

3. Исследование мостового широтно – импульсного преобразователя с симметричным законом управления.

Цель работы.

Целью данной работы является исследование мостового широтно – импульсного преобразователя (ШИП) с симметричным законом управления при работе на активно – индуктивную нагрузку с противо – э.д.с.

Описание виртуальной лабораторной установки

Виртуальная лабораторная установка (рис 1.1), содержит следующие блоки:

- источник постоянного напряжения (240 В);
- активно – индуктивная нагрузка с противо – э.д.с.;
- измерители мгновенных токов в источнике питания ($I I$) и нагрузке ($I Load$);
- измеритель мгновенного напряжения на нагрузке ($U Load$);
- блок для измерения среднего значения тока питания ($Fourier I I$);
- блок для измерения среднего значения тока нагрузки ($Fourier I O$);
- блок для измерения среднего значения напряжения на нагрузке ($Fourier U O$);
- блок для измерения среднего значения тока силового полупроводникового модуля ($Fourier T O$);
- блок для измерения действующего значения тока силового полупроводникового модуля ($RMS T$);
- блок для наблюдения (измерения) мгновенных значений тока в цепи питания, тока нагрузки и напряжения на нагрузке ($Score$);
- *Multimeter* блок для наблюдения (измерения) мгновенных значений величин, которые выбраны в поле *Measurement* соответствующих блоков;

- блок для измерения среднего значения тока в цепи питания (*Display 1*);
- блок для измерения величины среднего значения тока и напряжения на нагрузке, а также среднего и действующего тока в силовом полупроводниковом модуле (*Display*);
- однофазный мостовой транзисторный ШИП (*Universal Bridge 2 arms*);
- блок управления ШИП (*Control system*);
- блоки *Mux* и *Demux* для собирания и разделения сигналов.

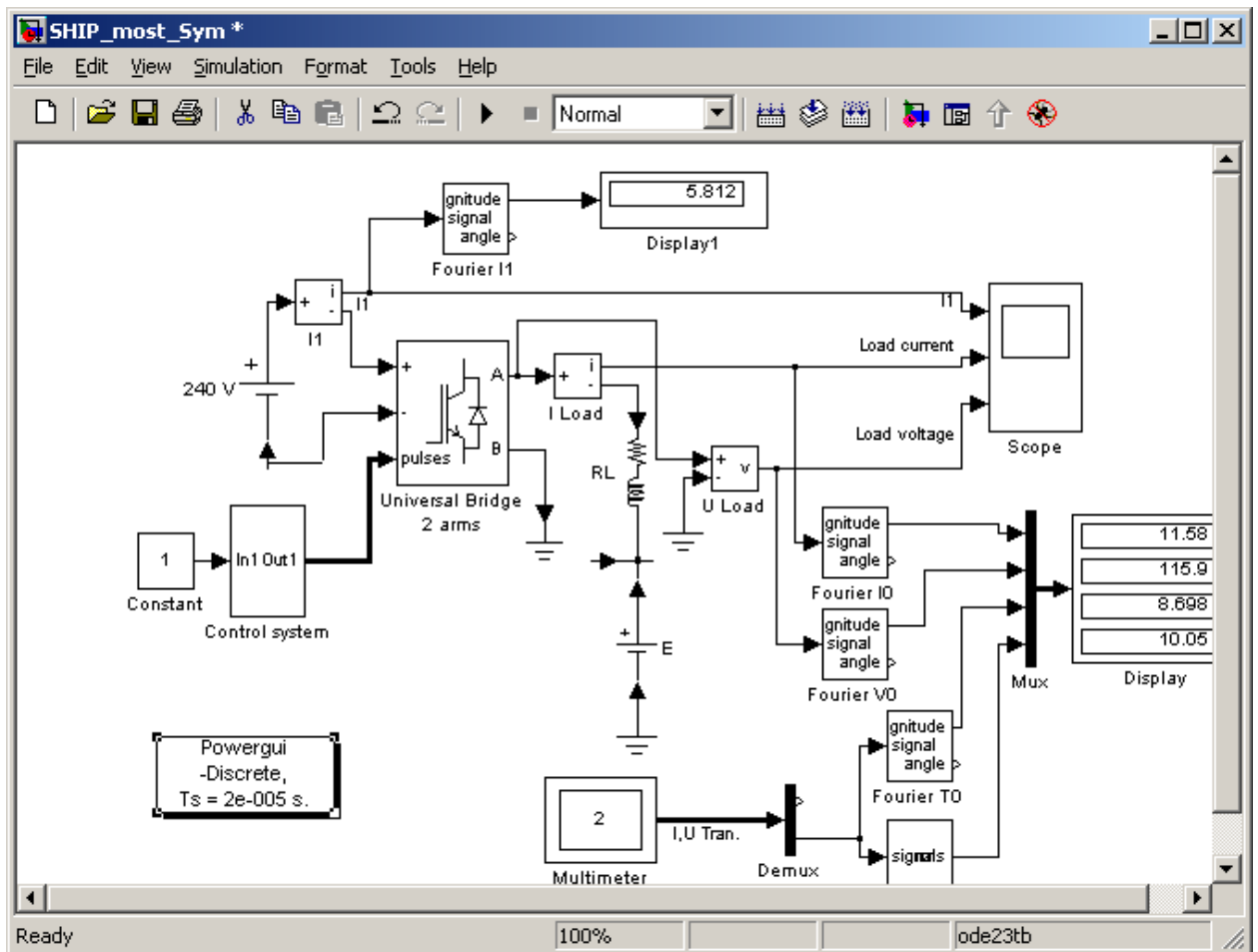


Рис. 1.1. Модель широтно – импульсного преобразователя.

Окна параметров блоков виртуального стенда.

Окно настройки параметров источника питания показано (рис 1.2):

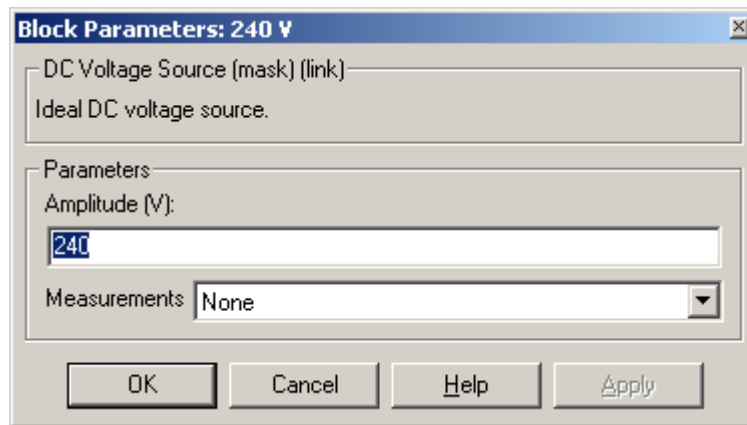


Рис. 1.2.Окно настройки параметров источника питания.

В поле настройки задается величина напряжения в вольтах (*Amplitude, V*).

Блок транзисторный ШИП имеет следующее окно параметров:

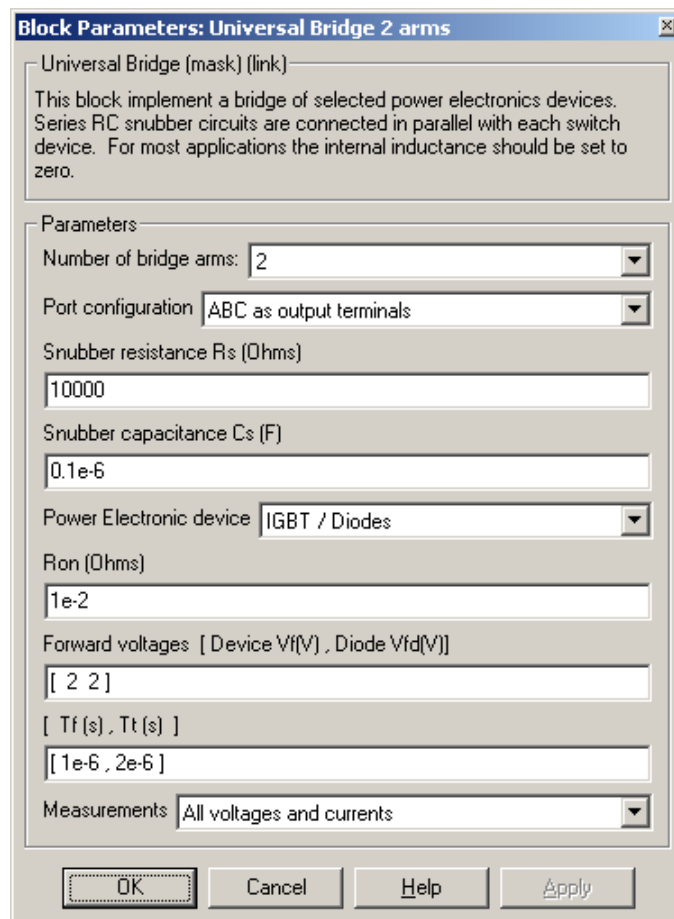


Рис. 1.3.Окно настройки транзисторного ШИП.

