

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Электропривод и автоматизация
промышленных установок и технологических комплексов»

СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»

В 2 частях

Часть 1

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь по образованию
в области автоматизации технологических процессов,
производства и управления*

Минск
БНТУ
2013

УДК 621.314 (076.5)

ББК 32.96я7

С36

Составители:

Н. М. Улащик, Д. С. Васильев

Рецензенты:

В. П. Беляев, О. А. Головач

Силовая преобразовательная техника : лабораторные работы С36 (практикум) для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» : в 2 ч. / Н. М. Улащик, Д. С. Васильев. – Минск : БНТУ, 2013– . – Ч. 1. – 56 с.

ISBN 978-985-550-308-9 (Ч. 1).

Представлены методические материалы, необходимые для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Силовая преобразовательная техника», касающиеся изучения однофазных и трехфазных выпрямителей, одноключевых широтно-импульсных преобразователей, тиристорных и транзисторных (импульсных) регуляторов напряжения, автономных инверторов напряжения.

УДК 621.314 (076.5)

ББК 32.96я7

ISBN 978-985-550-308-9 (Ч. 1)

ISBN 978-985-550-325-6

© Белорусский национальный
технический университет, 2013

Содержание

Лабораторная работа № 1 МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ.....	4
Лабораторная работа № 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ.....	12
Лабораторная работа № 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ.....	22
Лабораторная работа № 4 МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТРАНЗИСТОРАХ.....	33
Список использованных источников.....	45

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Цель работы: приобретение навыков работы в системе MATLAB – Simulink на примере моделирования однофазного однополупериодного выпрямителя; исследование электромагнитных свойств указанного выпрямителя.

Введение

Библиотека имитационного моделирования Simulink в системе MATLAB позволяет смоделировать процессы, происходящие в различных электротехнических устройствах и полупроводниковых преобразователях электрической энергии (ППЭЭ).

На основании принципиальных схем различных ППЭЭ с использованием блоков библиотеки Simulink, и в частности ее модуля SimPowerSystem, можно составить имитационные модели необходимых преобразователей и исследовать их электромагнитные свойства.

Угол открывания полупроводниковых вентилях типа тиристоров задаётся в модели с помощью блока Pulse Generator (из библиотеки Simulink→Sources). В поле «Period» окна этого блока указывается период следования импульсов в секундах, который определяется частотой питающего напряжения (0,02 с для 50 Гц). В поле «Pulse Width» задается длительность открывающего импульса в процентах от периода (10–20 %). Угол открывания указывается в поле «Phase Delay» в виде задержки времени следования импульсов и может быть задан, например, в виде выражения

$$t_{\Pi} = \frac{\alpha}{180^{\circ}} \cdot \frac{T_{\Pi}}{2},$$

где α – угол открывания;

T_{Π} – период следования импульсов.

Например, для $\alpha = 40^\circ$ и $T_{\Pi} = 0,02$ с в поле записывают:
 $40 / 180 * 0.02 / 2$.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Составить полные принципиальные электрические схемы однофазного однополупериодного неуправляемого и управляемого выпрямителей, работающих на активную и активно-индуктивную нагрузки, при питании от однофазной сети переменного тока.

2. На основании принципиальных схем с использованием блоков библиотеки Simulink, в частности модуля SimPower-System, составить имитационные модели исследуемых выпрямителей. Для этого:

2.1) ввести параметры напряжения источника питания, параметры диода, сопротивления R и индуктивности L нагрузки (задаются преподавателем), параметры защитной R - C цепи; в модели управляемого выпрямителя ввести параметры управляющих импульсов ГИ (угол открывания α задается преподавателем);

2.2) выбрать метод численного решения дифференциальных уравнений, шаг и время расчета; осуществить расчет.

3. В результате расчета получить кривые тока $i_n = f(t)$ и напряжения $u_n = f(t)$ нагрузки, кривые напряжения сети $u_1 = f(t)$, напряжения на диоде $u_{VD} = f(t)$ при активной и активно-индуктивной нагрузках.

4. По результатам расчетов:

4.1) сделать вывод о влиянии индуктивности L на форму кривой тока нагрузки $i_n = f(t)$;

4.2) аналитически рассчитать максимальное, действующее и среднее значение тока при активной нагрузке, среднее значение – при активно-индуктивной нагрузке, сравнить данные значения со значениями, полученными в результате моделирования;

4.3) проанализировать форму напряжения на диоде, указав значения напряжения на нем в открытом и закрытом состояниях.

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Полные принципиальные электрические схемы однофазного однополупериодного неуправляемого и управляемого выпрямителей, работающих на активную и активно-индуктивную нагрузки, при питании от однофазной сети переменного тока.

3. Имитационные модели однофазного однополупериодного выпрямителя с указанием введенных параметров напряжения источника питания, диода, R и L нагрузки, параметров защитной R - C цепи и параметров управляющих импульсов ГИ.

4. Графики напряжения сети $u_1 = f(t)$, тока $i_H = f(t)$ и напряжения $u_H = f(t)$ нагрузки, тока $i_{VD} = f(t)$ и напряжения $u_{VD} = f(t)$ диода при активной и активно-индуктивной нагрузках.

5. Вывод о влиянии индуктивности L на форму кривой тока нагрузки $i_H = f(t)$.

Исходные данные для моделирования: $\sim U_1 = 220$ В; $R_{нагр} = 44$ Ом.

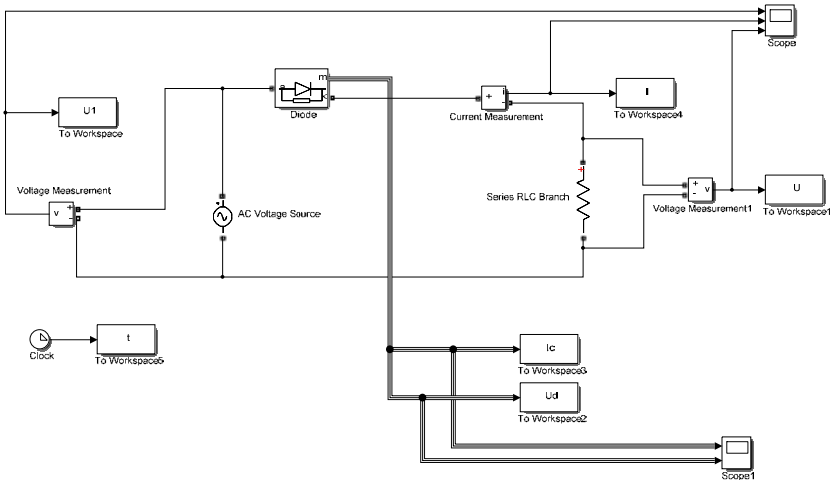


Рисунок 1.1 – Имитационная модель однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя

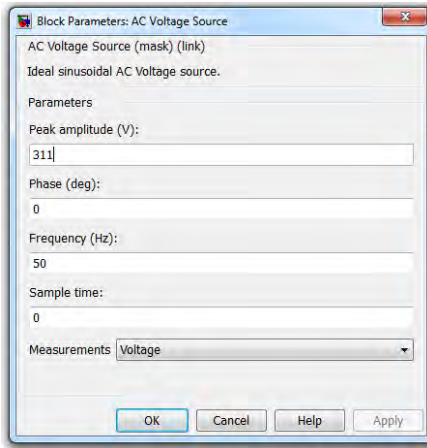


Рисунок 1.2 – Параметры настройки блока AC Voltage Source

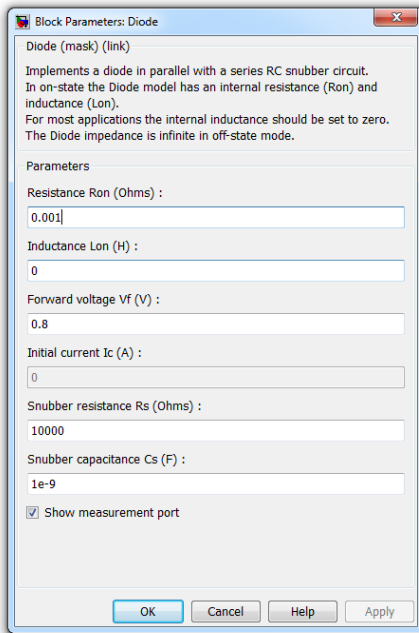


Рисунок 1.3 – Параметры настройки блока Diode

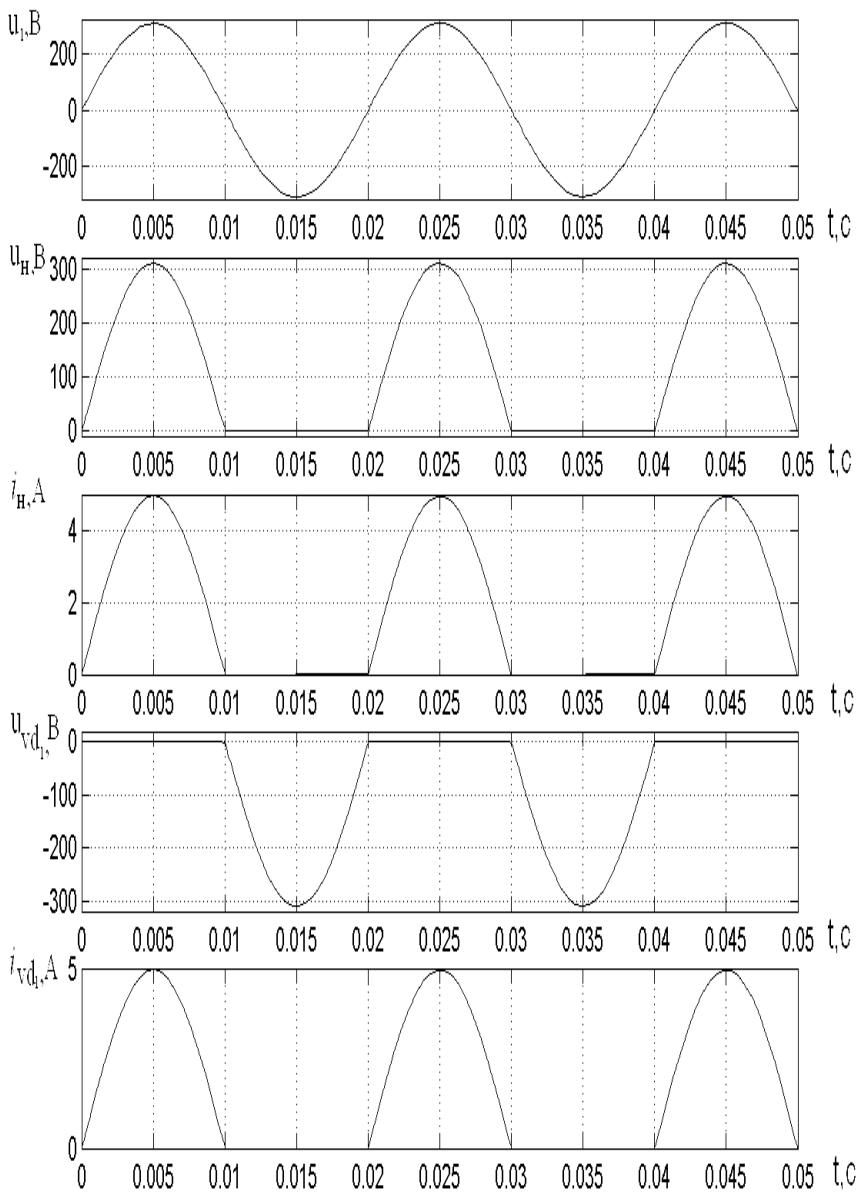


Рисунок 1.4 – Временные диаграммы работы однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя при работе на R нагрузку

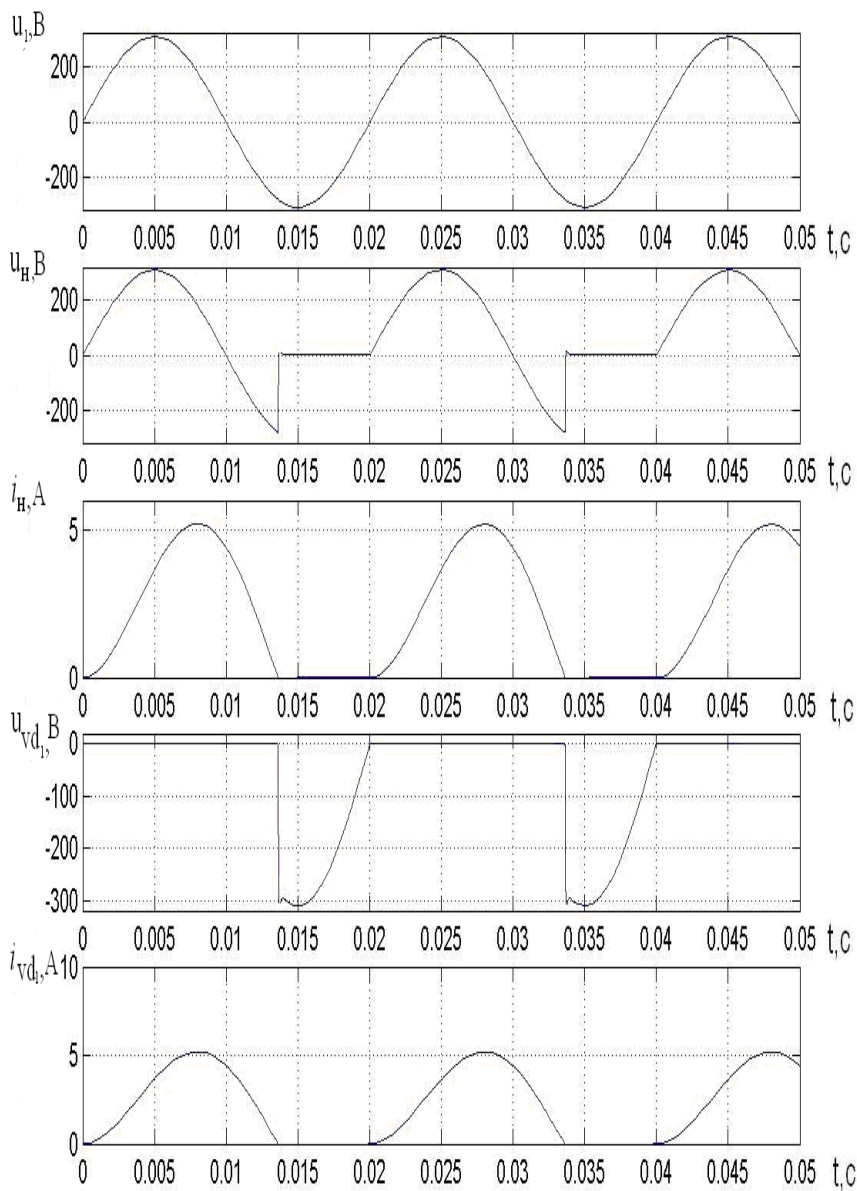


Рисунок 1.5 – Временные диаграммы работы однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя при работе на $R-L$ нагрузке

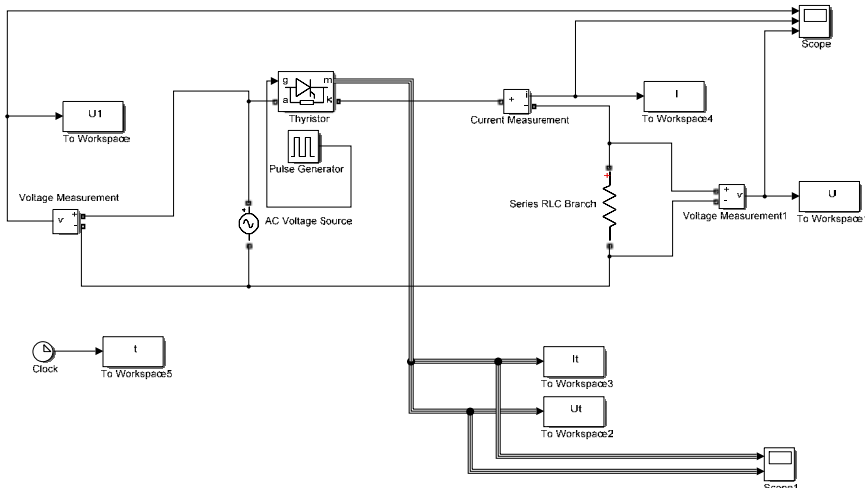


Рисунок 1.6 – Имитационная модель однофазного однополупериодного управляемого выпрямителя

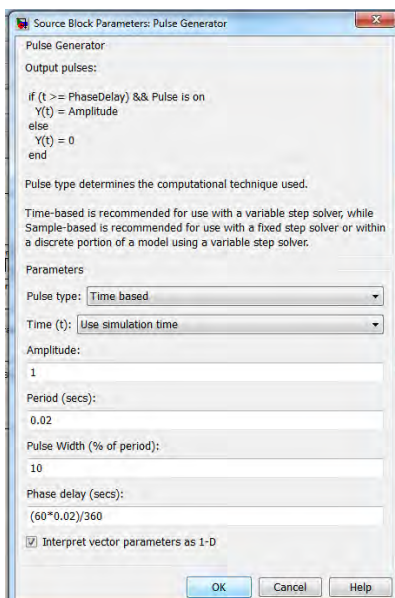


Рисунок 1.7 – Параметры настройки блока Pulse Generator (пример для $\alpha = 60^\circ$)

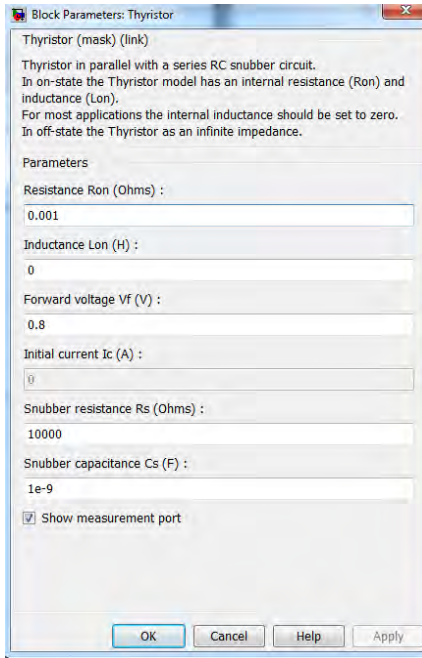


Рисунок 1.8 – Параметры настройки блока Thyristor

Параметры настройки блока AC Voltage Source аналогичны параметрам на рис. 1.2.

