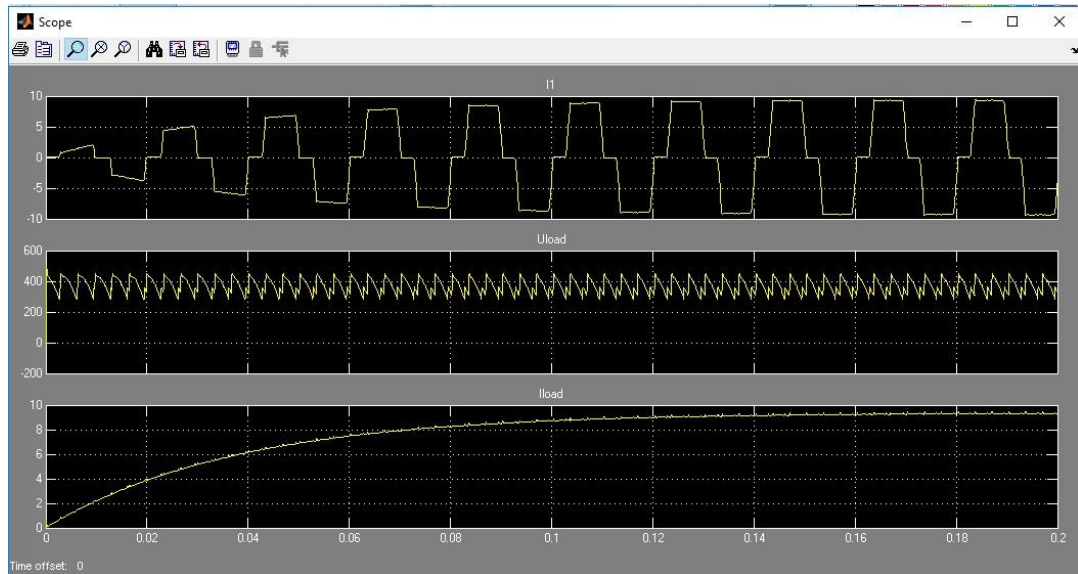


Рис. 2.35. Ток питания, ток нагрузки и напряжение на нагрузке УВ

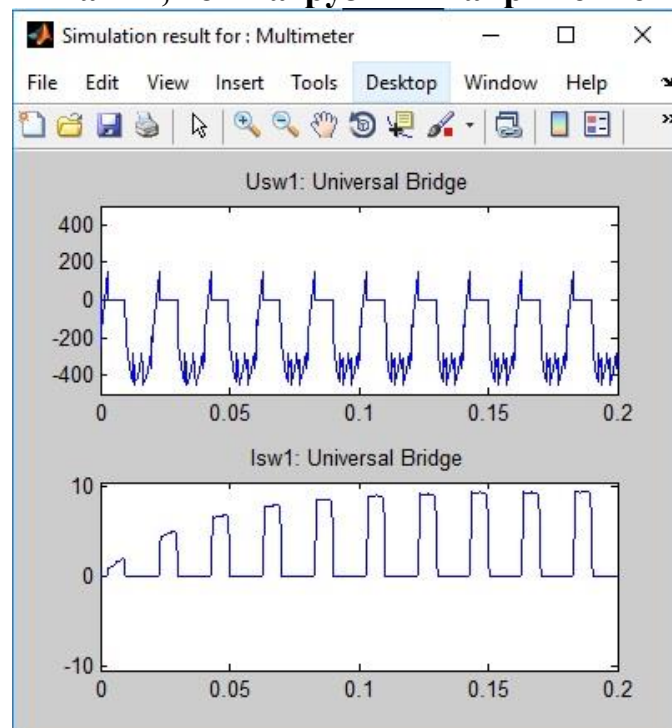


Рис. 2.36. Напряжение и ток тиристора УВ

Потери в тиристоре УВ рассчитываются по выражению:

$$P_T = U_f I_{TO} + I_r^2 R_{on} .$$

По результатам табл. 2.5 строятся:

1) внешняя (нагрузочная) характеристика управляемого выпрямителя $U_H = f(I_H)$;

2) энергетические характеристики управляемого выпрямителя $S_I(I)$, $P_I(I)$, $P_T = f(P_H)$;

3) энергетические характеристики управляемого выпрямителя $I_I(I_{max})$, I_{T0} , $I_T = f(I_H)$;

Исследование регулировочной характеристики управляемого трехфазного выпрямителя по п. 3.2 содержания лабораторной работы осуществляется на модели (рис. 2.28) при одном значении противо-э.д.с. (задается преподавателем) и изменении угла управления от 0 до 120 градусов с шагом 20 градусов. Моделирование осуществляется при каждом значении угла управления при этом заполняется табл. 2.6.

Таблица 2.6

Результаты моделирования

Измерения	
$\alpha(\text{град})$	$U_H(\text{В})$

Исследование спектрального состава тока потребления управляемым выпрямителем осуществляется при одном значении угла управления (задается преподавателем) в пакете расширения *Signal Processing Toolbox*. Подробное описание интерактивных средств этого пакета расширения было дано в гл. 1. Используя средства просмотра сигнала, записанного в рабочую область под именем *Lab_4*, можно просмотреть исследуемый сигнал (рис. 2.37).

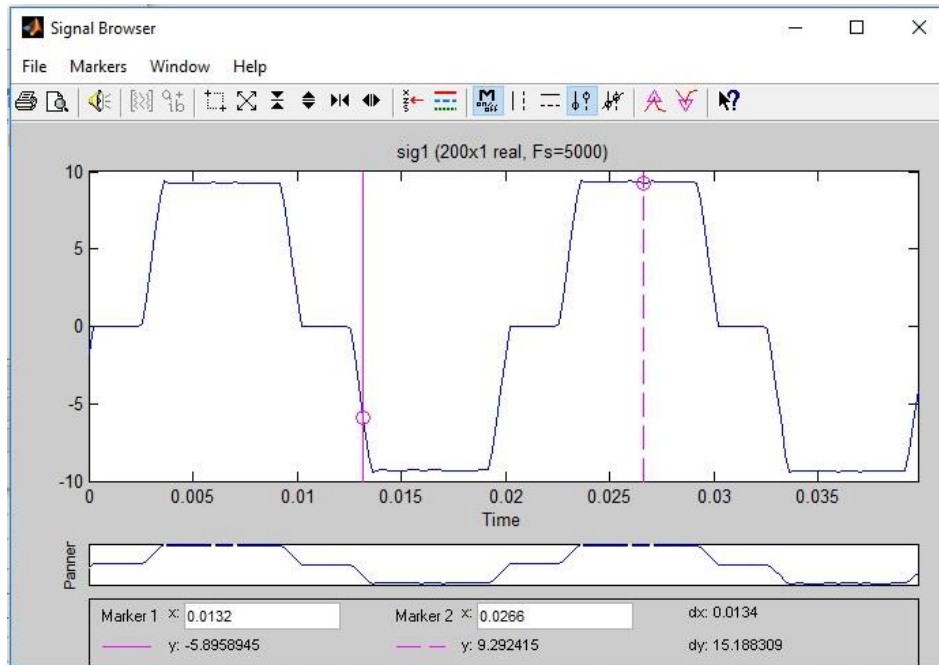


Рис. 2.37. Ток в цепи питания УВ

В данном случае записано два последних периода исследуемого сигнала, о чем уже говорилось выше. Спектральный состав тока показан на рис. 2.38. Для определения абсолютных значений гармонических составляющих в амперах следует воспользоваться формулой:

$$I_1(v)_{\max}(A) = \frac{y_v}{y_1} I_1(1)_{\max}.$$

где v - номер гармоники, $I_1(v)$ – амплитуда тока v -ой гармоники в амперах, y_1 , y_v — значения, определенные из рис. 2.38, $I_1(1)_{\max}$ — ток, считанный с дисплея в амперах. По результатам измерений и расчетов заполняется таблица 2.7.