В полях настройки заданы:

- количество ветвей моста (2) в поле *Number of bridge arms*;
- конфигурация входных и выходных портов (*Port configuration*);

- параметры демпфирующих цепей (*Snubber resistance*, *Snubber capacitance*);
- тип полупроводниковых приборов в универсальном мосте (*Power Electronic device*);
- динамическое сопротивление полупроводникового модуля в открытом состоянии в (Ом) (*Ron*, *Ohms*);
- пороговое напряжение на транзисторе и диоде модуля в открытом состоянии в вольтах (*Forward voltage*, *V*);
- время спада и время затягивания (хвоста) выключения (T_f , T_t) в секундах.

В поле Measurement выбраны величины, которые измеряются блоком Multimeter.

Модель блока управления (*Control system*):

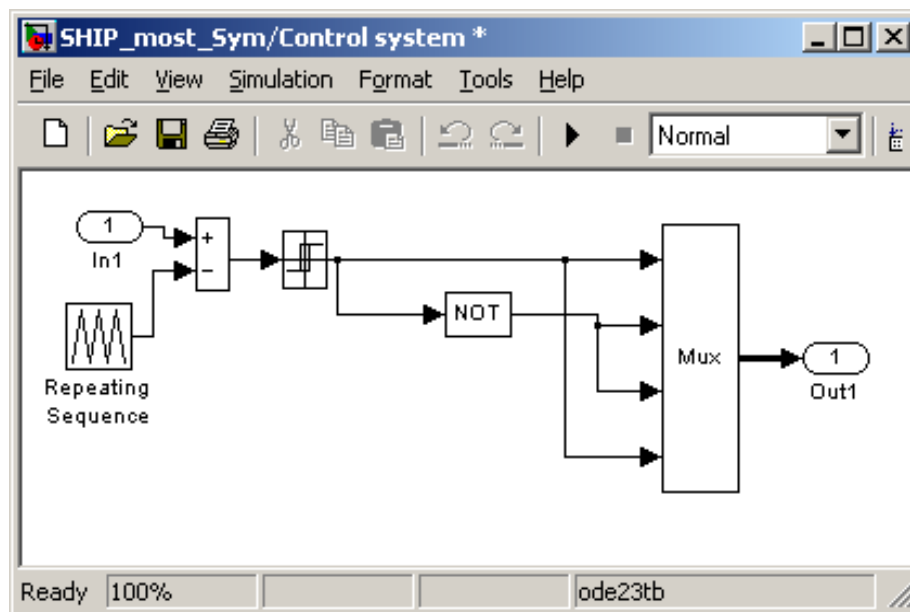


Рис. 1.4. Блок управления (Control system).

Блок *Repeating Sequence* является генератором пилообразного напряжения (ГПН). Параметры этого генератора задаются в окне параметров представленном ниже.

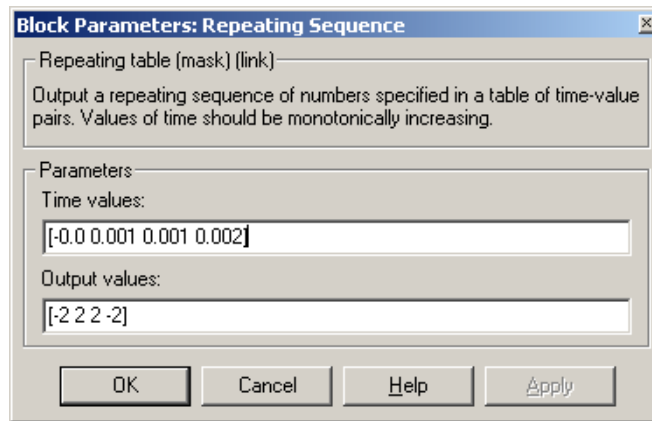


Рис. 1.5. Задание параметров ГПН.

В исследуемой модели установлены следующие параметры ГПН:

- амплитуда пилообразного напряжения – 2 В;
- период пилообразного напряжения $T_0 = 0.002$ с. (частота $f_0 = 500$ Гц).

На входе блока управления (порт *In1*) подается постоянный сигнал задания управления.

Окно настройки параметров нагрузки показано на рисунке (1.6.) Для реализации активно – индуктивной нагрузки в последовательной R, L, C цепи в двух первых полях (*Resistance R, Ohms, Inductance L, H*) устанавливаются значения активного сопротивления в Омах и индуктивности в генри, в третьем поле (*Capacitance C, F*) – бесконечность (*inf*).

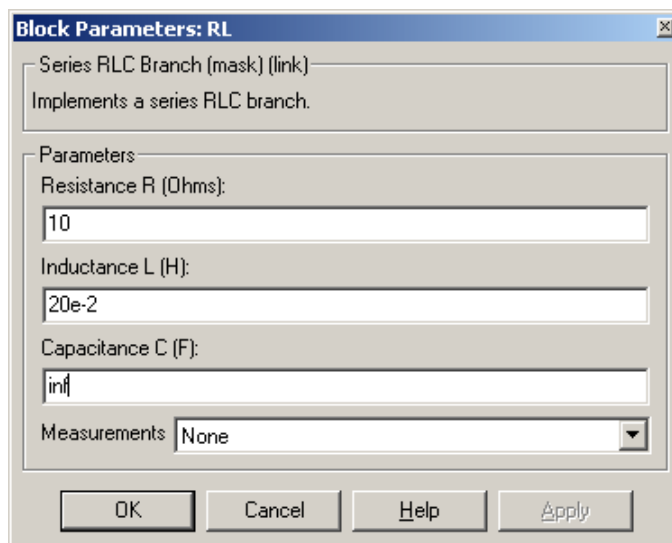


Рис. 1.6. Настройка параметров нагрузки.

В окнах настройки параметров блоков рисунке (1.7) . *Fourier I1*, *Fourier I0*, *Fourier U1*, *Fourier T0*, устанавливается частота равная частоте напряжения ГПН (500 Гц) и номер нулевой гармоники. Окно блока для измерения действующего тока в полупроводниковом модуле (*RMS T*) показано на рисунке (1.8). В поле окна вводится частота, на которой производится измерение (в данном случае – это частота ГПН).

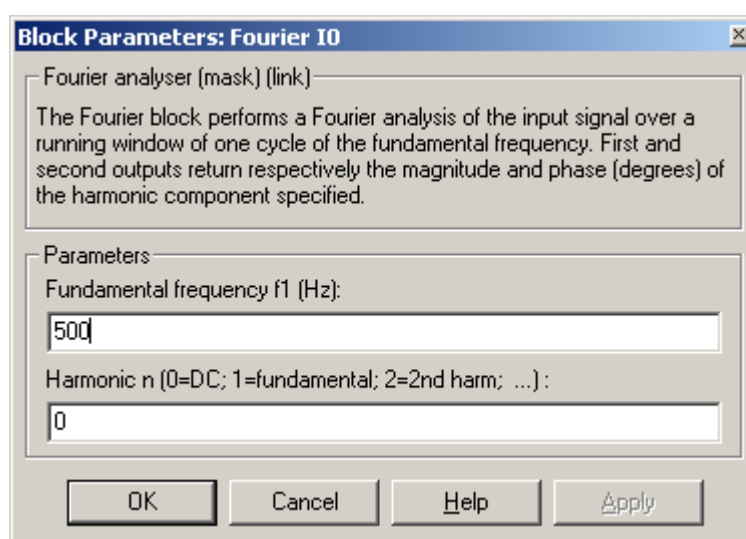


Рис. 1.7. Окно блоков *Fourier*

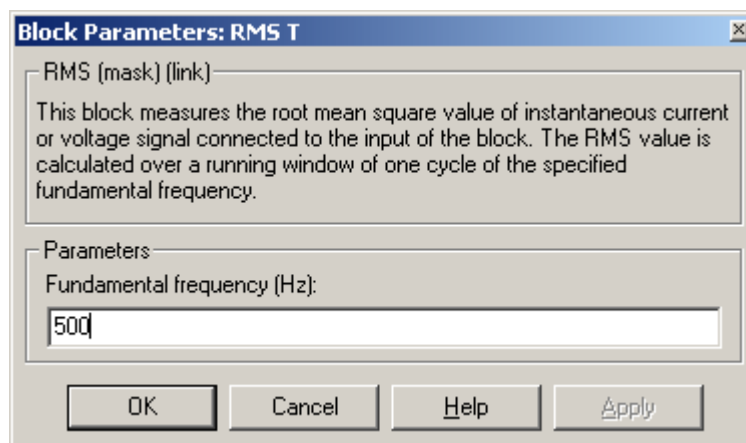


Рис. 1.8. Окно блока для измерения действующего тока.