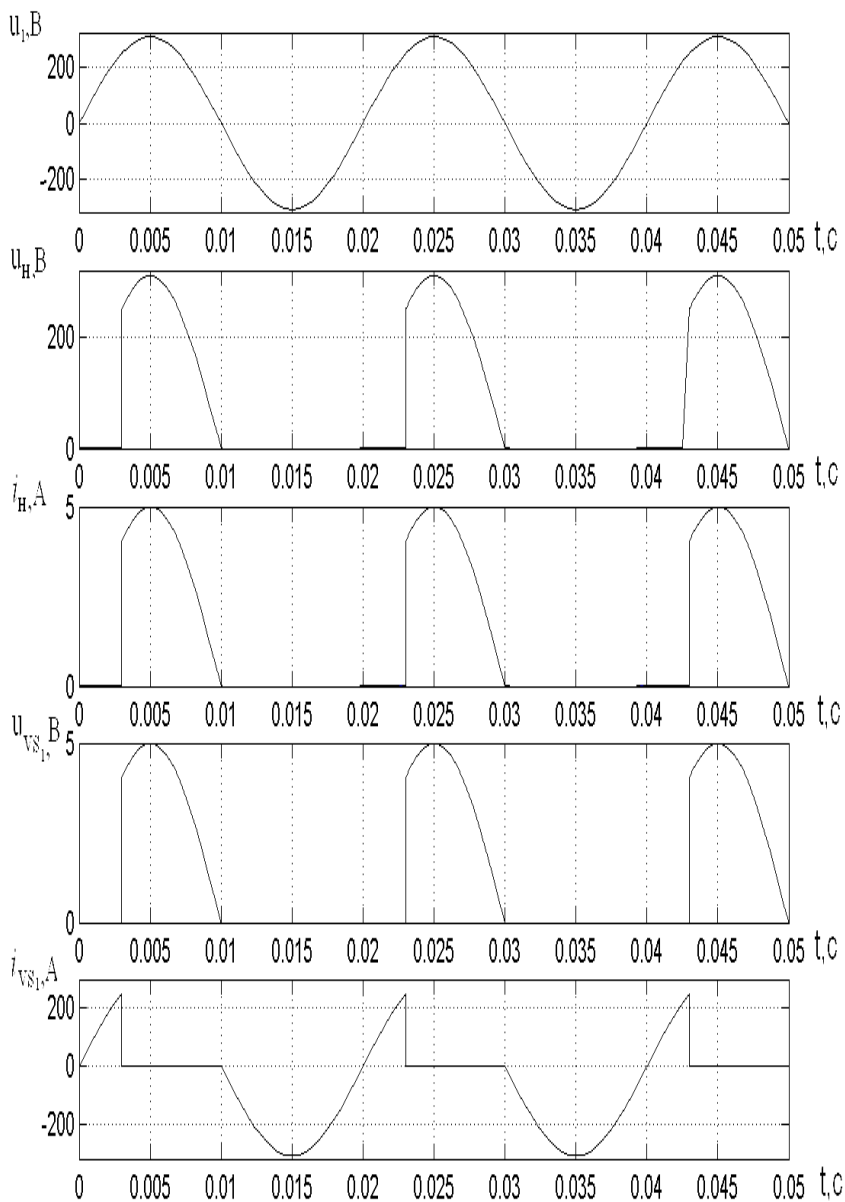


Рисунок 1.9 – Временные диаграммы работы однофазного однополупериодного управляемого выпрямителя при работе на R нагрузку

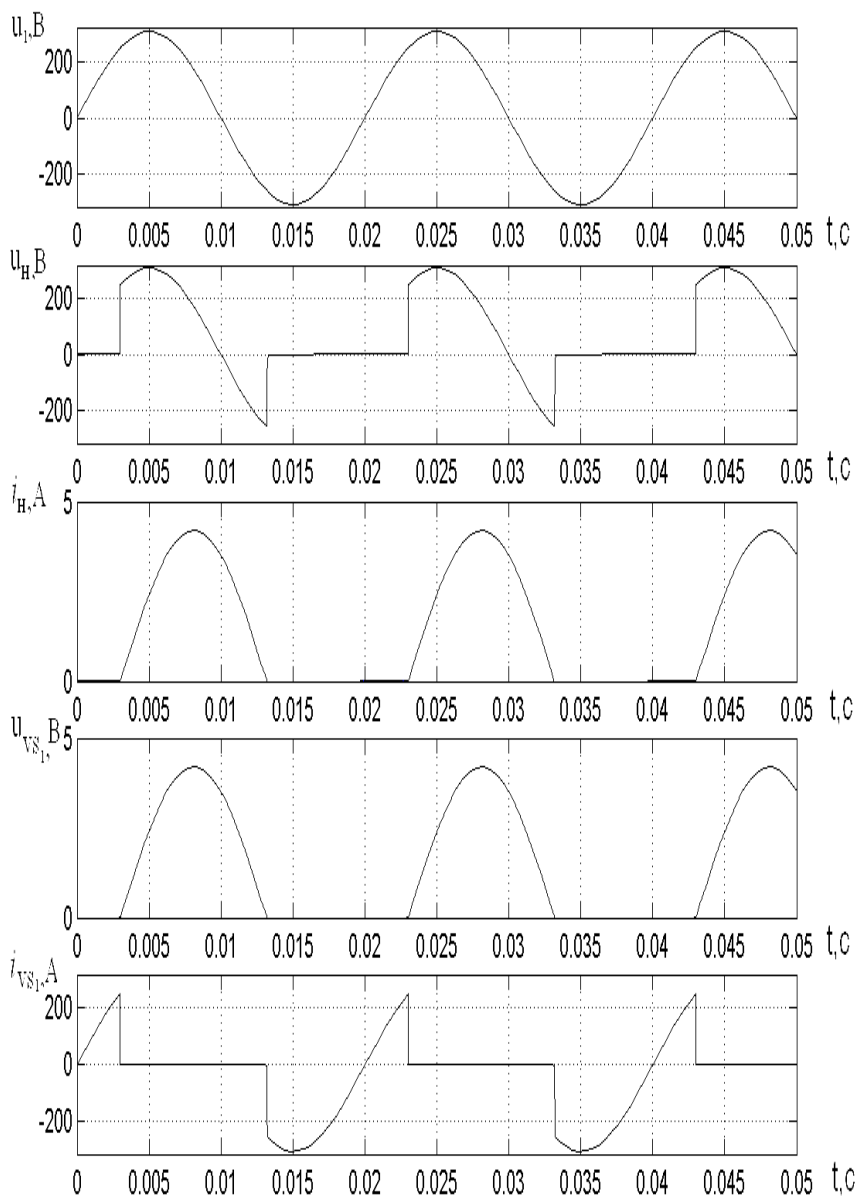


Рисунок 1.10 – Временные диаграммы работы однофазного однополупериодного управляемого выпрямителя при работе на $R-L$ нагрузке

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Цель работы: приобретение навыков работы в системе MATLAB – Simulink на примере моделирования однофазных выпрямителей (однофазного мостового симметрично управляемого, несимметрично управляемого и с симистором на стороне переменного тока); исследование электромагнитных свойств указанных выпрямителей.

Введение

Библиотека имитационного моделирования Simulink позволяет в системе MATLAB смоделировать процессы, происходящие в различных схемах ППЭЭ.

На основании принципиальных электрических схем с использованием блоков библиотеки Simulink, и в частности ее модуля SimPowerSystem, можно составить имитационные модели указанных преобразователей, выполнить необходимые расчеты и исследовать их электромагнитные свойства.

Угол открывания полупроводниковых вентилей задается с помощью блока Pulse Generator (библиотека Simulink→Sources). В поле «Period» указывается период следования импульсов в секундах, который определяется частотой питающего напряжения (0,02 с для 50 Гц). В поле «Pulse Width» задается длительность открывающего импульса в процентах от периода (10–20 %). Угол открывания указывается в поле «Phase Delay» в виде задержки времени следования импульсов и может быть задан, например, в виде выражения

$$t_{\Pi} = \frac{\alpha}{180^{\circ}} \cdot \frac{T_{\Pi}}{2},$$

где α – угол открывания;

T_{Π} – период следования импульсов.

Например, для $\alpha = 40^\circ$ и $T_{\Pi} = 0,02$ с в поле записывают:
 $40/180 * 0.02 / 2$.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Составить полные принципиальные электрические схемы выпрямителей: однофазного мостового симметрично управляемого, несимметрично управляемого и мостового выпрямителя с симистором на стороне переменного тока при питании от однофазной сети переменного тока, работающих на активную и активно-индуктивную нагрузки (схемы должны содержать датчик тока нагрузки и датчики напряжения: сети, на нагрузке, на диоде и на тиристоре (в схеме с управляемыми ключами)).

2. На основании принципиальных схем составить имитационные модели выпрямителей с использованием блоков библиотеки Simulink, в частности ее модуля SimPowerSystem:

2.1) ввести параметры напряжения источника питания, параметры силовых полупроводниковых приборов, сопротивления R и индуктивности L нагрузки (задаются преподавателем), параметры защитной R - C цепи; при составлении имитационной модели управляемого выпрямителя ввести параметры управляющих импульсов ГИ (угол открывания α задается преподавателем);

2.2) выбрать метод численного решения дифференциальных уравнений, шаг и время расчета;

2.3) осуществить расчет.

3. В результате расчета получить графики зависимости тока $i_{\text{н}} = f(t)$ и напряжения $u_{\text{н}} = f(t)$ нагрузки, графики зависимости напряжения сети $u_1 = f(t)$, напряжения на диоде $u_{\text{VD}} = f(t)$ (при управляемой схеме на диоде $u_{\text{VD}} = f(t)$ и на тиристоре $u_{\text{VS}} = f(t)$) при активной и активно-индуктивной нагрузках.

4. По результатам расчетов:

4.1) сделать вывод о влиянии индуктивности L и угла открывания α на форму кривой тока нагрузки $i_n = f(t)$;

4.2) аналитически рассчитать максимальное, действующее и среднее значение тока при активной нагрузке, среднее значение – при активно-индуктивной нагрузке, сравнить данные значения со значениями, полученными в результате моделирования;

4.3) проанализировать форму напряжения на диоде, указав значения напряжения на нем в открытом и закрытом состояниях.

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Привести полные принципиальные электрические схемы выпрямителей при питании от однофазной сети переменного тока, работающих на активную и активно-индуктивную нагрузки.

3. Имитационные модели выпрямителей с указанием введенных параметров напряжения источника питания, диода, R и L нагрузки, параметров защитной R - C цепи и параметров управляющих импульсов ГИ.

4. Графики зависимости тока $i_n = f(t)$ и напряжения $u_n = f(t)$ нагрузки, графики зависимости напряжения сети $u_1 = f(t)$, напряжения на диоде $u_{VD} = f(t)$ (при управляемой схеме на диоде $u_{VD} = f(t)$ и на тиристоре $u_{VS} = f(t)$) при активной и активно-индуктивной нагрузках.

5. Вывод о влиянии индуктивности L и угла α на форму кривой тока нагрузки $i_n = f(t)$.

Исходные данные для моделирования: $\sim U_1 = 220$ В, $R_{\text{нагр}} = 44$ Ом.

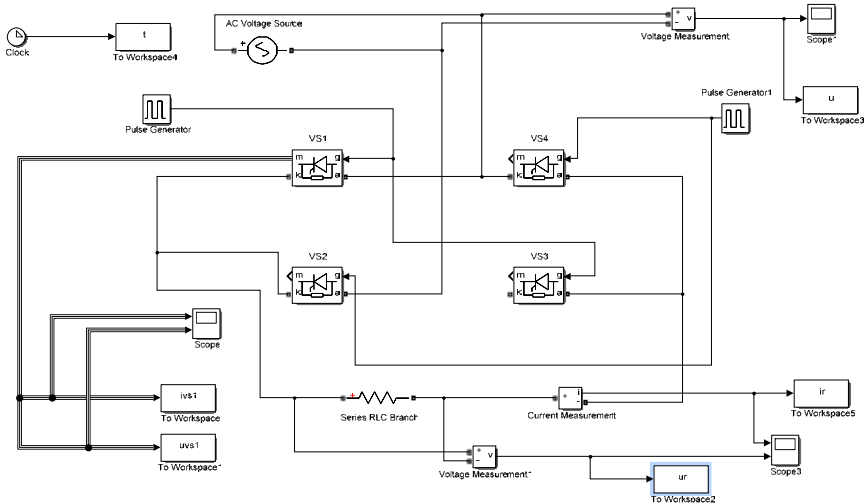


Рисунок 2.1 – Имитационная модель мостового симметрично управляемого выпрямителя

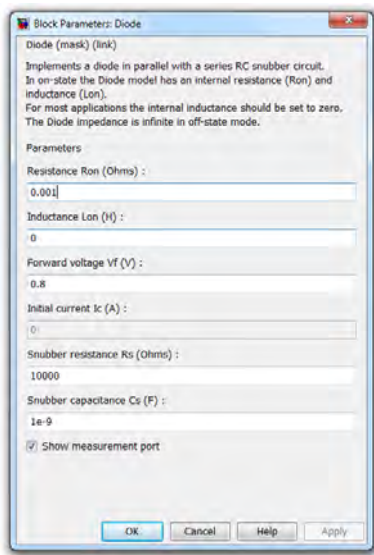
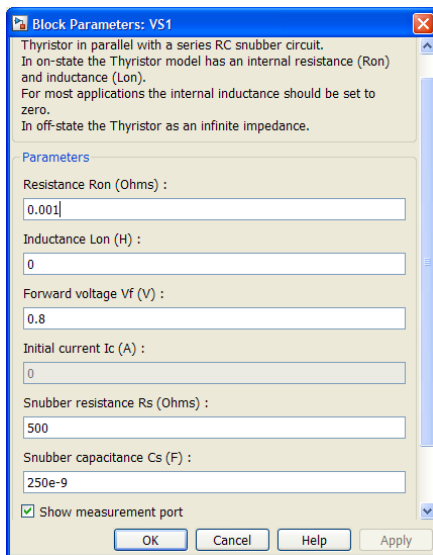