Таблица 2.7

Результаты моделирования

Измерения			Вычисления
$\alpha(\text{град})$	$y_2 \dots y_v$	$I_1(1)_{\max}(A)$	$I_1(2)_{\max} \dots I_1(v)_{\max}(A)$

6. Содержание отчета

- 1) схема виртуальной установки;
- 2) выражения для расчета основных характеристик;
- 3) нагрузочная характеристика;
- 4) энергетические характеристики;
- 5) регулировочная характеристики;
- 6) выводы по работе.

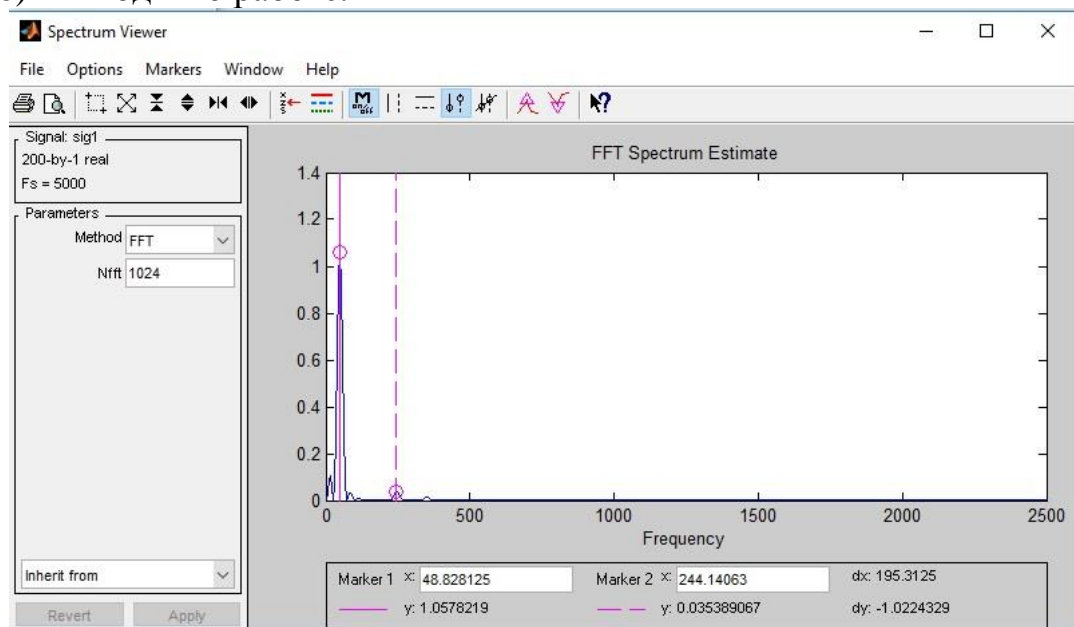


Рис. 2.38. Спектр тока питания УВ

Максимальный балл за лабораторные работы составляет 60, минимальный балл 40.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Нижекамский химико-технологический (институт) 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»**
Профиль подготовки **«Инновационные технологии в электрохозяйстве
нефтехимических предприятий»**

Вопросы к зачету по дисциплине
«Преобразовательная техника»

1. Полупроводниковые диоды
2. Транзисторы – биполярные, полевые и IGBT-транзисторы
3. Тиристоры – однооперационные и GTO-тиристоры
4. Трехфазный управляемый выпрямитель со средней точкой
5. Трехфазный мостовой управляемый выпрямитель
6. Энергетические показатели выпрямителей и методы их повышения
7. Индуктивный и емкостный сглаживающие фильтры
8. Зависимые инверторы
9. Автономные инверторы тока
10. Автономные инверторы напряжения
11. Широтно-импульсная модуляция
12. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока
13. Преобразователи частоты с непосредственной связью
14. Широтно-импульсные преобразователи постоянного тока
15. Устройства плавного пуска (импульсные регуляторы переменного напряжения)
16. Источники бесперебойного питания

Максимальный балл за зачет составляет 40, минимальный балл 20.