Предварительное задание.

1. Нарисовать принципиальную схему мостового широтно – импульсного преобразователя с симметричным законом управления.
2. Показать графически принцип работы данной схемы.

Рабочее задание.

Исследовать регулировочные и энергетические характеристики мостового широтно – импульсного преобразователя (ШИП) с симметричным законом управления при работе на активно – индуктивную нагрузку с противо – э.д.с.

Методические указания по выполнению работы.

Исследование регулировочных и энергетических характеристик мостового широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с симметричным законом управления при работе на активно – индуктивную нагрузку с противо – э.д.с. проводится на виртуальной установке, подробнее описанной выше.

Параметры источника питания, нагрузки и тиристорного моста задаются соответственно варианту. При самостоятельном изучении целесообразно задавать их такими же, как на рисунке (1.2, 1.3).

Параметры моделирования задаются на вкладке *Simulation/parameters*.

При снятии характеристик параметры R , L нагрузки остаются без изменений, изменяется напряжение управления от $-2В$ до $2В$ с шагом $0,5$.

Характеристики снимаются для каждого значения напряжения и э.д.с нагрузки 0 , 100 , $200 В$.

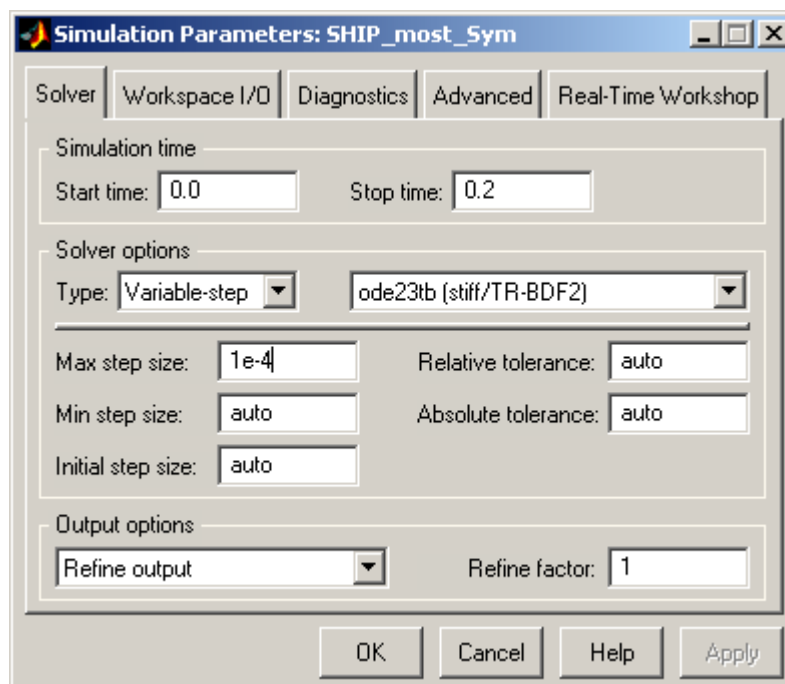


Рис. 1.9. Параметры моделирования.

Указания к обработке результатов измерений

Моделирование проводится для каждого значения напряжения управления и э.д.с. Результаты моделирования и последующие вычисления заносятся в таблицу 1.1.

Таблица 1.1.

Данные		Измерения							Вычисления			
U_y	E	I_H	U_H	I_I	I_T	I_{TRMS}	U_{max}	I_{Tmax}	γ	P_I	P_τ	P_H
град	В	А	В	А	А	А	В	А		Вт	Вт	Вт

Средний ток в источнике питания определяется по показаниям *Display 1*. На блоке *Display* измеряемые величины представлены в следующей последовательности:

(1) – средний ток нагрузки. (2) – среднее напряжение на нагрузке. (3) – средний ток в силовом полупроводниковом модуле. (4) – действующий ток в силовом полупроводниковом модуле. Мгновенные значения тока питания, нагрузки и напряжения на нагрузке можно наблюдать на экране осциллографа (рис 1.10).

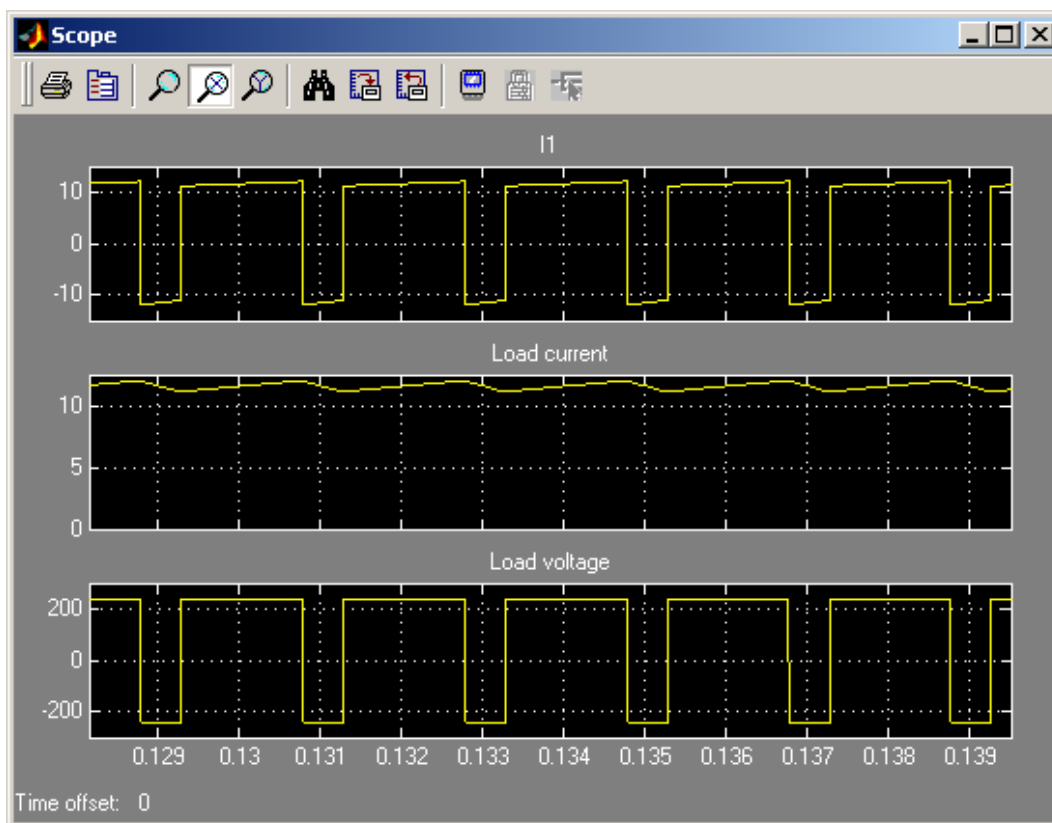


Рис. 1.10. Ток питания, ток нагрузки и напряжение на нагрузке ШИП.

В графическом окне блока *Multimeter* (рис. 1.11) наблюдается и определяются максимальное напряжение и ток силового полупроводникового модуля.

Окно настройки параметров блока *Multimeter* показано на рисунке (1.12). В правое поле помещены переменные, подлежащие измерению. При этом существенна последовательность, в которой эти переменные помещены в правое поле. В такой же последовательности они представлены на выходе блока *Demux*. Включенный флажок *Display signals at simulation stop* обеспечивает появление графического окна по окончании моделирования.