Рисунок 2.2 – Параметры настройки блоков тиристора VS1 и диода VD1

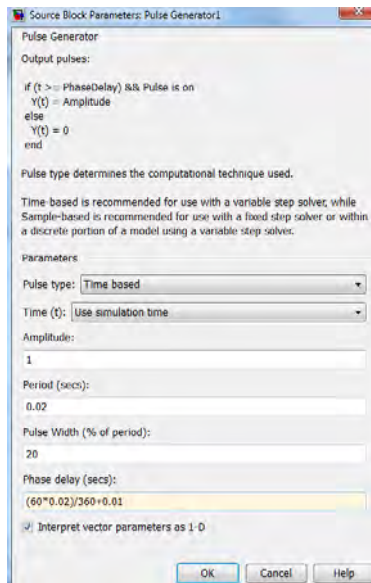
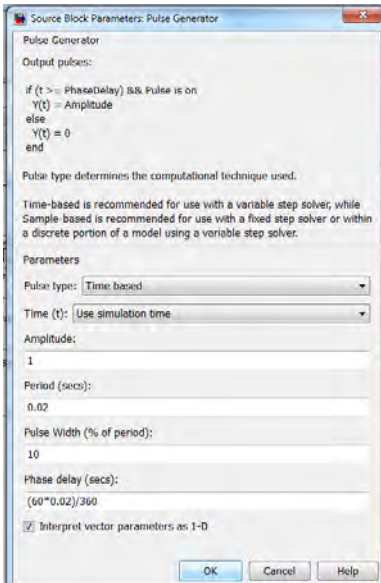


Рисунок 2.3 – Параметры настройки блоков Pulse Generator и Pulse Generator1 (пример для $\alpha = 60^\circ$)

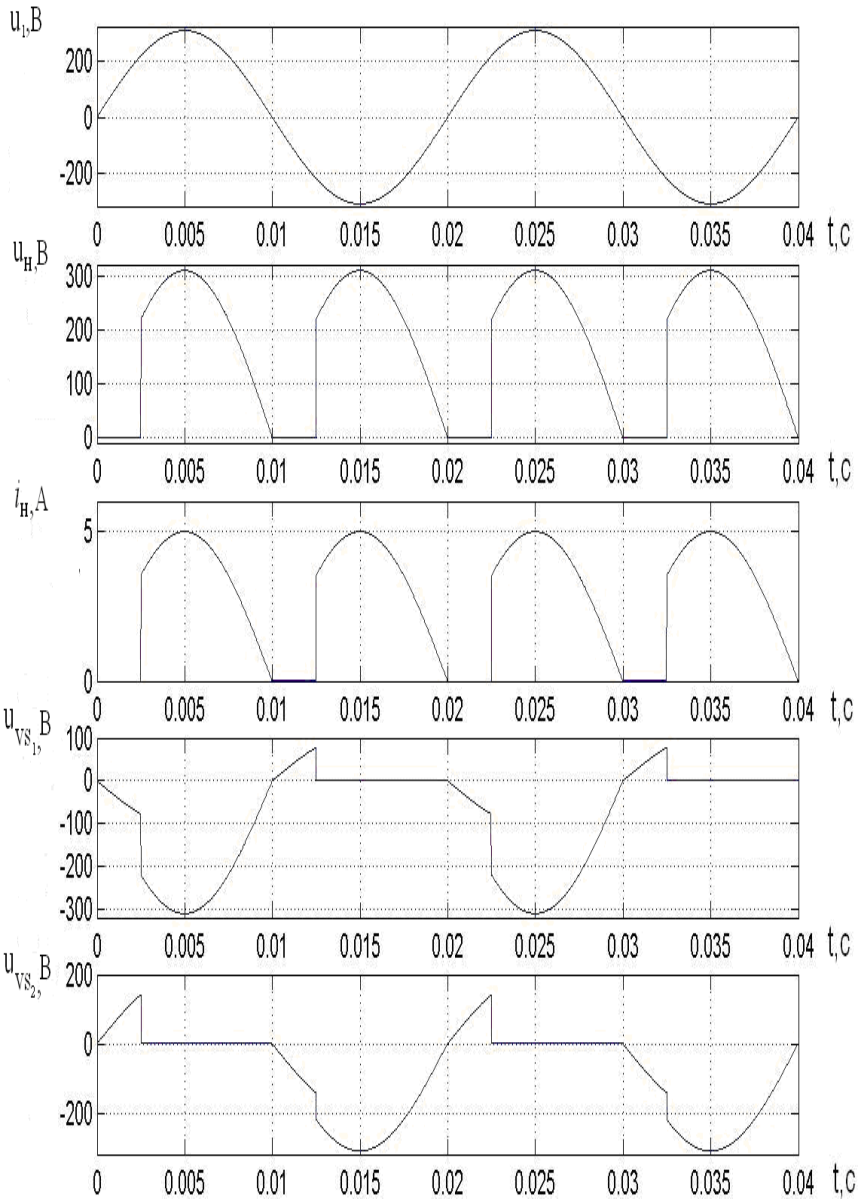


Рисунок 2.4 – Временные диаграммы работы однофазного мостового симметрично управляемого выпрямителя при работе на R нагрузке

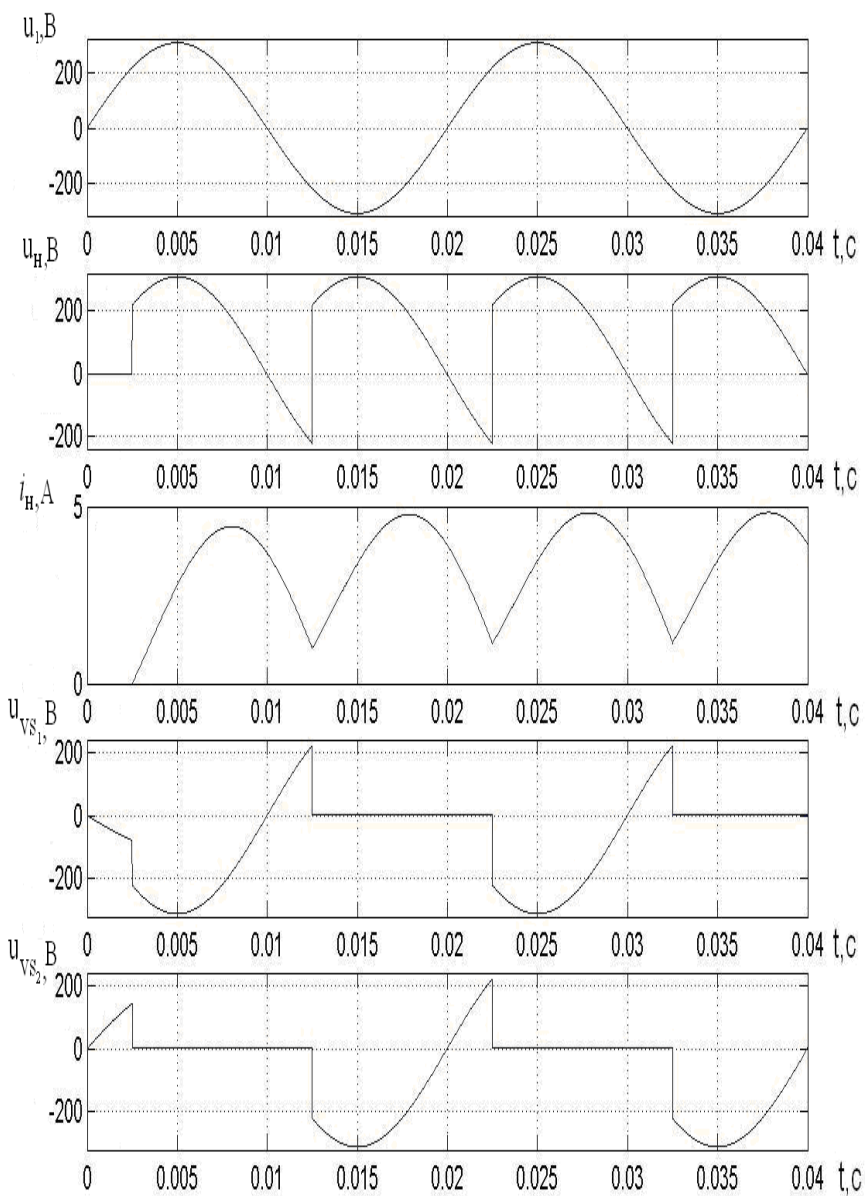


Рисунок 2.5 – Временные диаграммы работы однофазного мостового симметрично управляемого выпрямителя при работе на $R-L$ нагрузку

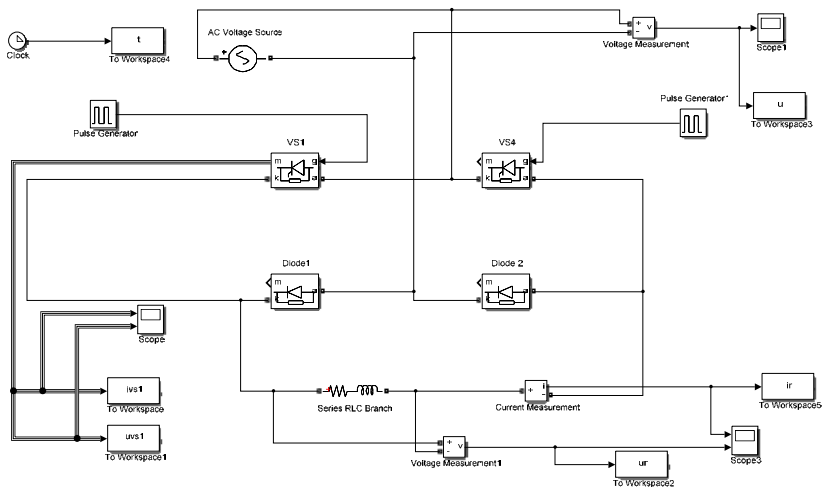


Рисунок 2.6 – Имитационная модель однофазного мостового несимметрично управляемого выпрямителя

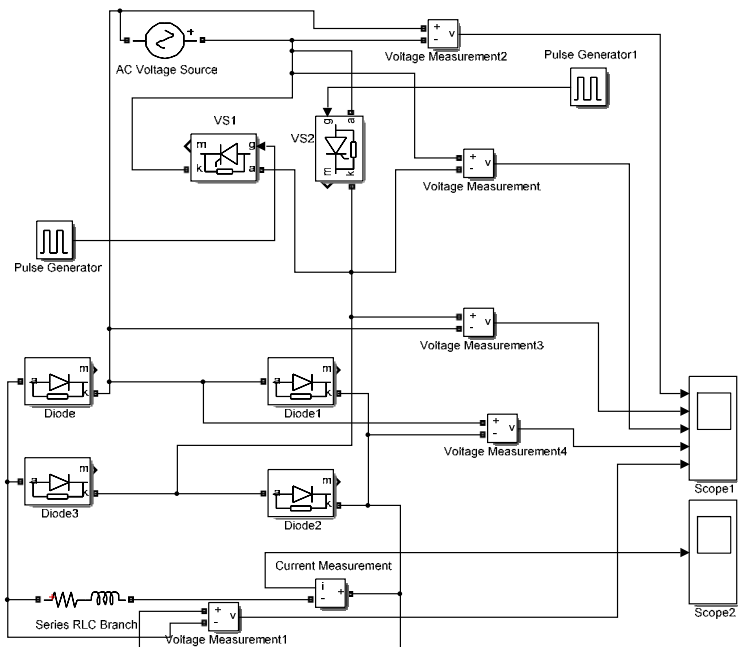


Рисунок 2.7 – Имитационная модель однофазного мостового выпрямителя с регулированием напряжения на стороне переменного тока

Параметры настройки блоков Diode1...Diode4 и тиристоров VS1, VS2 аналогичны приведенным на рис. 2.2. Параметры настройки блоков Pulse Generator и Pulse Generator 1 также аналогичны показанным на рис. 2.3 (для $\alpha = 60^\circ$).

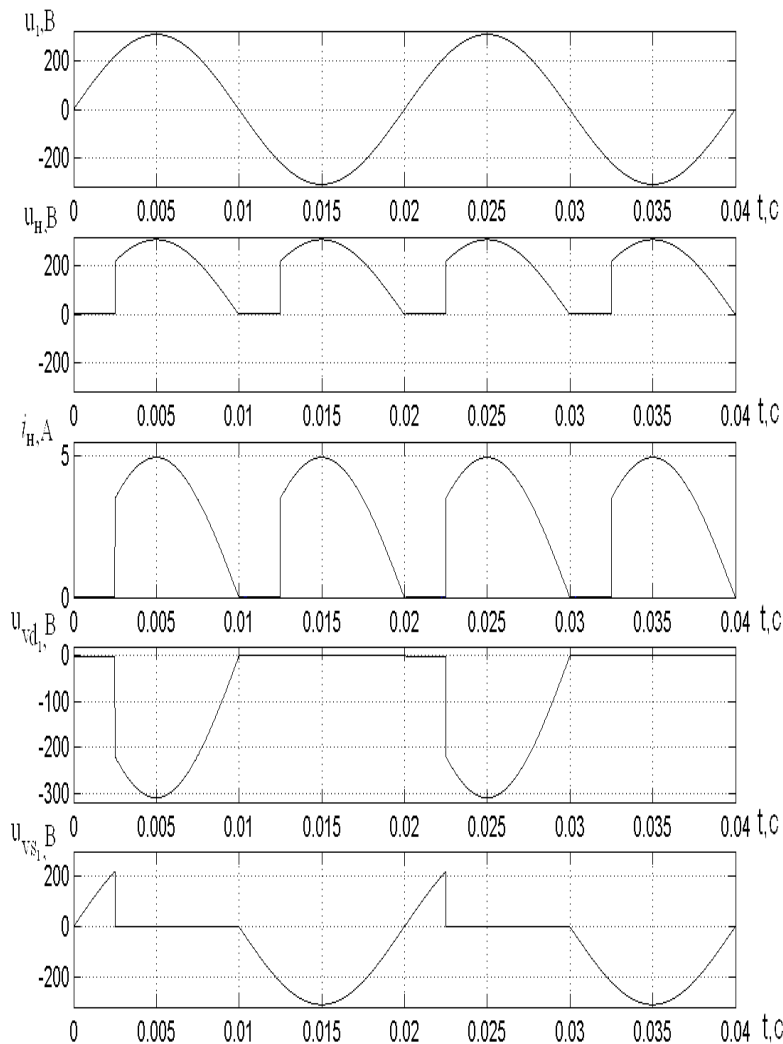


Рисунок 2.8 – Временные диаграммы работы однофазного мостового несимметрично управляемого выпрямителя при работе на R нагрузке

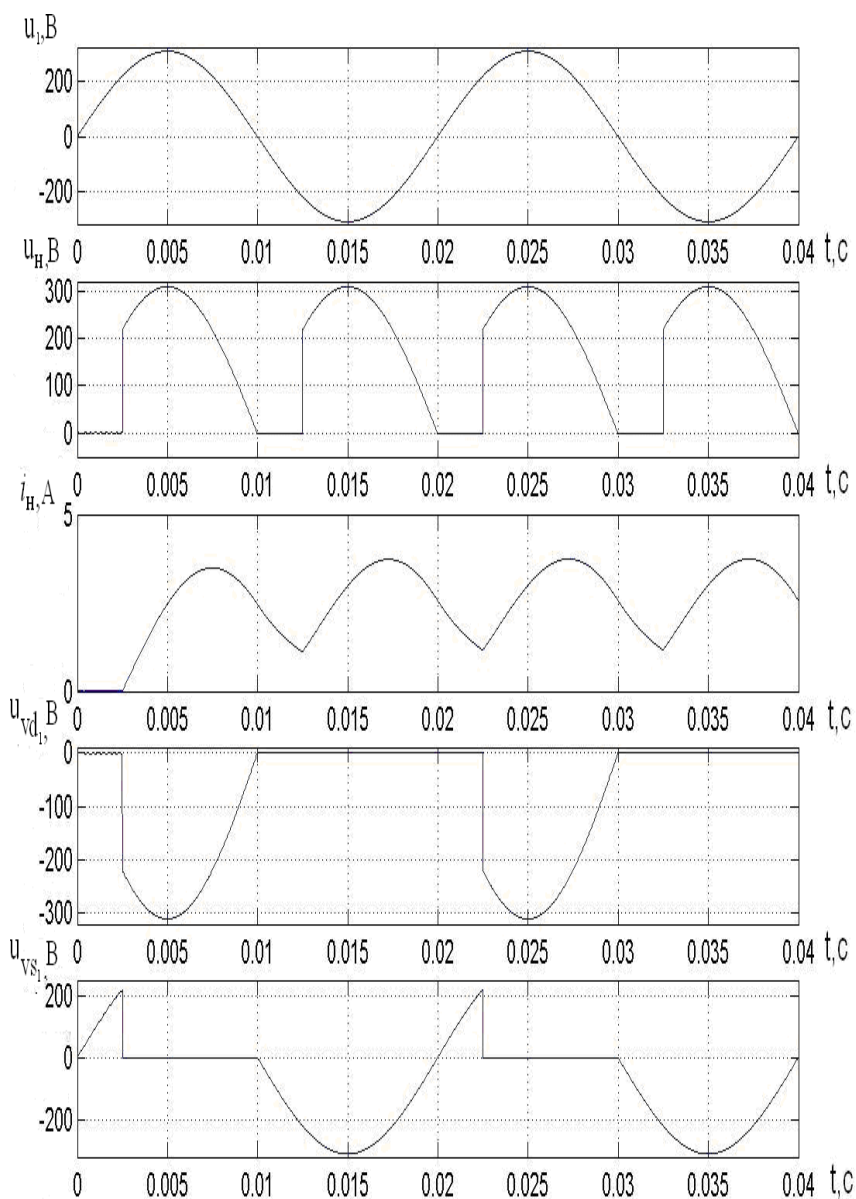


Рисунок 2.9 – Временные диаграммы работы однофазного мостового несимметрично управляемого выпрямителя при работе на $R-L$ нагрузке

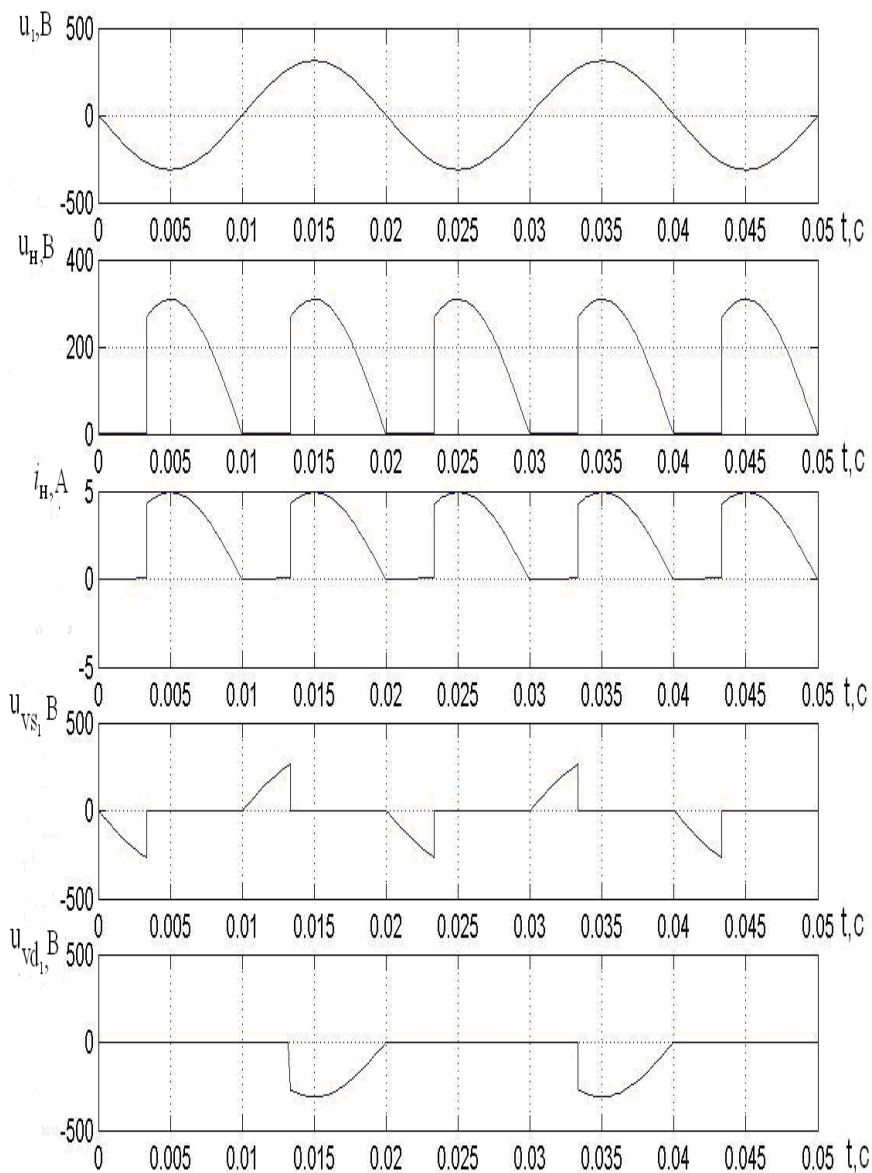


Рисунок 2.10 – Временные диаграммы работы однофазного мостового выпрямителя с регулированием напряжения на стороне переменного тока при работе на R нагрузку

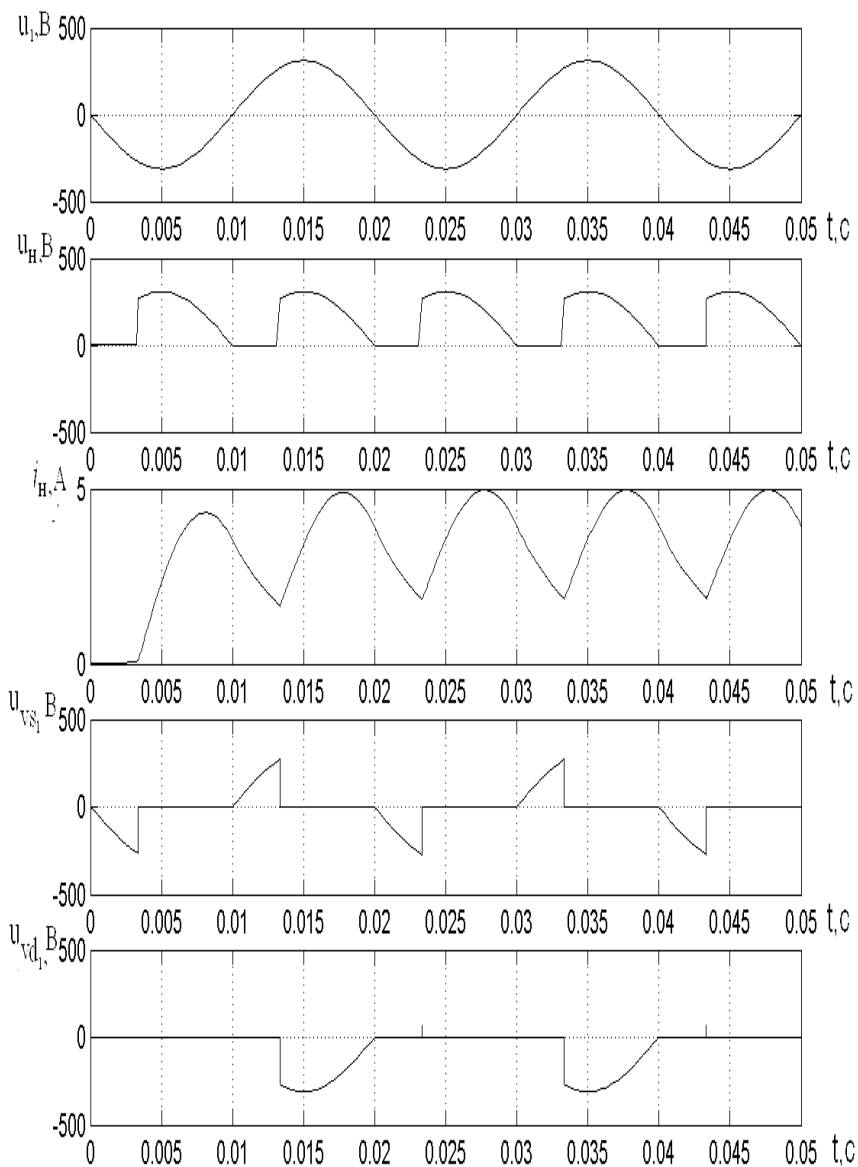


Рисунок 2.11 – Временные диаграммы работы однофазного мостового выпрямителя с регулированием напряжения на стороне переменного тока при работе на $R-L$ нагрузке

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Цель работы: приобретение навыков работы в системе MATLAB – Simulink на примере моделирования трехфазных выпрямителей: трехфазного мостового симметрично управляемого, несимметрично управляемого и трехфазного нулевого; исследование электромагнитных свойств указанных выпрямителей.

Введение

На основании принципиальных схем различных ППЭЭ с использованием блоков библиотеки Simulink, и в частности ее модуля SimPowerSystem, можно составить имитационные модели необходимых преобразователей и исследовать их электромагнитные свойства.

Угол открывания полупроводниковых вентилей задается с помощью блока Pulse Generator (библиотека Simulink→Sources). В поле «Period» указывается период следования импульсов в секундах, который определяется частотой питающего напряжения (0,02 с для 50 Гц). В поле «Pulse Width» задается длительность открывающего импульса в процентах от периода (10–20 %). Угол открывания указывается в поле «Phase Delay» в виде задержки времени следования импульсов и может быть задан, например, в виде выражения

$$t_{\Pi} = \frac{\alpha}{180^{\circ}} \cdot \frac{T_{\Pi}}{2},$$

где α – угол открывания;

T_{Π} – период следования импульсов.

Например, для $\alpha = 40^\circ$ и $T_{\Pi} = 0,02$ с в поле записывают:
 $40 / 180 * 0.02 / 2$.

Порядок выполнения работы

1. Составить полные принципиальные электрические схемы трехфазных выпрямителей при питании от трехфазной сети переменного тока, работающих на активную и активно-индуктивную нагрузки (схемы должны содержать датчик тока нагрузки и датчики напряжения сети на одном из диодов и на нагрузке). На основании принципиальных схем с использованием блоков библиотеки Simulink составить имитационные модели выпрямителей.

2. На основании принципиальных схем с использованием блоков библиотеки Simulink, в частности модуля SimPower-System, составить имитационные модели выпрямителей:

2.1) ввести параметры напряжения источника питания, параметры силовых полупроводниковых приборов, сопротивления R и индуктивности L нагрузки (задаются преподавателем), параметры защитной R - C цепи; при составлении имитационной модели управляемого выпрямителя ввести ещё и параметры управляющих импульсов ГИ (угол открывания α задается преподавателем);

2.2) выбрать метод численного решения дифференциальных уравнений, шаг и время расчета;

2.3) осуществить расчет.

3. В результате расчета получить графики зависимости тока $i_n = f(t)$ и напряжения $u_n = f(t)$ нагрузки, графики зависимости напряжения сети $u_1 = f(t)$, напряжения на диоде $u_{VD} = f(t)$ и на тиристоре $u_{VS} = f(t)$ при активной и активно-индуктивной нагрузках.

4. По результатам расчетов:

4.1) сделать вывод о влиянии индуктивности L на форму кривой тока нагрузки $i_n = f(t)$;

4.2) аналитически рассчитать максимальное, действующее и среднее значение тока при активной нагрузке, среднее значение – при активно-индуктивной нагрузке, сравнить данные значения со значениями, полученными в результате моделирования;

4.3) выполнить анализ формы напряжения на диоде, указав значения напряжения на нем в открытом и закрытом состояниях.

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Привести полные принципиальные электрические схемы трехфазного мостового симметрично управляемого, несимметрично управляемого и трехфазного нулевого при питании от трехфазной цепи переменного тока, работающих на активную и активно-индуктивную нагрузки.

3. Имитационные модели выпрямителя с указанием введенных параметров диода, R и L нагрузки.

4. Графики зависимости токов $i_n = f(t)$ и напряжений $u_n = f(t)$ нагрузки, графики зависимости напряжения сети $u_1 = f(t)$, напряжений на диоде $u_{VD} = f(t)$ и на тиристоре $u_{VS} = f(t)$ при активной и активно-индуктивной нагрузках, графики зависимости тока тиристора $i_{VS} = f(t)$.

5. Вывод о влиянии индуктивности L и угла α на форму кривой тока нагрузки $i_n = f(t)$.

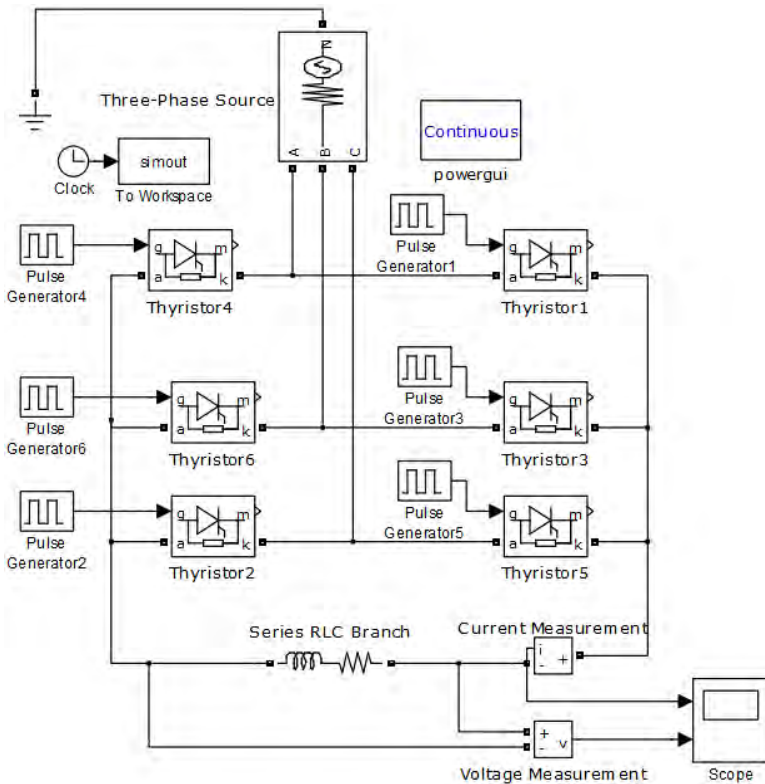


Рисунок 3.1 – Имитационная модель трехфазного мостового симметрично управляемого выпрямителя

Исходные данные для моделирования: $U_{\phi} = 220 \text{ В}$; $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$;
 $R_{\text{нагр}} = 90 \text{ Ом}$.