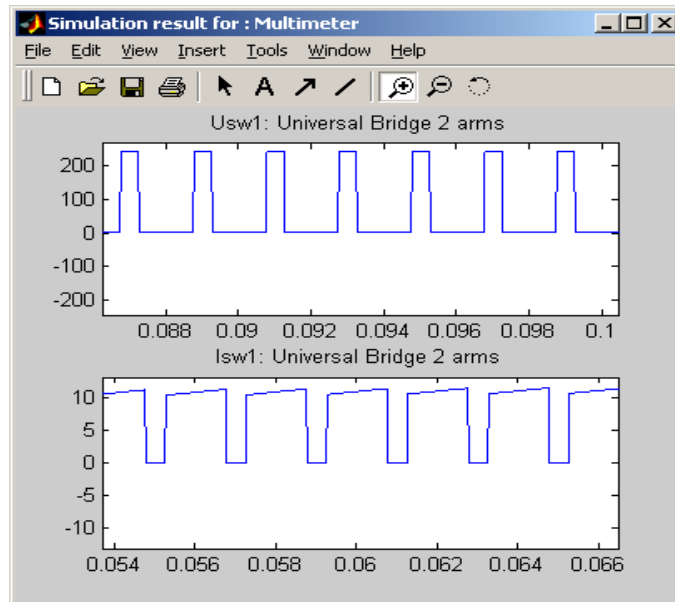


Рис. 1.11. Напряжение и ток силового транзистора.

Относительная продолжительность импульса напряжения на нагрузке определяется по формуле:

$\gamma = t_u / T_0$, где T_0 - период напряжения ГПН, а t_u определяется по осциллограмме *Load Voltage* (рис.1.9) на оси абсцисс (т. е. при напряжении 0 В).

Мощность в цепи питания рассчитывается по выражению:

$$P_I = U_{II} \times I_I \text{ (Вт)}, \text{ где } U_{II} \text{ – напряжение питания.}$$

Квазистатические потери в силовом полупроводниковом модуле рассчитываются по уравнению:

$$P_T = [\gamma V_f + (1 - \gamma) V_{fd}] I_T + R_{on} [I_T(RMS)]^2 ,$$

где V_f V_{fd} R_{on} – параметры силового модуля (рис. 1.1), а I_T $I_T(RMS)$ – его средний действующий ток (табл. 1.1).

Млщность нагрузки определяется по выражению: $P_H = U_H I_H \text{ (Вт)}$.

По результатам таблицы 1.1 строятся:

- регулировочные характеристики ШИП $U_H = f(\gamma)$;

- энергетические характеристики ШИП $I_L, I_{TRMS}, I_T, I_{Tmax} = f(I_H)$
 $P_L, P_T = f(P_H)$.

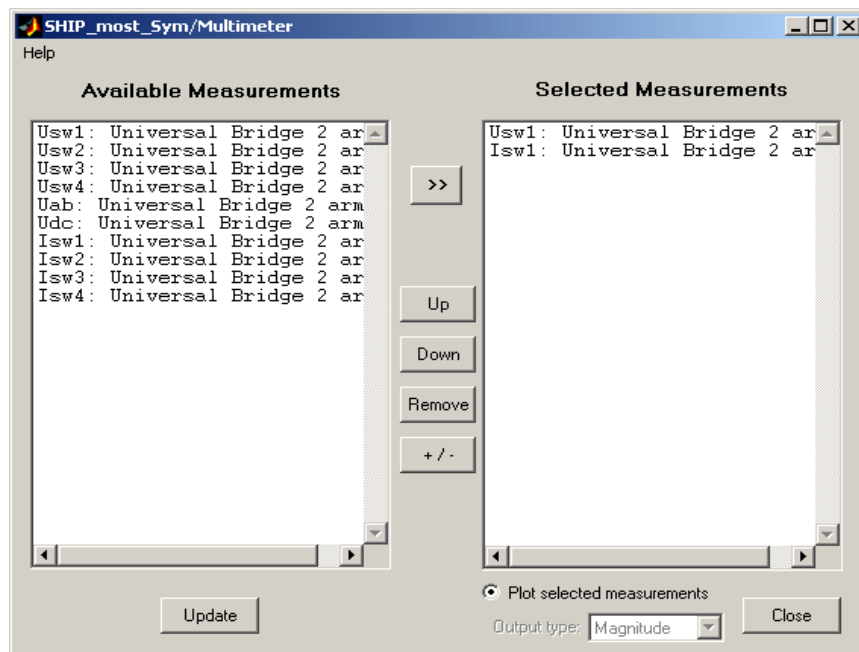


Рис. 1.12. Окно настройки параметров блока *Multimeter*.

Контрольные вопросы.

1. Назначение мостового широтно – импульсного преобразователя с симметричным законом управления?
2. Достоинства и недостатки ШИП с симметричным управлением?

Содержание отчета.

- 1 Схема виртуальной установки.
- 2 Выражения для расчета основных характеристик.
- 3 Регулировочные характеристики при трех заданных э.д.с. нагрузки.
- 4 Энергетические характеристики при трех заданных э.д.с. нагрузки.
- 5 Выводы по работе.

2. Мостовой широтно – импульсный преобразователь с несимметричным законом управления.

Цель работы.

Целью работы является: приобретение навыков работы и освоение методики экспериментального исследования преобразователей (ШИП) с несимметричным законом управления при работе на активно – индуктивную нагрузку с противо – э.д.с.

Описание виртуальной лабораторной установки.

Виртуальная лабораторная установка для исследований показана на рисунке 2.1. Она практически полностью повторяет модель ШИП с симметричным законом управления (лаб.раб. № 1). Отличие состоит в блоке управления (*Control system*) и в настройке блока *Multimeter*.

Модель блока управления показана на рисунке 2.2. Окно настройки параметров блока *Multimeter* показано на рисунке 2.3. Здесь, в отличие от лабораторной работы № 1, в правое поле перенесены напряжения верхних по схеме силовых модулей и ток верхнего по схеме силового модуля, т.к. именно этот модуль наиболее нагружен по току.

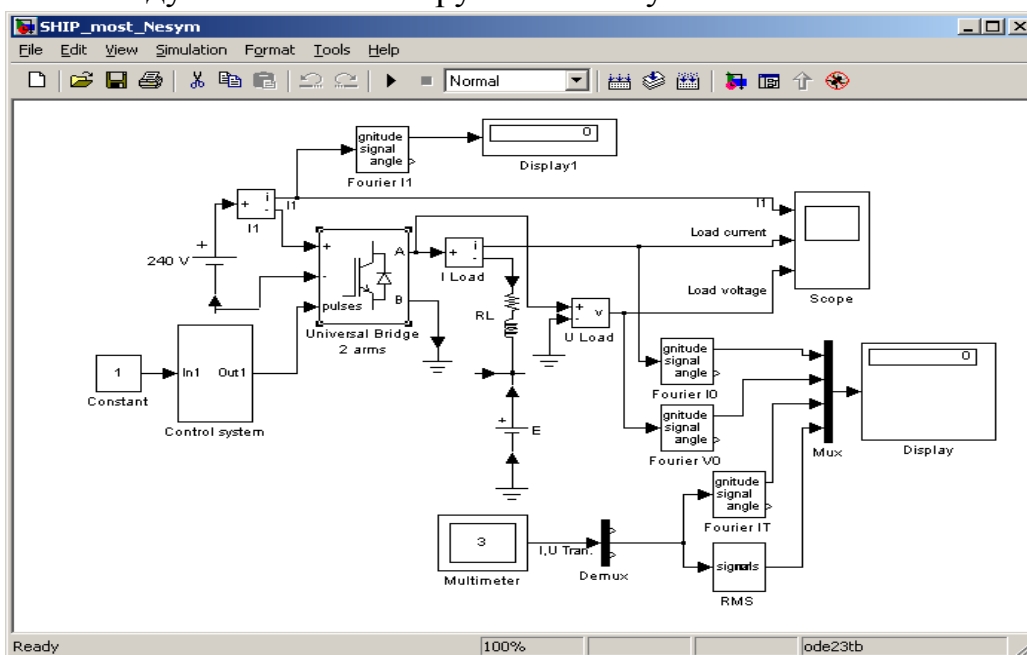


Рис. 2.1. Модель широтно – импульсного преобразователя.