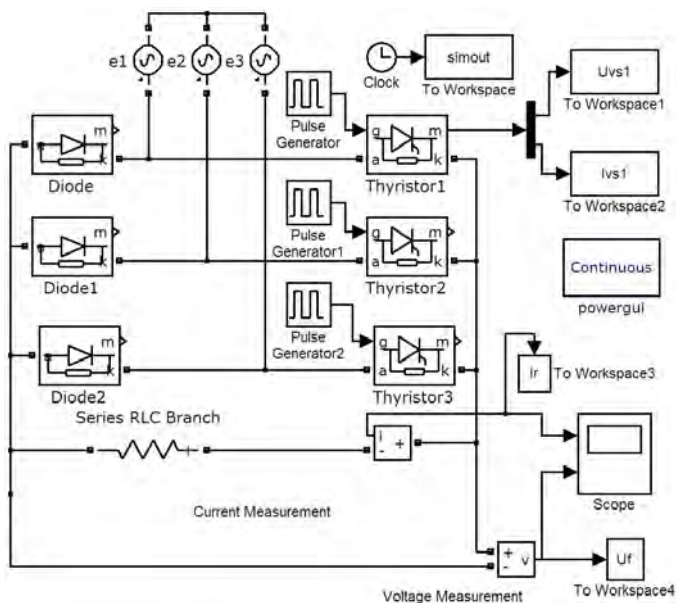


Рисунок 3.2 – Имитационная модель трехфазного мостового несимметрично управляемого выпрямителя

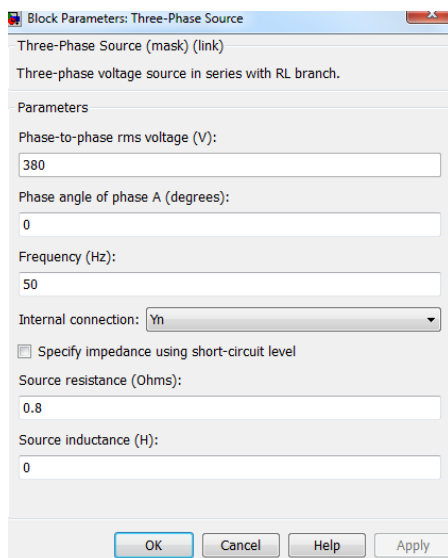


Рисунок 3.3 – Параметры настройки блока Three-Phase Source

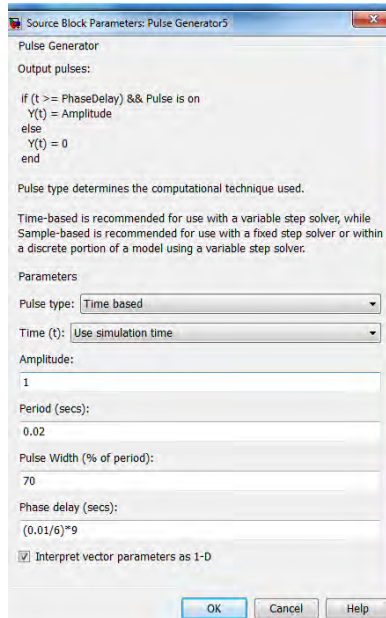
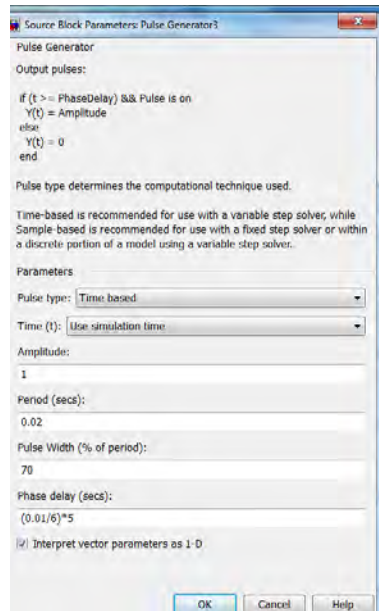
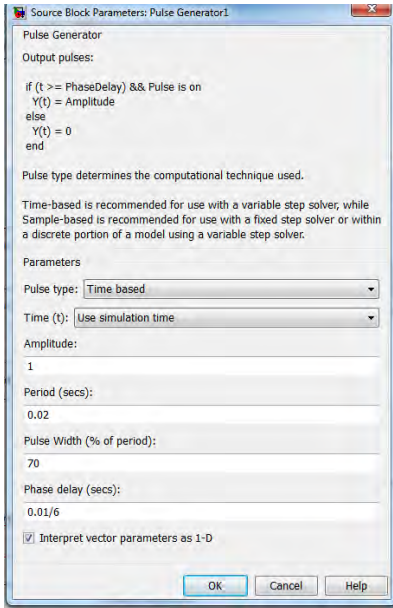


Рисунок 3.4 – Параметры настройки блоков Pulse Generator 1, 3 и 5

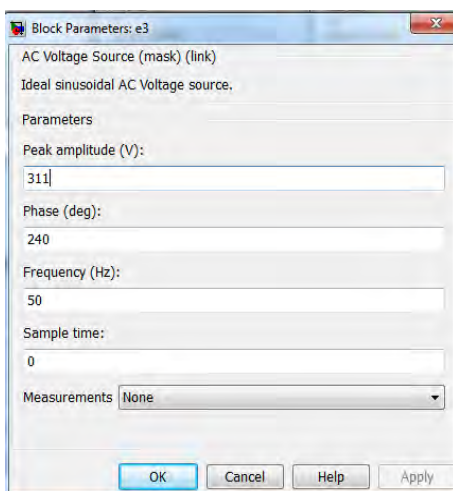
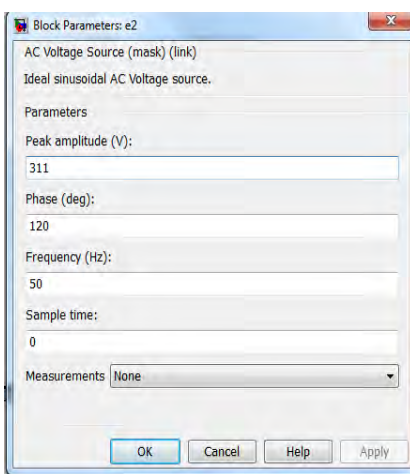
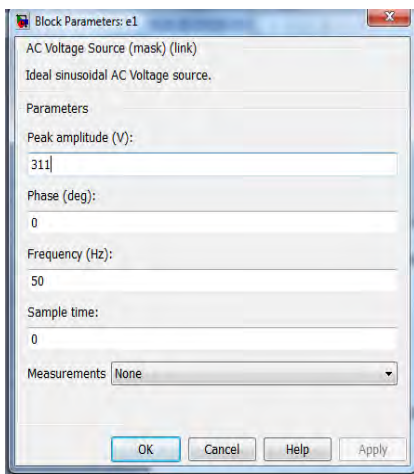


Рисунок 3.5 – Параметры настройки блоков ЭДС источников e1, e2 и e3

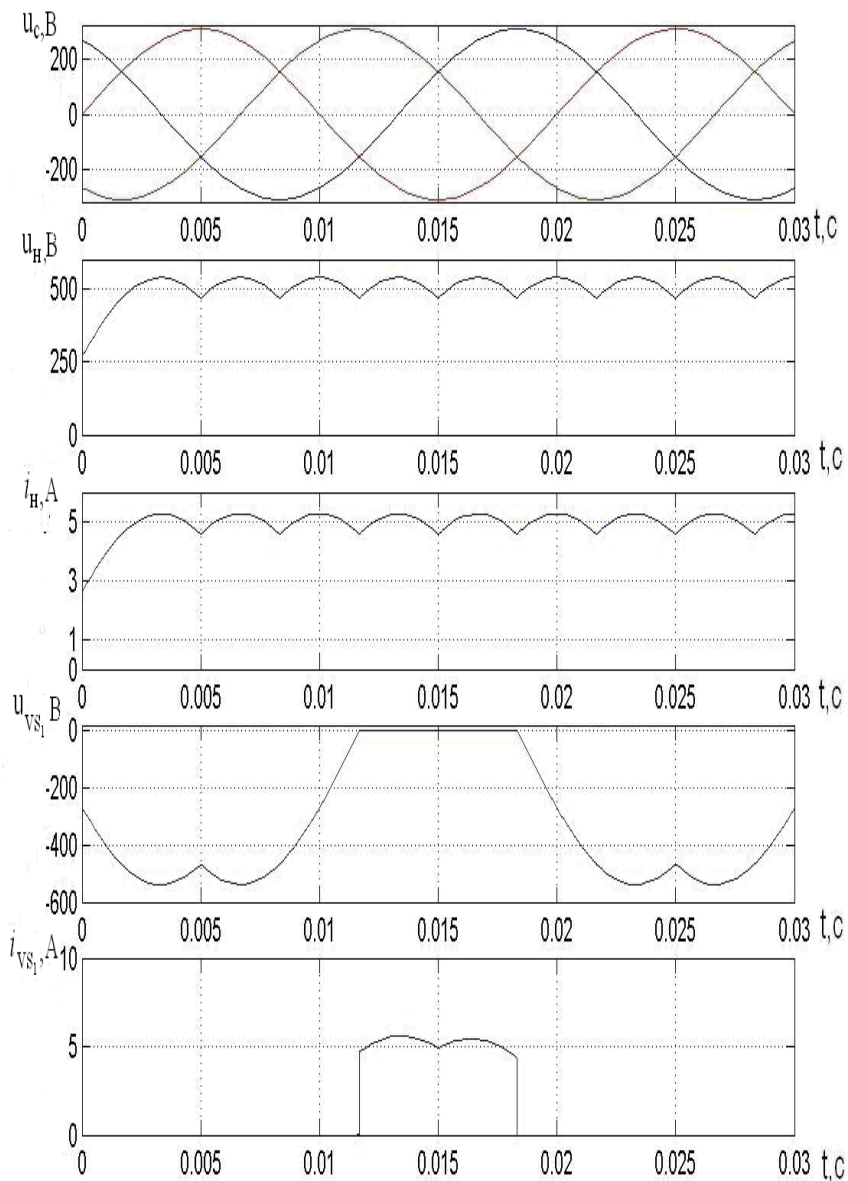


Рисунок 3.6 – Временные диаграммы работы трехфазного мостового симметрично управляемого выпрямителя при работе на R нагрузку

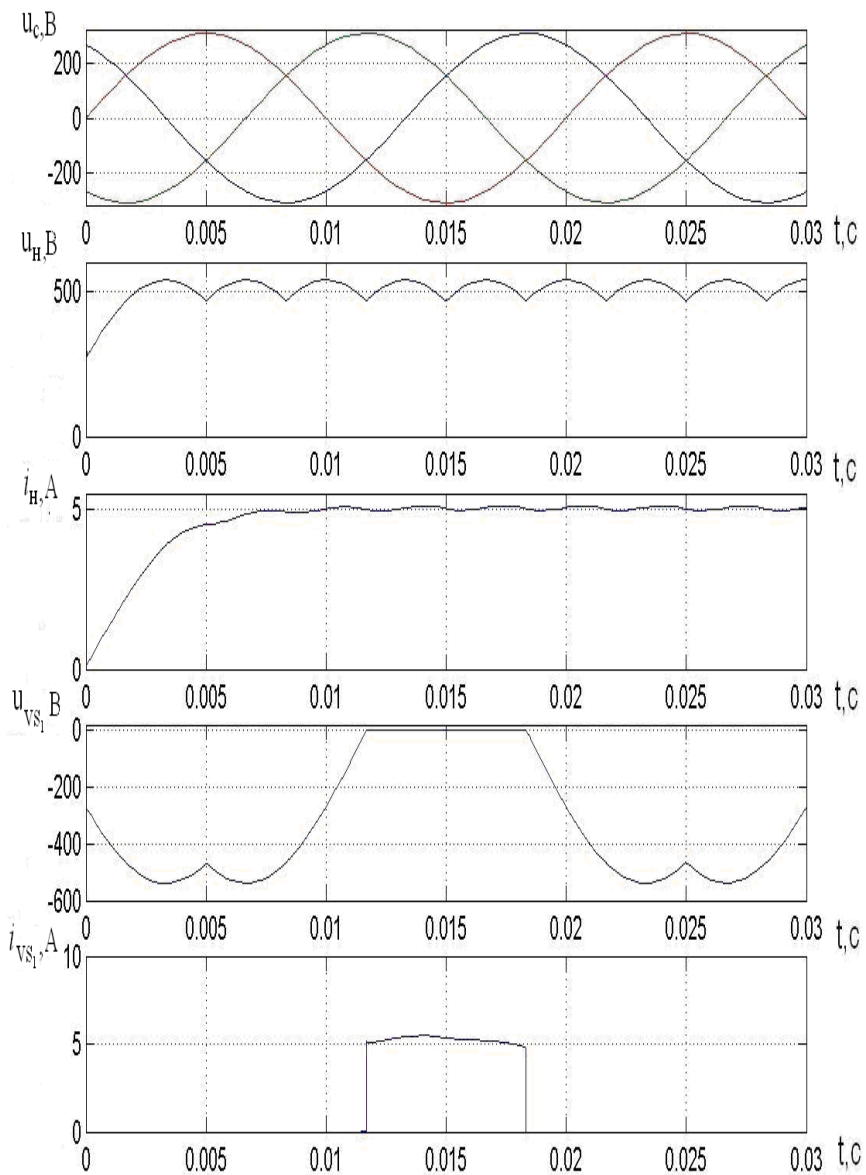


Рисунок 3.7 – Временные диаграммы работы трёхфазного мостового симметрично управляемого выпрямителя при работе на $R-L$ нагрузке

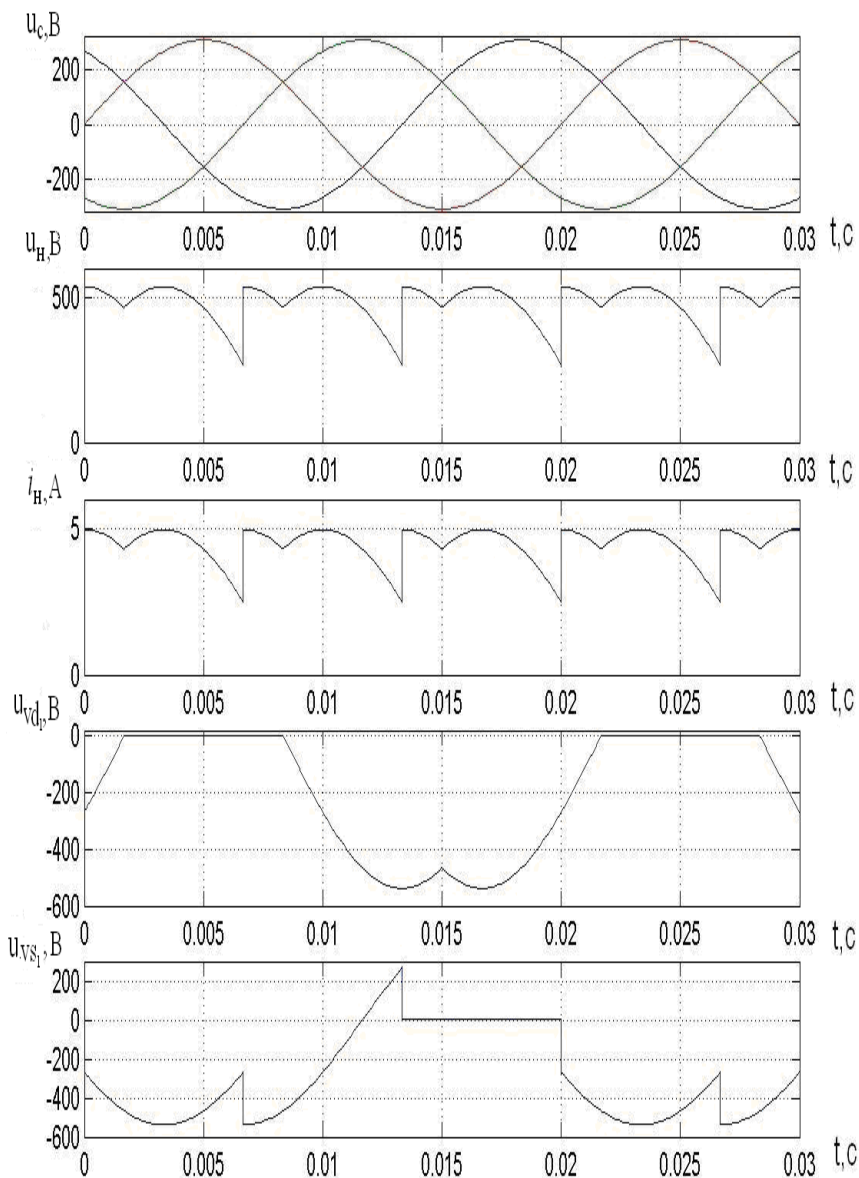


Рисунок 3.8 – Временные диаграммы работы трехфазного мостового несимметрично управляемого выпрямителя при работе на R нагрузке