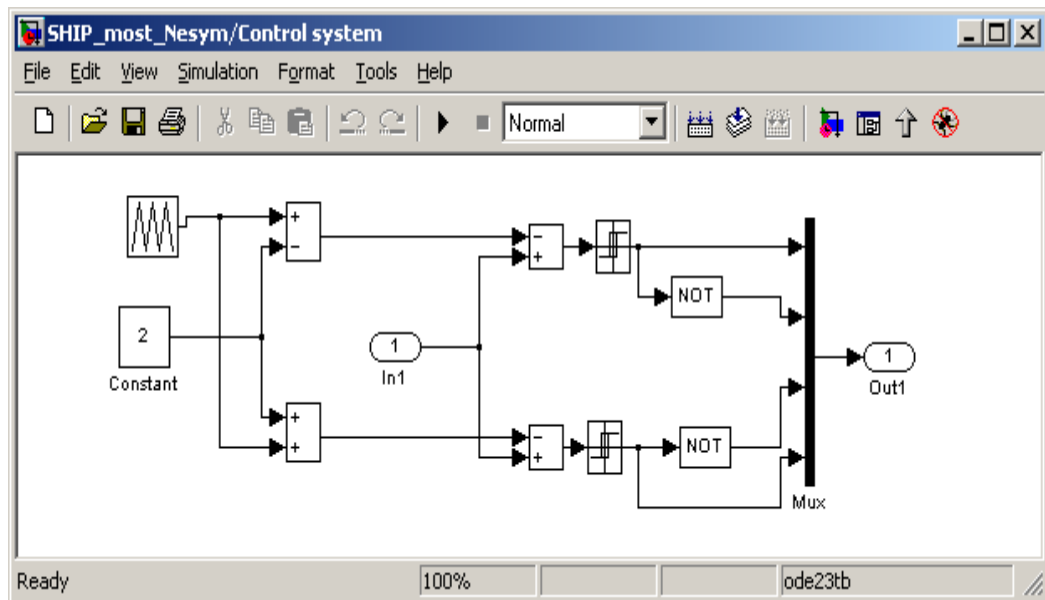


Рис. 2.2. Модель блока управления.

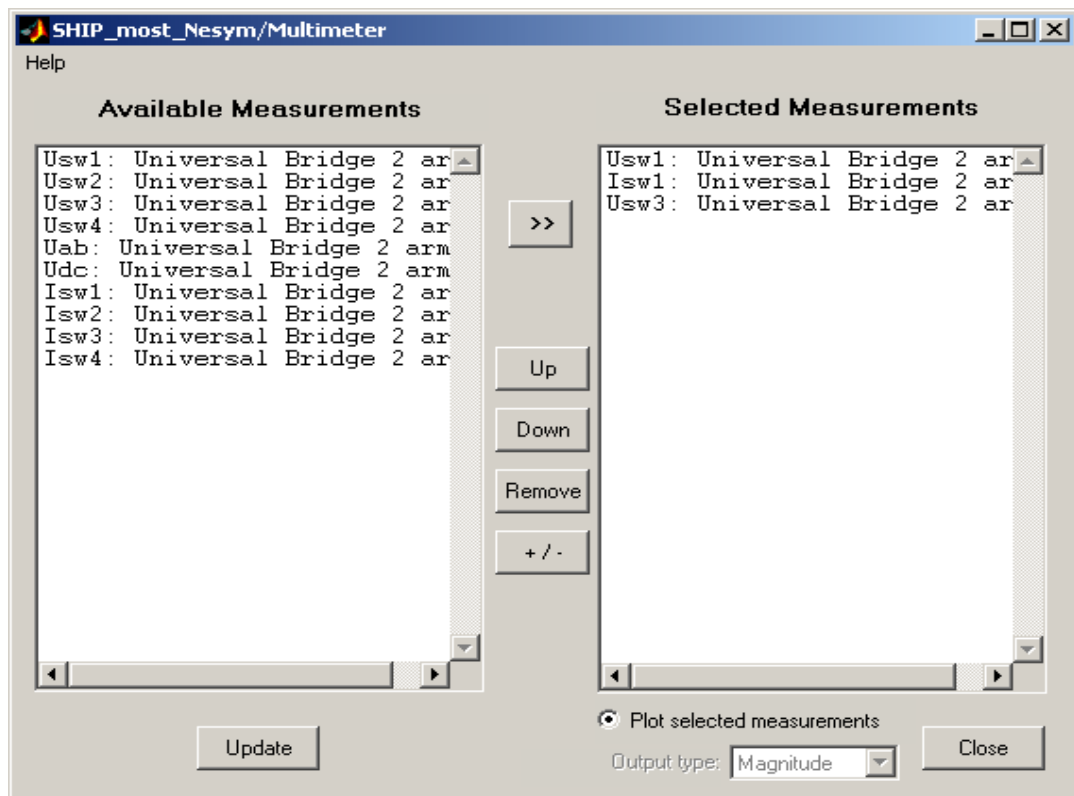


Рис. 2.3. Окно настройки параметров блока *Multimeter*.

Предварительное задание.

1. Нарисовать принципиальную схему мостового широтно – импульсного преобразователя с симметричным законом управления.
2. Показать графически принцип работы данной схемы.

Средний ток в источнике питания определяется по показаниям *Display 1*. На блоке *Display* измеряемые величины представлены в следующей последовательности:

(1) – средний ток нагрузки. (2) – среднее напряжение на нагрузке. (3) – средний ток в силовом полупроводниковом модуле. (4) – действующий ток в силовом полупроводниковом модуле. Мгновенные значения тока питания, нагрузки и напряжения на нагрузке можно наблюдать на экране осциллоскопа (рис. 2.4.).

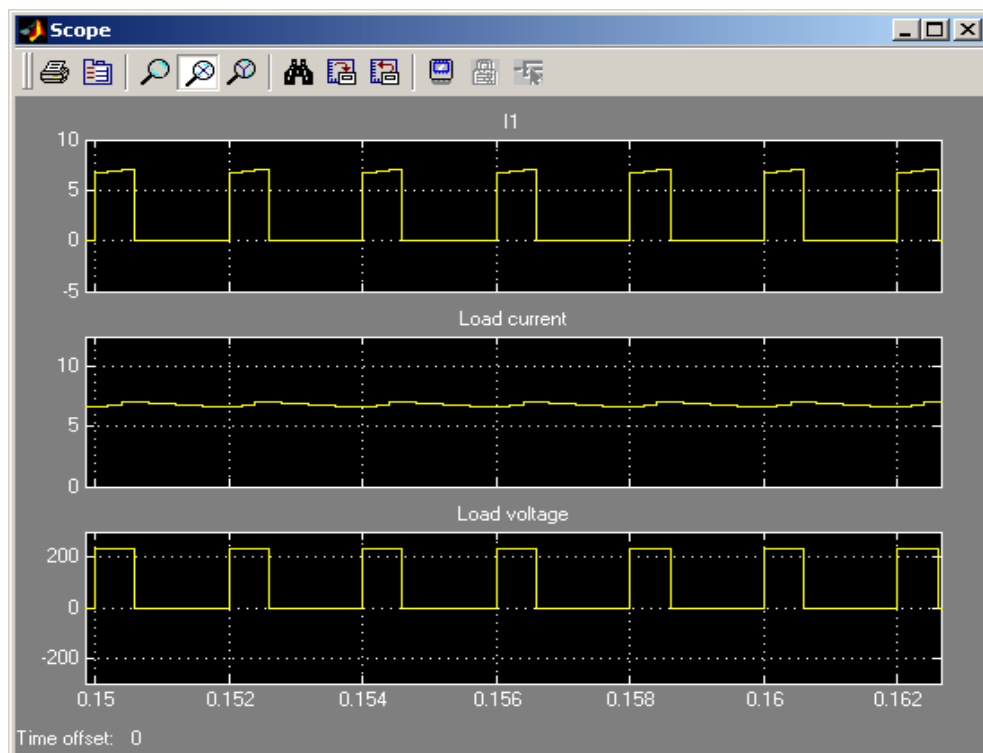


Рис. 2.4. Осциллограммы тока питания, нагрузки и напряжения на нагрузке.

В графическом окне блока *Multimeter* (рис. 2.5) наблюдается и определяется максимальные напряжения и ток силового полупроводникового модуля.