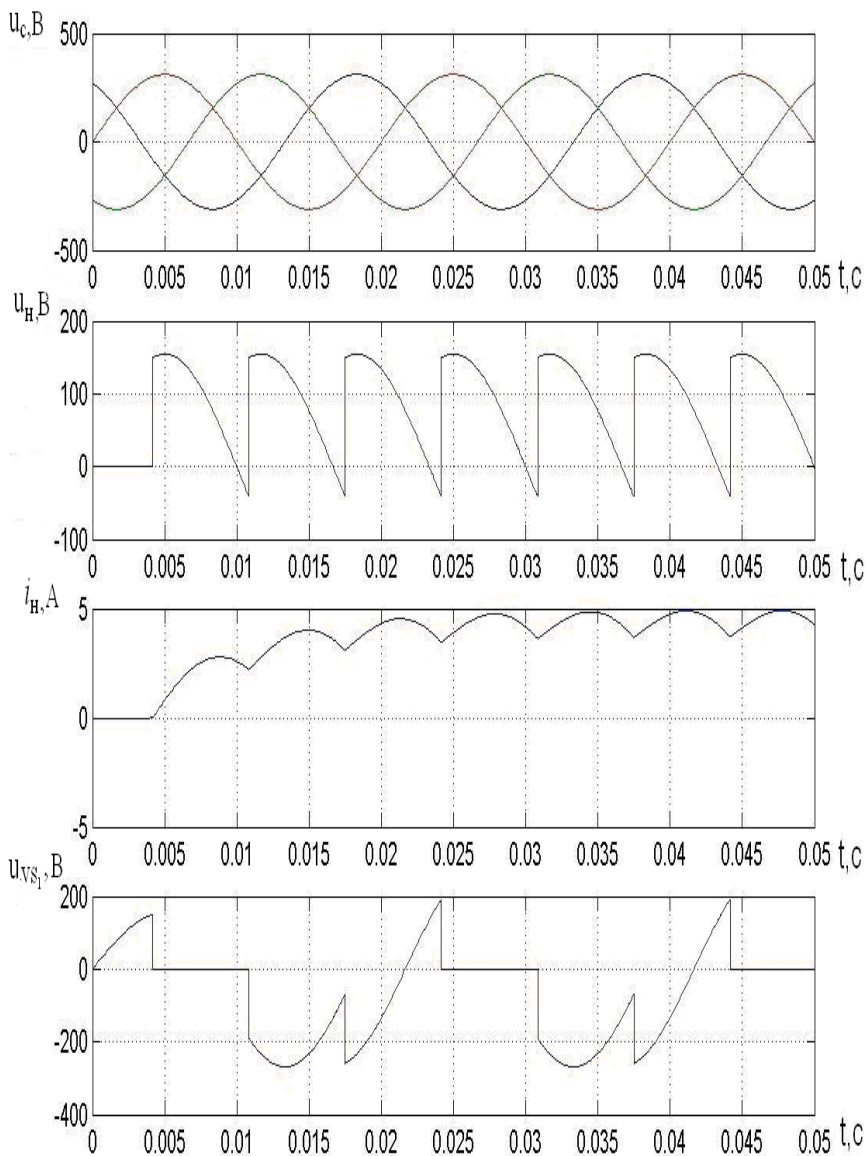


Рисунок 3.9 – Временные диаграммы работы трехфазного мостового несимметрично управляемого выпрямителя при работе на $R-L$ нагрузку

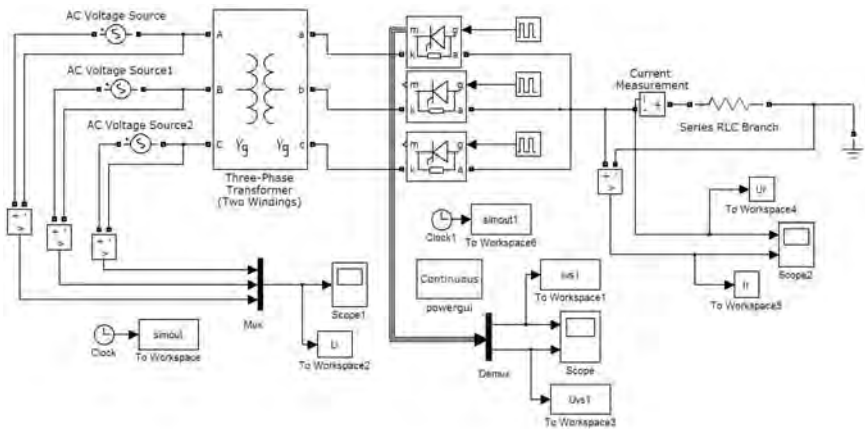


Рисунок 3.10 – Имитационная модель трехфазного нулевого выпрямителя

Исходные данные для моделирования: $U_{\phi} = 220 \text{ В}$; $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$;
 $R_{\text{нагр}} = 108 \text{ Ом}$.

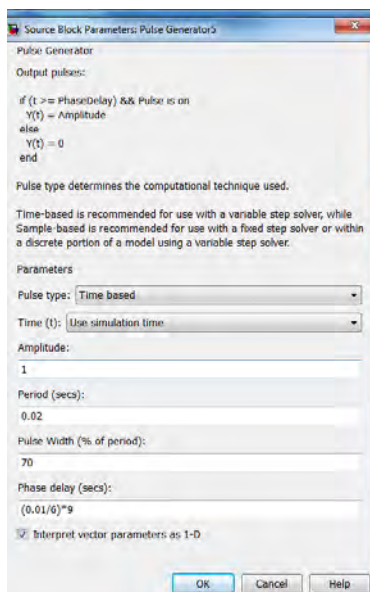
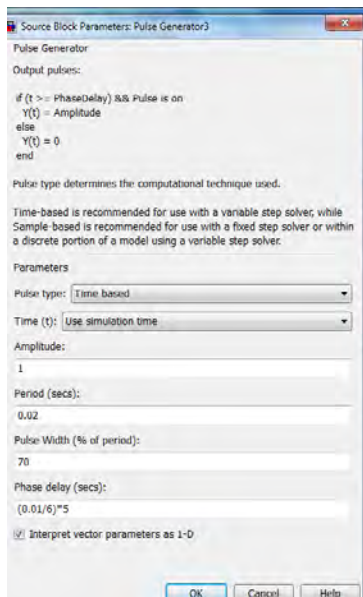
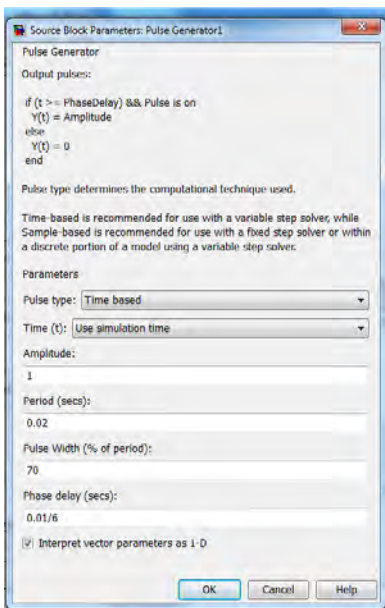


Рисунок 3.11 – Параметры настройки блоков Pulse Generator 1, 2 и 3

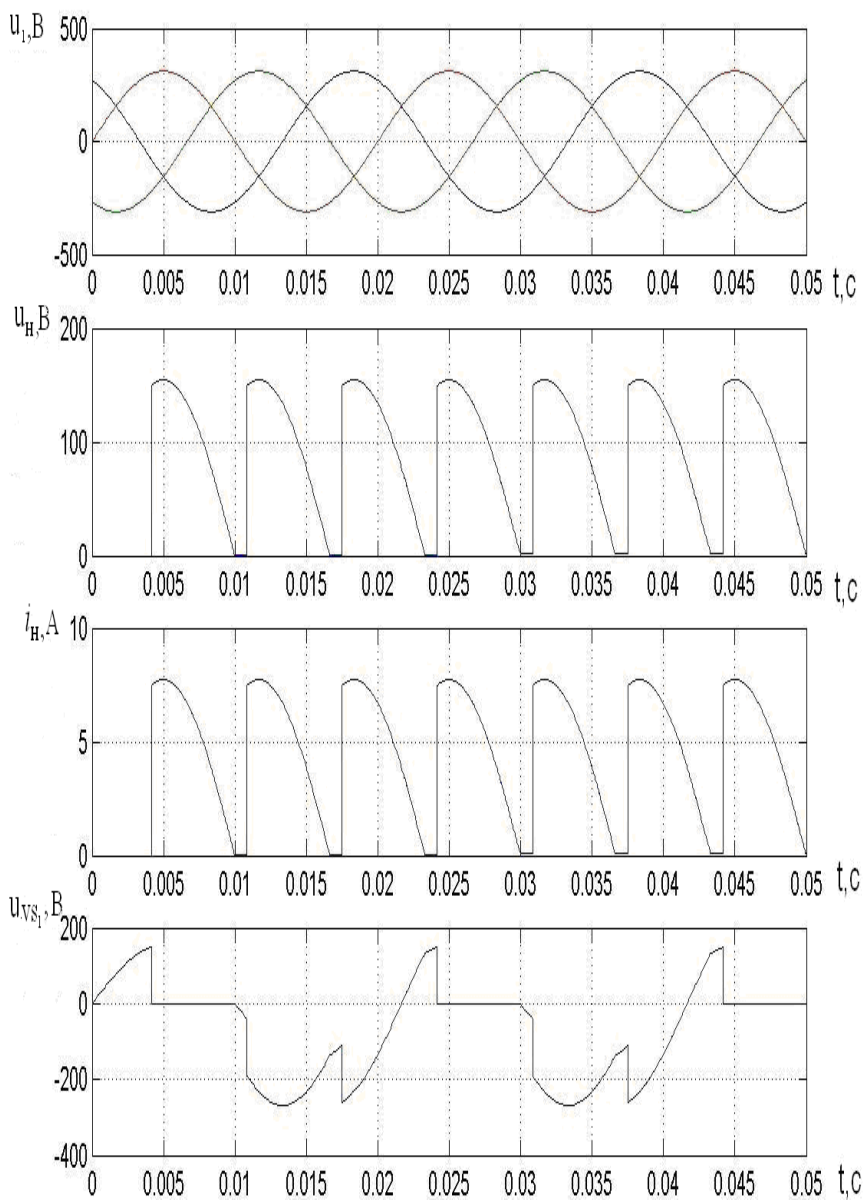


Рисунок 3.12 – Временные диаграммы работы трехфазного нулевого выпрямителя при работе на R нагрузку

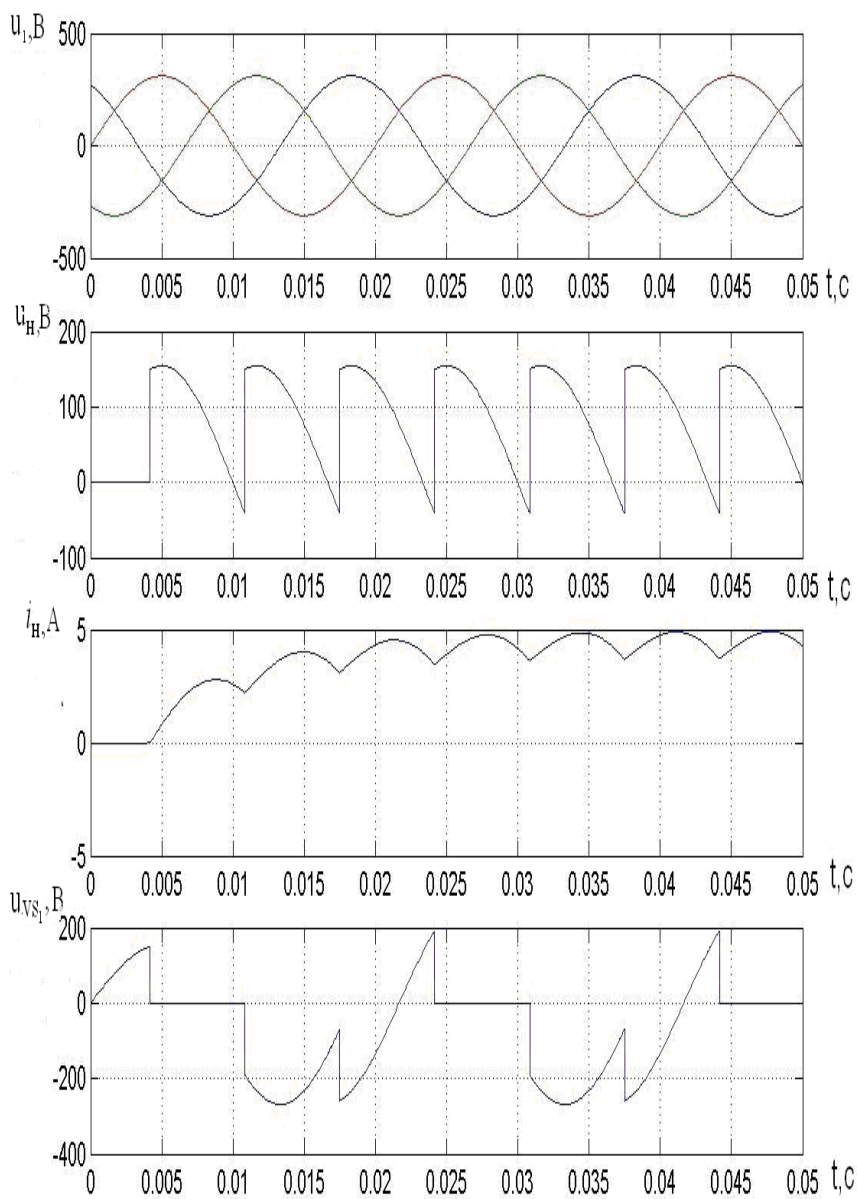


Рисунок 3.13 – Временные диаграммы работы трехфазного нулевого выпрямителя при работе на $R-L$ нагрузку

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТРАНЗИСТОРАХ

Цель работы: изучить принцип работы импульсных регуляторов напряжения (ИРН) на примере однофазного ИРН; на основе принципиальной электрической схемы и принципа работы однофазного ИРН составить его имитационную модель в среде MatLab (с помощью блоков из библиотек разделов Simulink и SimPowerSystems); провести анализ графиков работы однофазного ИРН при изменении параметров R - L нагрузки, скважности γ (напряжения управления U_{γ}) и частоты коммутации f_k .

Введение

С целью устранения основных недостатков тиристорных регуляторов напряжения с фазовым управлением (наличие дополнительного угла сдвига первой гармоники тока по отношению к напряжению сети, зависящего от угла открытия тиристоров α ; искажение синусоидальной формы кривой питающего напряжения и, как следствие, появление высших гармоник, а также уменьшение коэффициента мощности входной цепи устройства) можно использовать ИРН на полностью управляемых силовых полупроводниковых приборах, например IGBT-транзисторах, где регулирование величины неизменного по частоте питающего АД напряжения осуществляется изменением ширины управляющих импульсов по определенному закону при некоторой заданной частоте коммутации f_k ключей силовой схемы такого устройства плавного пуска.

Важно отметить следующую особенность работы ИРН на двигательную нагрузку. В регуляторах переменного напряже-

ния на базе силовых транзисторных ключей с высокочастотной широтно-импульсной модуляцией на интервалах переключения на его силовых элементах и нагрузке возможно возникновение значительных перенапряжений, если не принимать специальные меры по замыканию реактивного тока нагрузки. Поэтому при работе ИРН на двигательную или $R-L$ нагрузку нужно шунтировать фазы во время отключения основных силовых ключей специальными шунтирующими устройствами (ключами, конденсаторами, диодными мостами и т. д.). Именно для этой цели в схеме однофазного ИРН на рис. 4.1, *a* используется ключ S_2 . Там же приведены кривые выходного напряжения и тока такого регулятора, а также алгоритм работы транзисторов его силовой схемы.

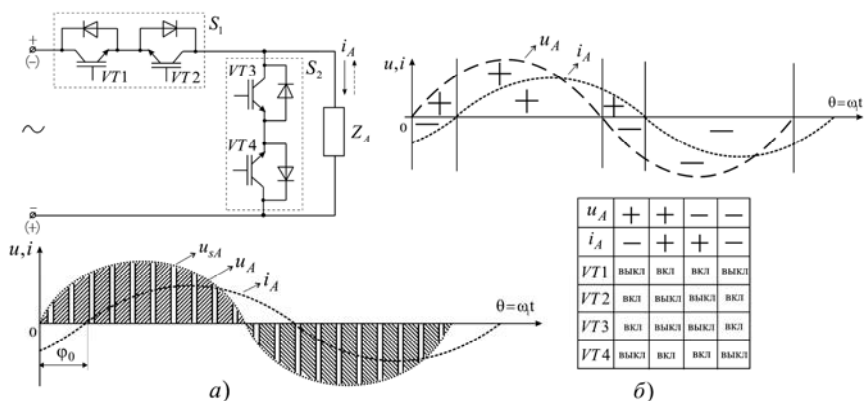


Рисунок 4.1 – Схема однофазного ИРН и кривые выходного напряжения и тока фазы А при активно-индуктивной нагрузке (*a*), алгоритм работы транзисторов силовых ключей однофазного ИРН (*б*)

Согласно схеме (рис. 4.1, *a*) транзисторы $VT1$ и $VT2$ ключа S_1 , работая с определенной частотой коммутации f_k , являются основными, т. е. они участвуют в формировании соответственно положительной и отрицательной полуволны выходного напряжения ИРН из импульсов напряжения, количе-

ство которых зависит от величины f_k , а транзисторы VT3 и VT4 ключа S_2 – шунтирующими нагрузку соответственно при выключенных транзисторах VT2 и VT1 основного ключа S_1 , т. е. на интервалах пауз в работе этих транзисторов (рис. 4.2).