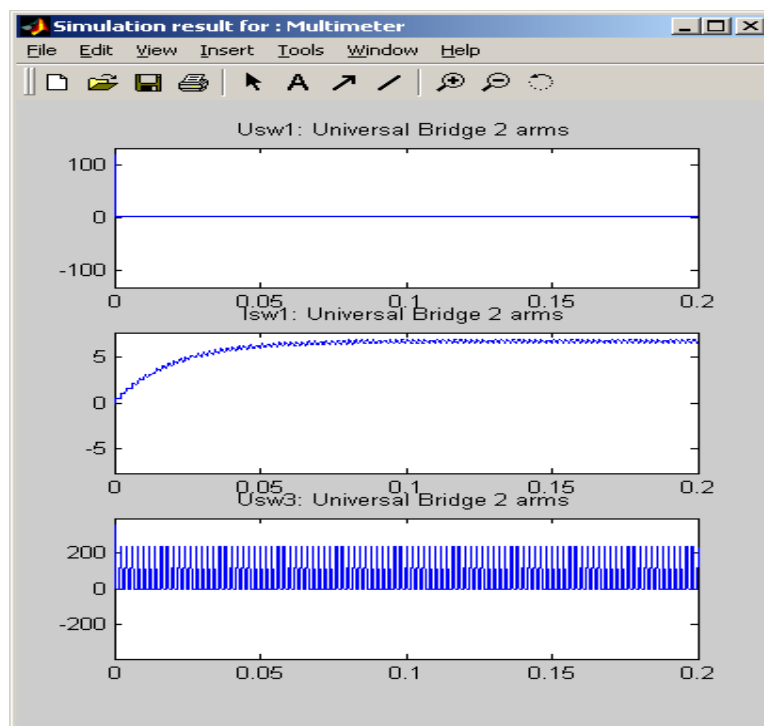


Рис. 2.5. Напряжение и ток силового полупроводникового модуля.

Относительная продолжительность импульса напряжения на нгрузке определяется по формуле:

$\gamma = t_u / T_0$, где T_0 - период напряжения ГПН, а t_u определяется по осциллограмме *Load Voltage* (рис.2.4) на горизонтали, соответствующей напряжению $U_{\max}/2$ (В).

Мощность в цепи питания рассчитывается по выражению:

$$P_I = U_{II} \times I_I \text{ (Вт)}, \text{ где } U_{II} \text{ - напряжение питания.}$$

Квазистатические потери в силовом полупроводниковом модуле рассчитываются по уравнению:

$$P_T = V_f I_T + R_{on} [I_T(RMS)]^2, \text{ где } V_f \text{ - параметры силового модуля;}$$

$I_T(RMS)$ - его средний и действующий ток (табл. 2.1).

Мощность в нагрузке определяется по выражению:

$$P_H = U_H I_H \text{ (Вт)}.$$

По результатам таблицы 2.1 строятся:

- регулировочные характеристики ШИП $U_H = f(\gamma)$;
- энергетические характеристики ШИП $I_I, I_{TRMS}, I_T, I_{Tmax} = f(I_H)$
- $P_I, P_T = f(P_H)$.

Контрольные вопросы.

1. Назначение мостового широтно – импульсного преобразователя с несимметричным законом управления?
2. Достоинства и недостатки ШИП с несимметричным управлением?

Содержание отчета.

1. Схема виртуальной установки.
2. Выражение для расчета основных характеристик.
3. Регулировочные характеристики при трех заданных э.д.с. нагрузки.
4. Энергетические характеристики при трех заданных э.д.с. нагрузки.
5. Выводы по работе.

3. Исследование понижающего регулятора постоянного напряжения.

Цель работы.

Исследование понижающего регулятора постоянного напряжения при работе на активно – емкостную нагрузку.

Описание виртуальной лабораторной установки.

- источник постоянного напряжения (240 В);
- активно – емкостная нагрузка (R, C);

- обратный диод (*Diode*);
- последовательную накопительную индуктивность (дроссель) (*Series L*);
- измерители мгновенных токов в источнике питания (*I I*) и нагрузке (*I Load*);
- измеритель мгновенного напряжения на нагрузке (*U Load*);
- блок для измерения среднего значения тока питания (*Fourier I1*);
- блок для измерения среднего значения тока нагрузки (*Fourier I0*);
- блок для измерения среднего значения напряжения на нагрузке (*Fourier U0*);
- блок для измерения действующего значения тока силового полупроводникового модуля (*RMS T*);
- блок для наблюдения (измерения) мгновенных значений тока в цепи питания, тока нагрузки и напряжения на нагрузке (*Score*);
- блок для наблюдения (измерения) мгновенных значений тока и напряжения силового модуля (*Score1*);
- блок для измерения среднего значения тока в цепи питания (*Display 1*);
- блок для измерения величины среднего значения тока и напряжения на нагрузке, а также среднего и действующего тока в силовом полупроводниковом модуле (*Display*);
- блоки *Mux* и *Demux* для собирания и разделения сигналов;
- силовой транзисторный модуль на *MOSFET* – транзисторе с обратным диодом (*Mosfet*);
- импульсный генератор (*Pulse Generator*) для управления модулем.

Большинство примененных блоков описаны в предыдущих работах.

Окно настройки параметров силового полупроводникового модуля показано на рисунке 3.2.

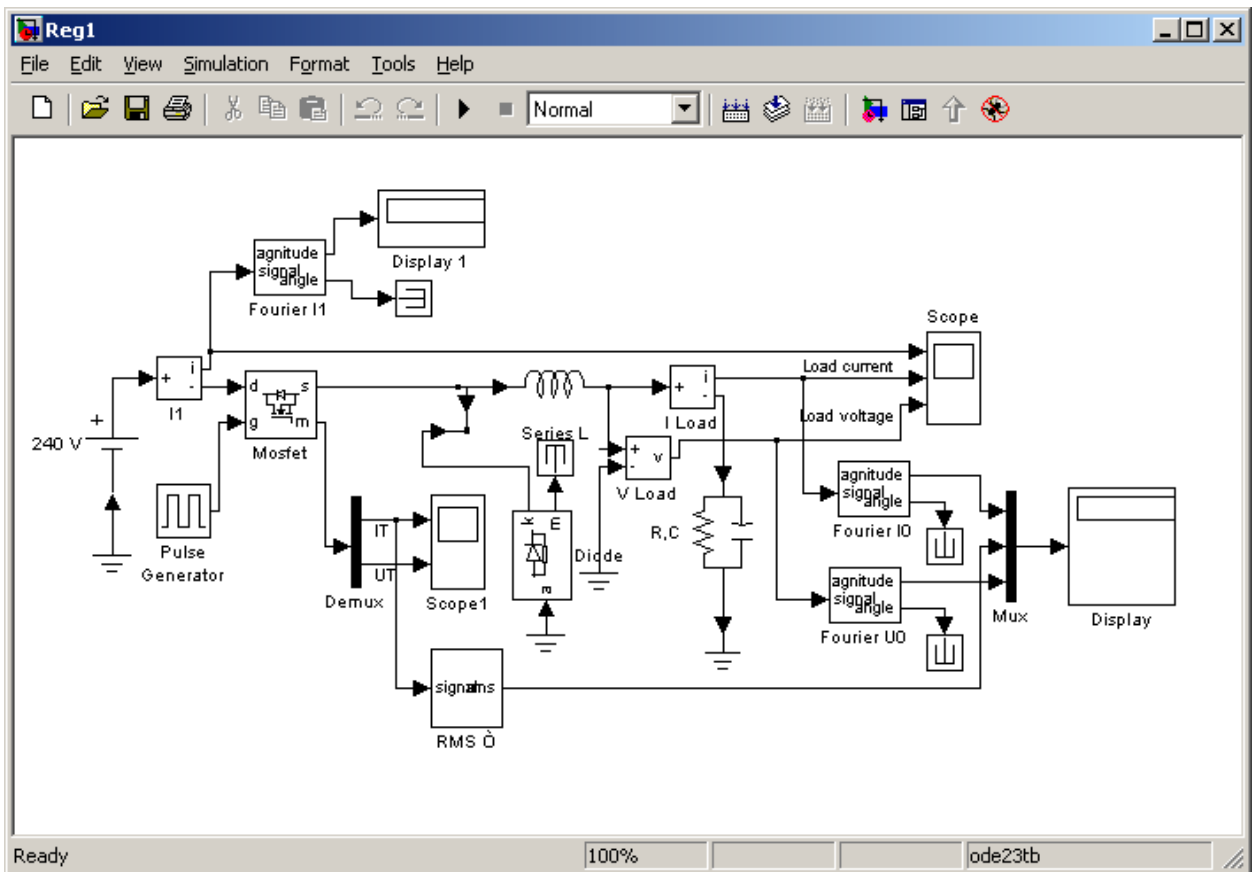


Рис. 3.1. Модель понижающего регулятора постоянного напряжения.