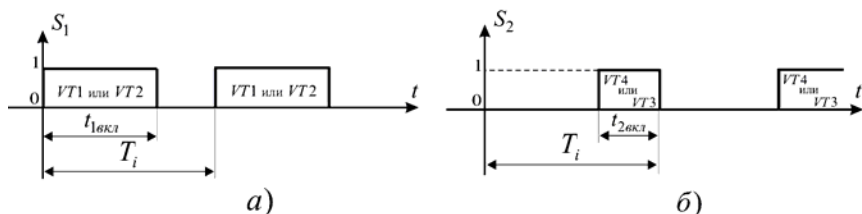


Рисунок 4.2 – Состояние транзисторов основного S_1 (а) и шунтирующего S_2 (б) ключа однофазного ИРН, выполненного по схеме рис. 4.1, а

Как видно из рис. 4.2, транзисторы такого ИРН на каждом интервале T_i работают в паре (один основной и один шунтирующий транзистор). Последовательность работы пар транзисторов силовой схемы этого ИРН показана на рис. 4.1, б и, как следует из этого рисунка, зависит от знака входного напряжения и тока нагрузки. Согласно рис. 4.1, б, когда полуволна входного переменного напряжения положительная, а полуволна тока нагрузки отрицательная, работает транзистор VT2 основного ключа S_1 . При этом шунтирующий транзистор VT3 ключа S_2 работает на интервалах пауз (в противофазе) в работе VT2 (см. рис. 4.1, б) и осуществляет закорачивание (шунтирование) нагрузки, а транзисторы VT1 и VT4 все время находятся в выключенном состоянии. Когда входное напряжение и ток нагрузки положительные, включается транзистор VT1 ключа S_1 , а в моменты пауз в его работе – транзистор VT4 ключа S_2 для шунтирования нагрузки, при этом транзисторы VT2 и VT3 все время выключены. После изменения знака входного напряжения с положительного на отрицательный

снова работает транзистор VT1 ключа S_1 , а на интервалах его пауз для закорачивания нагрузки используется транзистор VT4 ключа S_2 . При этом транзисторы VT2 и VT3 все время выключены. И наконец, когда входное напряжение и ток нагрузки имеют одинаковый знак, отрицательный, включается транзистор VT2 ключа S_1 , при этом транзисторы VT1 и VT4 все время выключены, а транзистор VT3 ключа S_2 шунтирует нагрузку на интервалах пауз в работе VT2. Благодаря такому алгоритму работы транзисторов основного и шунтирующего ключа обеспечивается непрерывное протекание тока по силовой цепи ИРН и отсутствуют перенапряжения на его силовых элементах и в нагрузке.

Порядок выполнения работы

1. Составить полную принципиальную электрическую схему однофазного ИРН, работающего на $R-L$ нагрузку.

2. На основании принципиальной электрической схемы составить имитационную модель однофазного ИРН с использованием блоков библиотек Simulink и SimPowerSystems.

3. Ввести параметры напряжения источника питания, силовых ключей, $R-L$ нагрузки (задаются преподавателем), параметры защитных $R-C$ цепочек и управляющих импульсов (скважность управляющих импульсов γ , которая задается в модели напряжением управления U_γ , и частота коммутации f_k).

4. В настройках моделирования Simulation→Configuration Parameters выбрать метод численного решения дифференциальных уравнений, шаг и время расчета.

5. В результате расчета получить: временные диаграммы напряжения источника питания $u_c = f(t)$, тока и напряжения на нагрузке $i_n = f(t)$ и $u_n = f(t)$, тока и напряжения пары основного и шунтирующего транзисторов $i_{VT} = f(t)$ и $u_{VT} = f(t)$, например, VT1 и VT4 или VT2 и VT3, а также временные диаграммы управляющих импульсов всех транзисторов схемы.

6. По результатам расчетов:

6.1) исследовать влияние индуктивности L на форму кривой тока и напряжения нагрузки. Несколько разных значений L задаются дополнительно преподавателем;

6.2) исследовать влияние скважности управляющих импульсов γ (напряжения управления U_y) и частоты коммутации f_k на форму кривой тока нагрузки и напряжения. Несколько разных значений U_y и f_k задаются преподавателем.

Параметры настройки основных блоков имитационной модели однофазного ИРН приведены ниже в виде отдельных рисунков либо указаны над самими блоками в виде числовых значений.

Значение напряжения управления U_y ($0 \dots 10$ В) задается обратно пропорционально скважности γ управляющего импульса с помощью блока Constant1, представленного на общем виде имитационной модели ИРН (рис. 4.3). Так, например, скважности $\gamma = 0,1$ соответствует напряжение управления $U_y \approx 9$ В, а $\gamma = 0,9$ – напряжение управления $U_y \approx 1$ В.

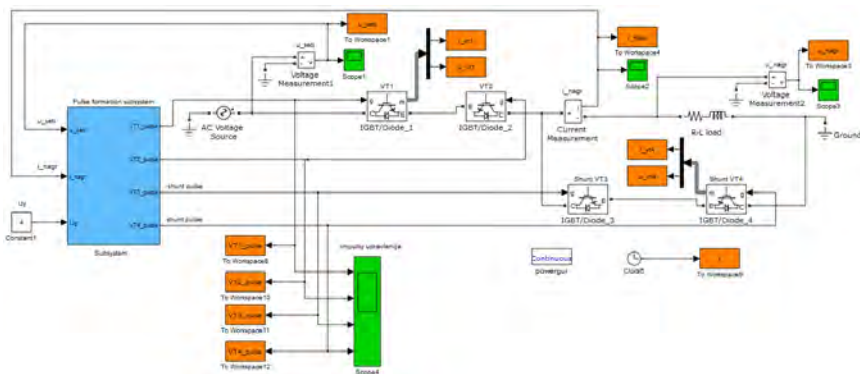


Рисунок 4.3 – Общий вид имитационной модели однофазного ИРН

Значение частоты коммутации f_k задается в подсистеме «Pulse generator» (рис. 4.4) в блоках Signal Generator 1 и 2. Так,

чтобы обеспечить $f_k = 1$ кГц, в обоих блоках Signal Generator параметр Frequency нужно задать равным 500. Параметр Magnitude при этом следует оставить равным 10. Для задания $f_k = 500$ Гц параметр Frequency в обоих блоках Signal Generator соответственно должен быть равен 250.

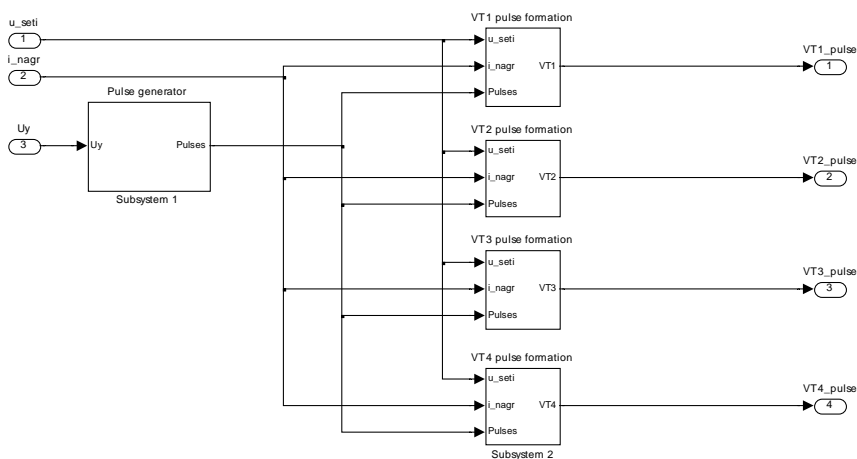


Рисунок 4.4 – Общий вид подсистемы «Pulse formation subsystem» для формирования импульсов управления транзисторами силовой схемы ИРН

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Полная принципиальная электрическая схема однофазного ИРН и алгоритм его работы.
4. Общий вид имитационной модели однофазного ИРН, составленной из блоков библиотек Simulink и SimPowerSystems с раскрытием ее подсистем в виде отдельных рисунков, с указанием введенных параметров напряжения источника питания, R и L нагрузки, параметров защитных R - C цепочек и управляющих импульсов.

5. Временные диаграммы напряжения источника питания $u_c = f(t)$, тока и напряжения на нагрузке $i_H = f(t)$ и $u_H = f(t)$, тока и напряжения выбранной пары (VT1, VT4 или VT2, VT3) основного и шунтирующего транзисторов $i_{VT} = f(t)$ и $u_{VT} = f(t)$, временные диаграммы управляющих импульсов для транзисторов VT1...VT4.

6. Выводы по работе.

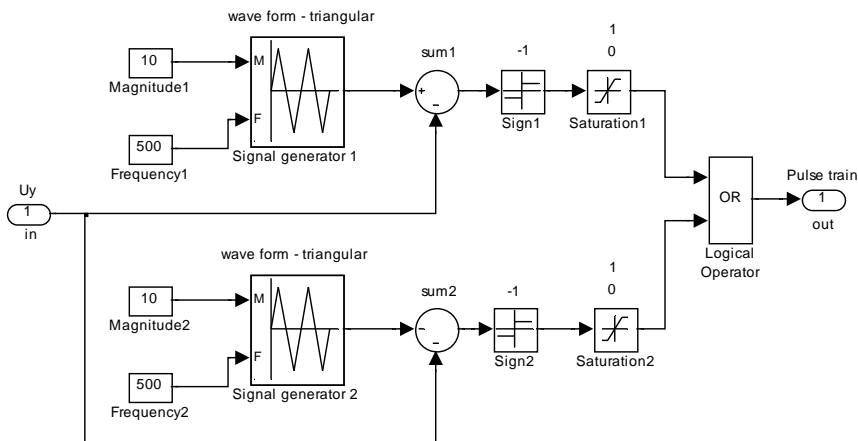


Рисунок 4.5 – Подсистема «Pulse generator», представленная в виде единого блока на рис. 4.4

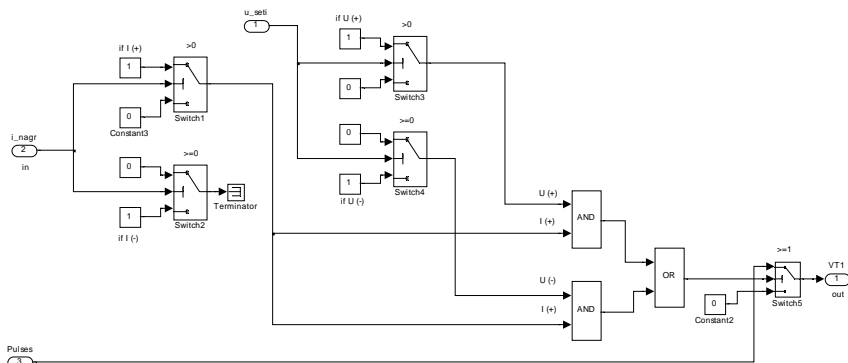


Рисунок 4.6 – Подсистема «VT1 pulse formation», представленная в виде единого блока на рис. 4.4, для формирования управляющих импульсов на основной транзистор VT1 в соответствии с алгоритмом на рис. 4.1

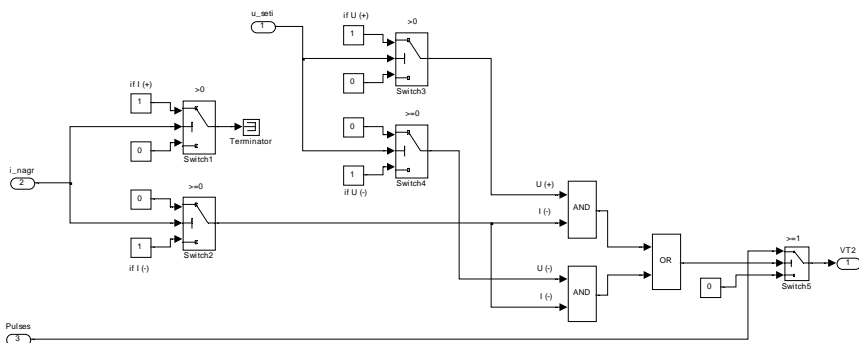


Рисунок 4.7 – Подсистема «VT2 pulse formation», представленная в виде единого блока на рис. 4.4, для формирования управляющих импульсов на основной транзистор VT2 в соответствии с алгоритмом на рис. 4.1

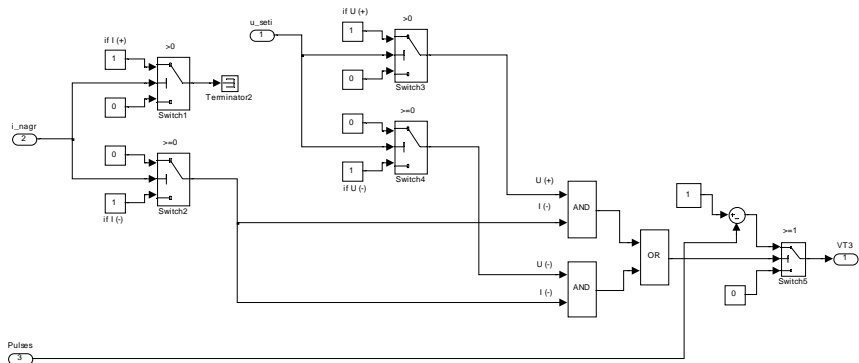


Рисунок 4.8 – Подсистема «VT3 pulse formation», представленная в виде единого блока на рис. 4.4, для формирования управляющих импульсов на основной транзистор VT3 в соответствии с алгоритмом на рис. 4.1

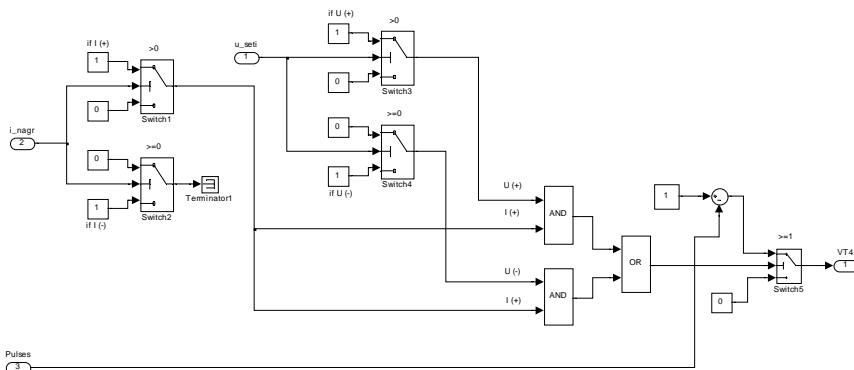


Рисунок 4.9 – Подсистема «VT4 pulse formation», представленная в виде единого блока на рис. 4.4, для формирования управляющих импульсов на основной транзистор VT4 в соответствии с алгоритмом на рис. 4.1

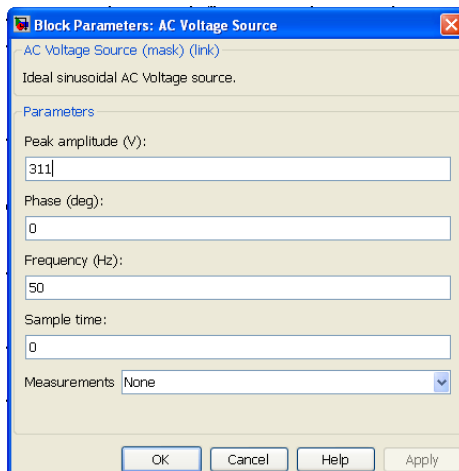


Рисунок 4.10 – Параметры настройки блока AC Voltage Source, представленного на общем виде имитационной модели ИРН (рис. 4.3)

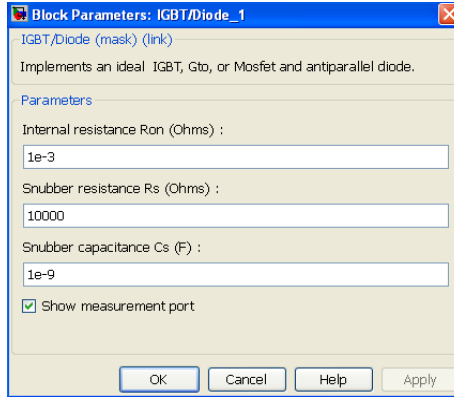


Рисунок 4.11 – Параметры настройки блока IGBT/Diode_1, представленного на общем виде имитационной модели ИРН (рис. 4.3)

Блоки IGBT/Diode_2, IGBT/Diode_3 и IGBT/Diode_4, представленные на общем виде имитационной модели ИРН (рис. 4.3), имеют аналогичные рис. 4.11 параметры настройки.