В полях заданы:

- динамическое сопротивление полупроводникового транзистора в открытом состоянии в Омах (R_{on} , $Ohms$);
- индуктивность транзистора в открытом состоянии в генри (L_{on} , H);
- сопротивление обратного диода в открытом состоянии в омах (R_d);
- начальный ток в модуле;
- параметры демпфирующих цепей ($Snubber\ resistance$, $Snubber\ capacitance$);

Параметры генератора задаются в окне параметров (рис. 3.3) в исследуемой модели установлены следующие параметры генератора:

- период напряжения $T_0 = 0.001$ с. (частота $f_0 = 1000$ Гц);
- амплитуда напряжения – 1 В;

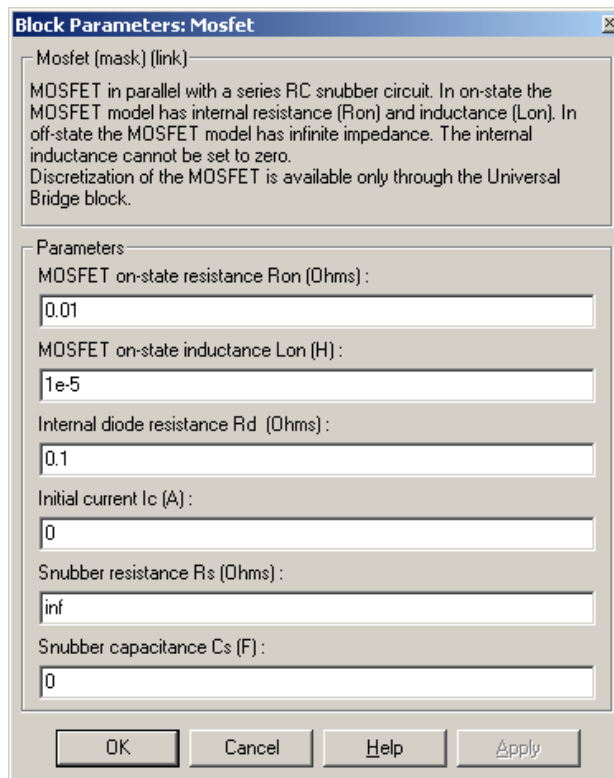


Рис. 3.2. Окно настройки параметров силового модуля.

Окно настройки параметров нагрузки показано на рисунке 3.4. Для реализации активно – емкостной нагрузки и параллельной R, L, C – цепи в первом и третьем полях (*Resistance R, Ohms, Capacitance C, F*) устанавливается значение активного сопротивления в Омах и емкости в фарадах, во втором поле (*Inductance L, H*) – бесконечность (*inf*).

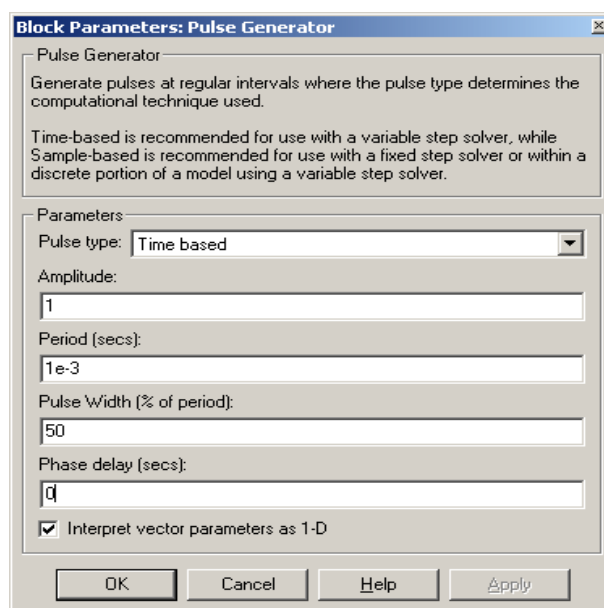


Рис. 3.3. Окно настройки параметров генератора.

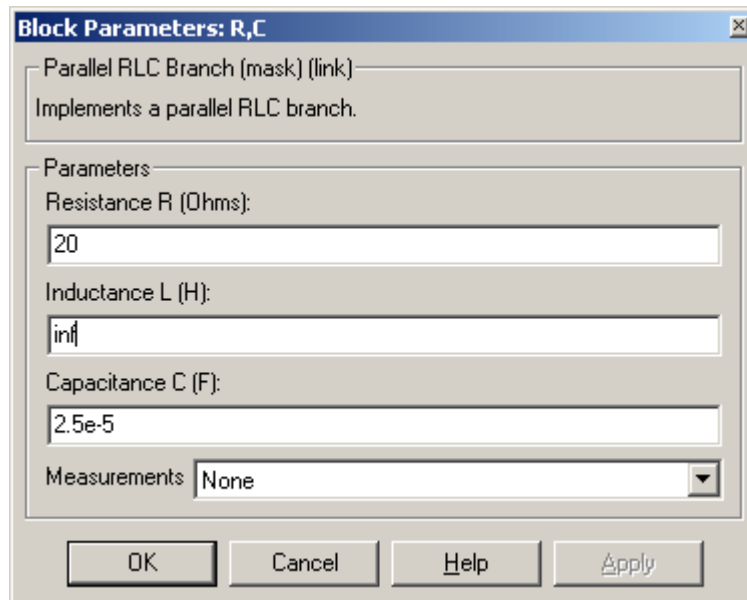


Рис. 3.4. Окно настройки параметров нагрузки.

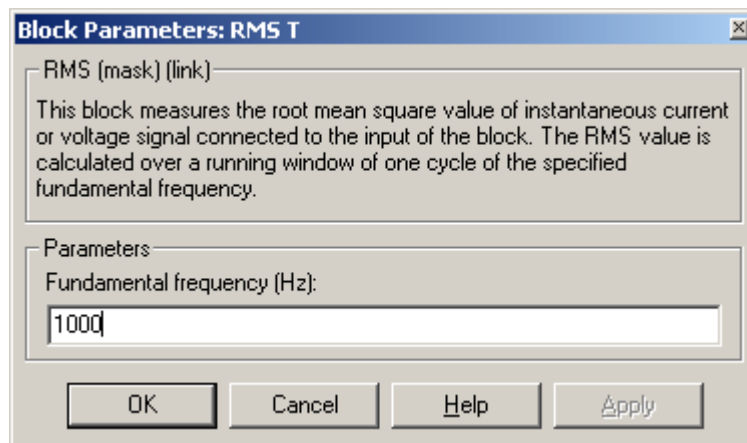


Рис. 3.5. Окно блока для измерения действующего тока.

Предварительное задание.

1. Нарисовать электрическую принципиальную схему понижающего регулятора постоянного напряжения.
2. Показать графически принцип его работы.
3. Полученные результаты сравнить с предварительными.

Рабочее задание.

Средний ток в источнике питания определяется по показаниям *Display 1*. На блоке *Display* измеряемые величины представлены в следующей последовательности: (1) – средний ток нагрузки. (2) – среднее напряжение на нагрузке. (3) – действующий ток в силовом полупроводниковом модуле. Мгновенные значения тока питания, нагрузки и напряжения на нагрузке можно наблюдать на экране осциллоскопа (рис. 3.6).

Мгновенные значения тока и напряжения силового модуля можно наблюдать на экране осциллоскопа (*Score 1*, рис. 3.7).

Относительная продолжительность импульса напряжения на нагрузке определяется как длительность импульса генератора, поделенная на 100.

Мощность в цепи питания рассчитывается по выражению:

$$P_I = U_{II} I_I \text{ (Вт)}, \text{ где } U_{II} \text{ - напряжение источника питания.}$$

Квазистатические потери в силовом полупроводниковом модуле рассчитываются по уравнению:

$$P_T = R_{on} [I_T(RMS)]^2, \text{ где } R_{on} \text{ - параметры силового модуля (рис. 3.2),}$$

$I_T(RMS)$ – его действующий ток (табл. 3.1).