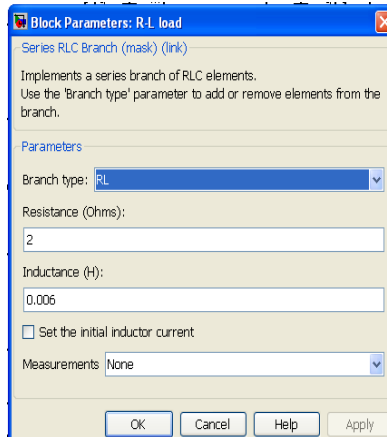


Рисунок 4.12 – Параметры настройки блока R - L нагрузки (R-L load), представленного на общем виде имитационной модели ИРН (рис. 4.3)

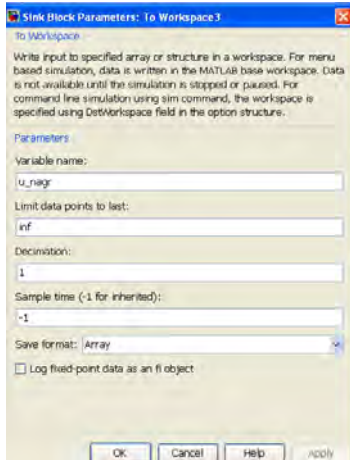


Рисунок 4.13 – Параметры настройки блока To Workspace3 (рис. 4.3) для вывода значений напряжения на нагрузке u_{nagr} в рабочую область

Все остальные блоки типа To Workspace, представленные на общем виде имитационной модели ИРН (рис. 4.3), имеют аналогичные настройки, за исключением имени переменной Variable Name.

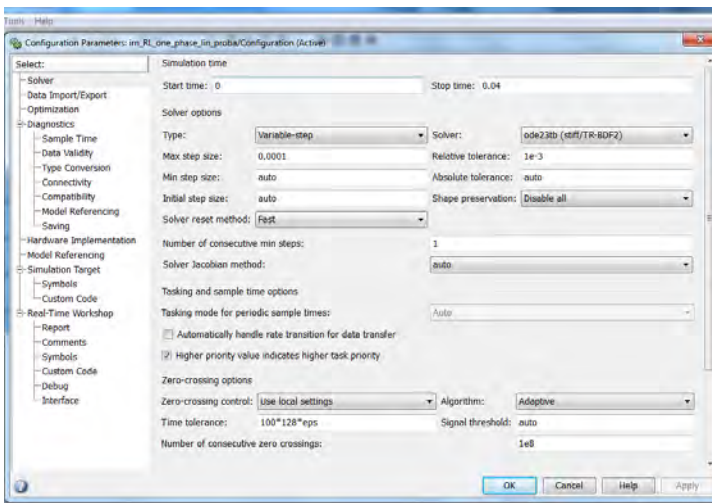


Рисунок 4.14 – Параметры настройки моделирования «Simulation→Configuration Parameters»

В качестве примера ниже приведены результаты моделирования работы однофазного ИРН при $f_k = 1$ кГц и $U_y \approx 4$ В ($\gamma = 0,6$) и параметрах R - L нагрузки $R = 2$ Ом, $L = 0,006$ Гн.

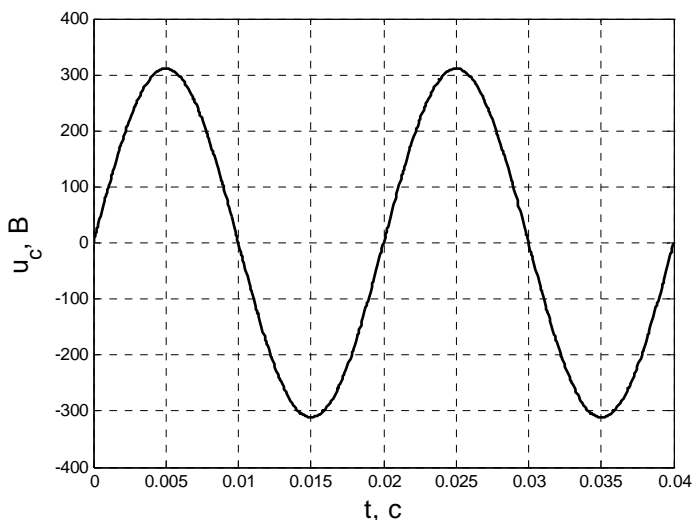


Рисунок 4.15 – Временная диаграмма питающего напряжения сети

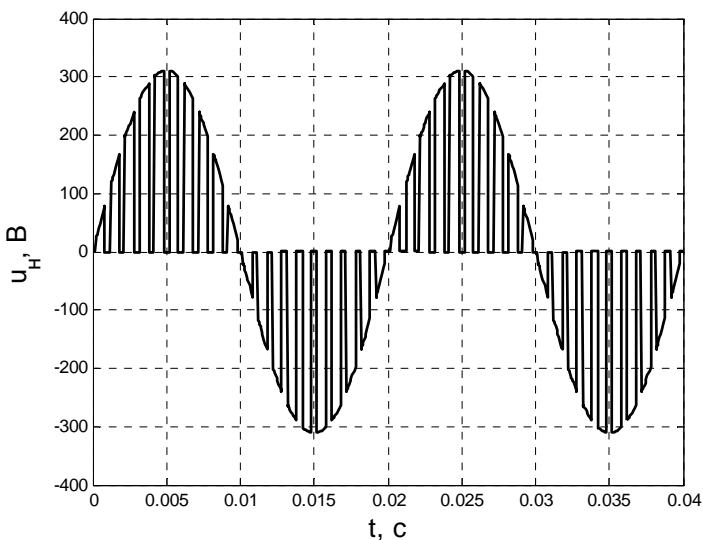


Рисунок 4.16 – Временная диаграмма напряжения на нагрузке

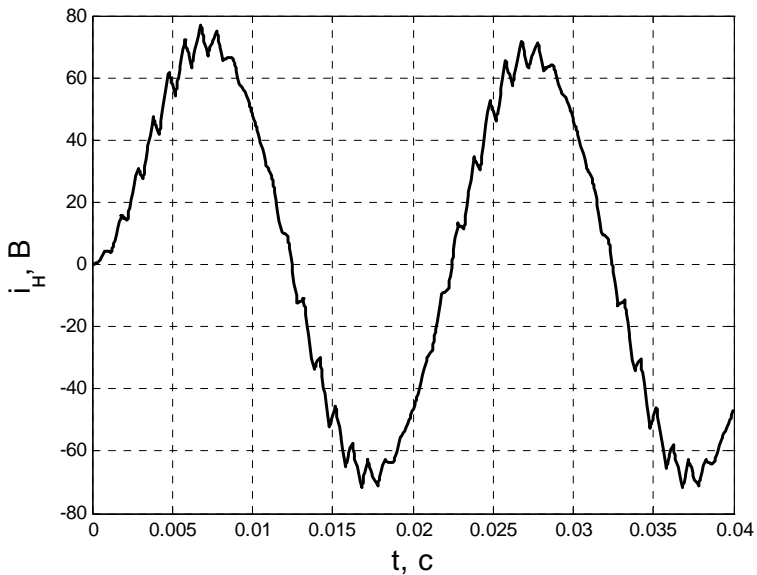


Рисунок 4.17 – Временная диаграмма тока в нагрузке

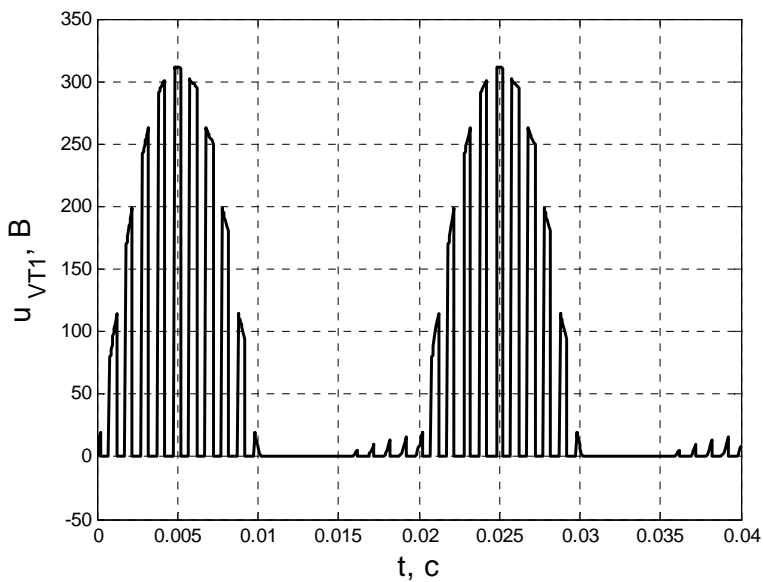


Рисунок 4.18 – Временная диаграмма напряжения на основном транзисторно-диодном ключе VT1

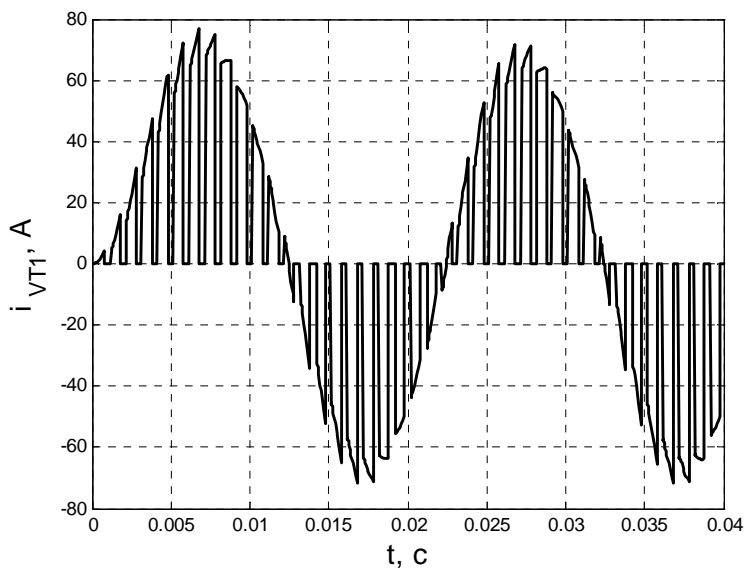


Рисунок 4.19 – Временная диаграмма тока основного транзисторно-диодного ключа VT1

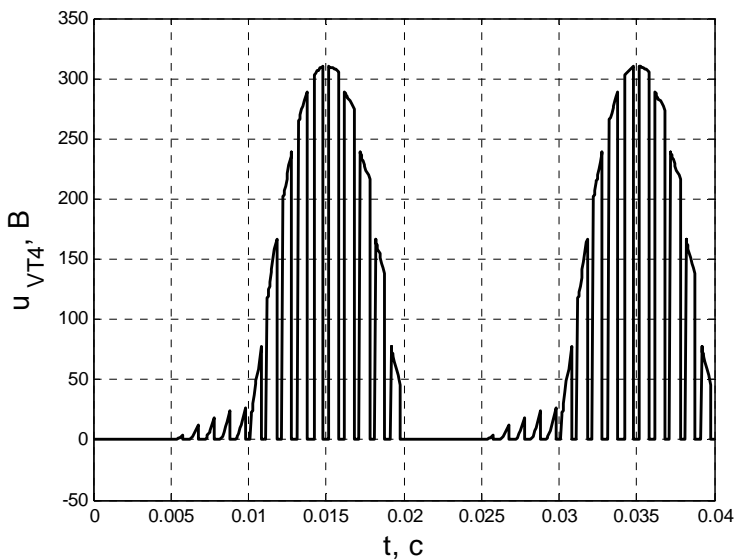


Рисунок 4.20 – Временная диаграмма напряжения на шунтирующем транзисторно-диодном ключе VT4

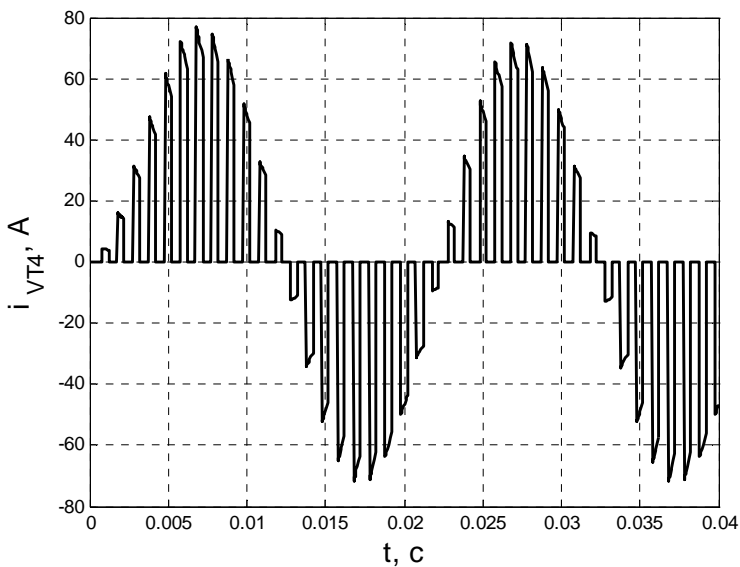


Рисунок 4.21 – Временная диаграмма тока шунтирующего транзисторно-диодного ключа VT4

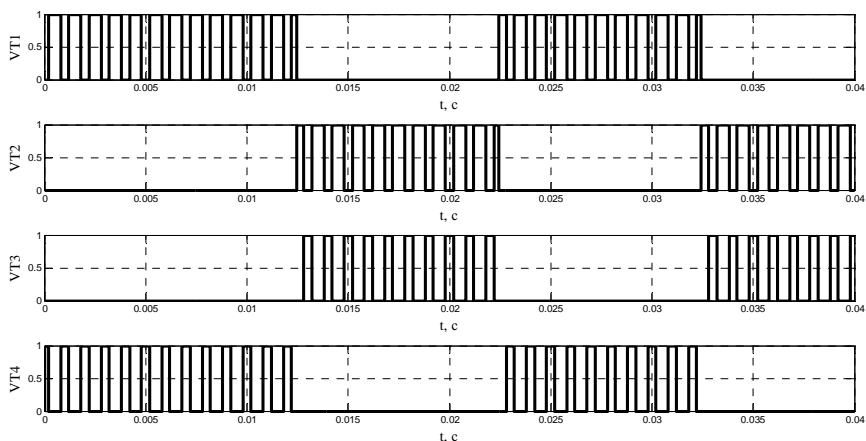


Рисунок 4.22 – Временные диаграммы управляющих импульсов для транзисторов VT1...VT4 силовой схемы однофазного ИРН

Список использованных источников

1. Розанов, Ю. К. Основы силовой преобразовательной техники / Ю. К. Розанов. – М. : Энергия, 1979. – 392 с.
2. Бурков, А. Т. Электронная техника и преобразователи / А. Т. Бурков. – М. : Транспорт, 1999. – 435 с.
3. Розанов, Ю. К. Основы силовой электроники / Ю. К. Розанов. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 295 с.
4. Засорин, С. Н. Электронная и преобразовательная техника / С. Н. Засорин, В. А. Мицкевич, К. Г. Кучма. – М. : Транспорт, 1981. – 319 с.
5. Гультяев, А. Визуальное моделирование в среде Matlab : учебный курс / А. Гультяев. – СПб. : Питер, 2000. – 432 с.
6. Герман-Галкин, С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 : учебное пособие / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
7. [http: // exponenta.ru](http://exponenta.ru)

Учебное издание

СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»

В 2 частях

Часть 1

Составители :

УЛАЩИК Николай Михайлович

ВАСИЛЬЕВ Дмитрий Сергеевич

Редактор *Л. Н. Шалаева*

Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 17.10.2013. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 3,31. Уч.-изд. л. 2,59. Тираж 100. Заказ 816.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.