Мощность на нагрузке определяется по выражению:

$$P_H = U_H I_H \text{ (Вт)}.$$

По результатам таблицы 3.1 строятся:

- регулировочные характеристики регулятора $U_H = f(\gamma)$;

- энергетические характеристики регулятора $I_I, I_T(RMS), I_T, I_{Tmax} = f(I_H)$

$$P_I, P_T = f(P_H).$$

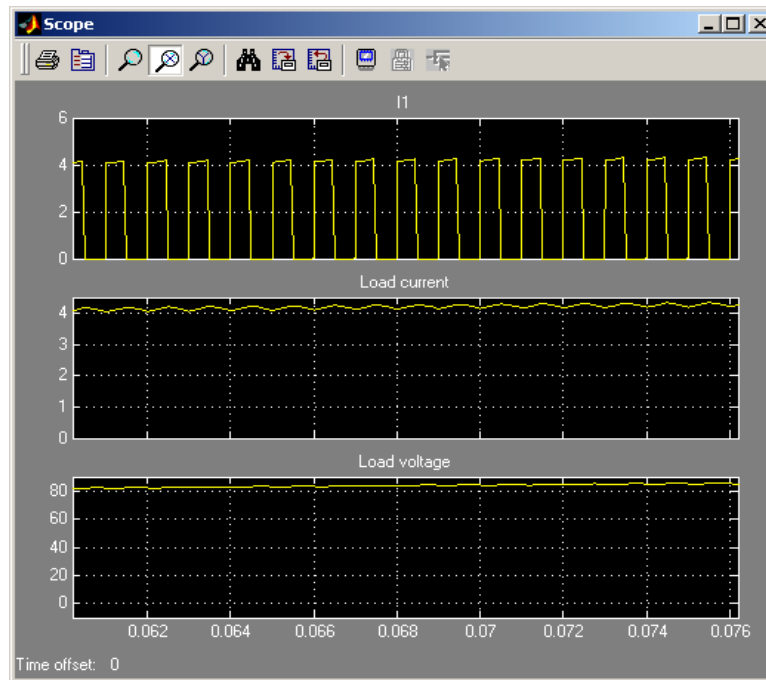


Рис. 3.6. ток питания, нагрузки и напряжение на нагрузке.

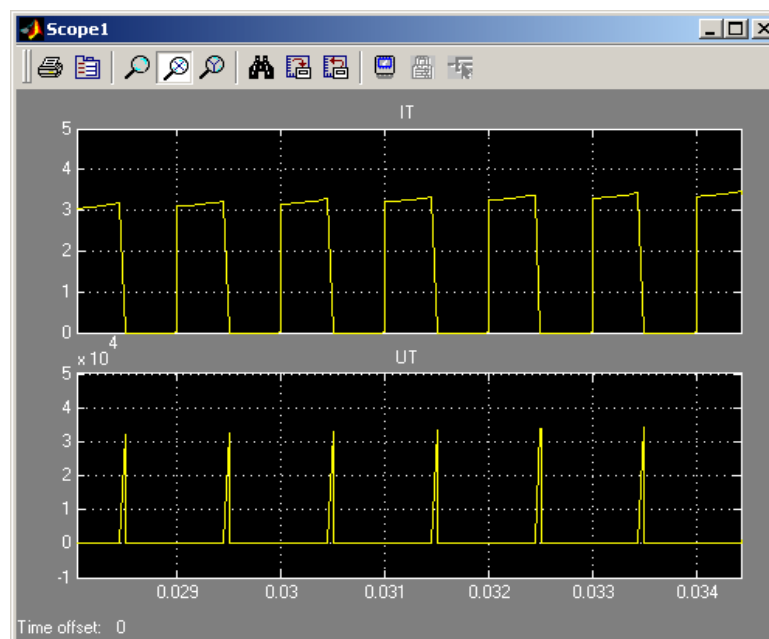


Рис. 3.7. Ток и напряжение силового модуля.

Контрольные вопросы.

1. Назначение понижающего регулятора постоянного тока, область применения?
2. В чем особенности работы регулятора на активно – емкостную нагрузку?

3. Достоинства и недостатки понижающего регулятора постоянного напряжения?

Содержание отчета.

1. Схема виртуальной установки.
2. Выражение для расчета основных характеристик.
3. Регулировочная характеристика
4. Энергетические характеристики.
5. Выводы по работе.

4. Повышающий регулятор постоянного напряжения.

Цель работы.

Целью работы является : освоение методики экспериментального исследования регулятора постоянного напряжения при работе на активно – емкостную нагрузку и получение опытным путем основных характеристик и сопоставление их с расчетными на основе теоретического анализа.

Описание виртуальной лабораторной установки.

Виртуальная лабораторная установка для исследований регулятора показана на рисунке 4.1. Она содержит все те же блоки, что и лабораторная работа № 3.

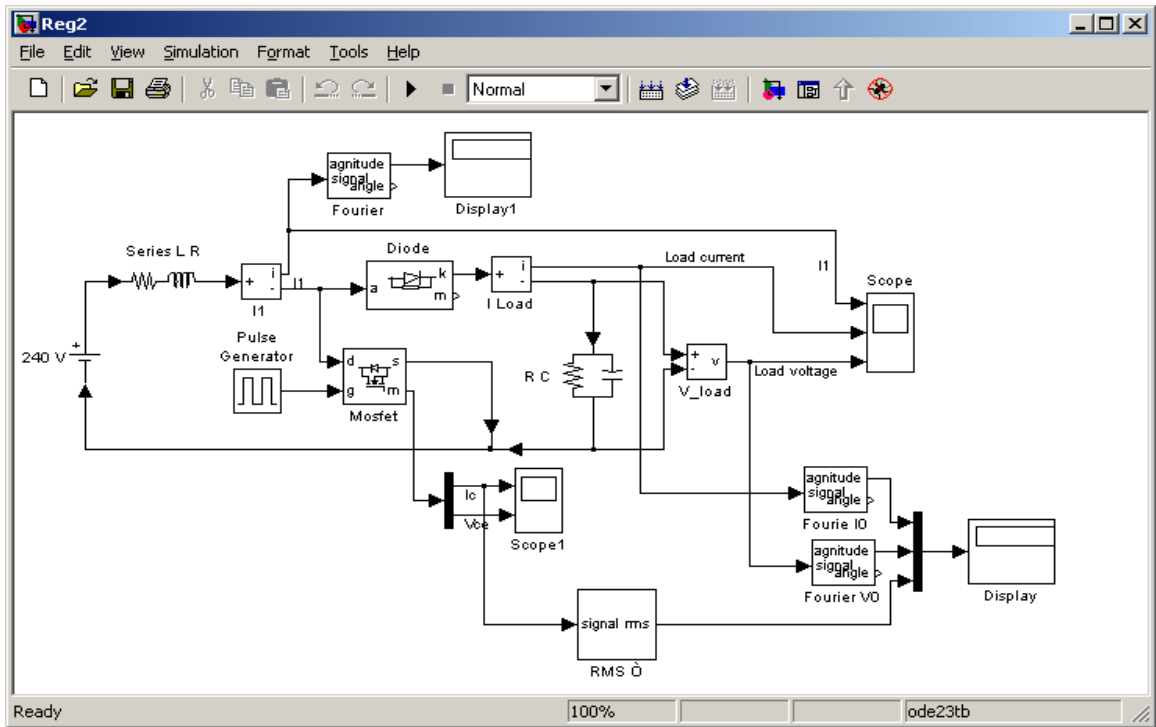


Рис. 4.1. Модель повышающего регулятора постоянного напряжения.

Предварительное задание.

1. Нарисовать схему повышающего регулятора постоянного напряжения.
2. Показать графически порядок работы схемы регулятора.
3. Сравнить предварительные результаты с результатами проведенного эксперимента.

Рабочее задание.

Исследование регулировочной, внешней и энергетических характеристик повышающего регулятора постоянного напряжения при работе на активно – емкостную нагрузку.

Методические указания по выполнению работы.

Исследование регулировочных, внешних и энергетических характеристик понижающего регулятора постоянного напряжения при работе

на активно – емкостную нагрузку проводится на виртуальной установке (рис. 4.1).

1. Параметры силового полупроводникового модуля задаются соответственно варианту. Величина последовательной индуктивности равна 0.5 Гн. Параметры моделирования задаются на вкладке *Simulation/parameters*.

2. Последовательный дроссель имеет параметры $L_1 = 0.02$ Гн, $R_1 = 2$ Ом, $L_H = 1000$ мкФ.

При снятии характеристик параметры R, C нагрузки остаются без изменений, изменяется длительность импульса генератора (Duty cycle) от 0% до 100% с шагом 20%.

Указания к обработке результатов измерений.

Моделирование проводится для каждого значения длительности импульса генератора (длительности включенного состояния силового модуля). Результаты моделирования и последующих вычислений заносятся в таблицу 4.1.

Исходные данные модели: $U_{П}(В)$, $f_0(Гц)$, $C_H(Ф)$, R_H (Ом), L_1 (Гн) $R_1(Ом)$.

Таблица 4.1.

Данные	Измерения						Вычисления		
γ	I_H	U_H	I_1	I_{TRMS}	U_{Tmax}	I_{Tmax}	P_I	P_τ	P_H
	А	В	А	А	В	А	Вт	Вт	Вт

Средний ток в источнике питания определяется по показаниям *Display 1*. На блоке *Display* измеряемые величины представлены в следующей последовательности: (1) – средний ток нагрузки. (2) – среднее напряжение на нагрузке. (3) – действующий ток в силовом полупроводниковом модуле. Мгновенные значения тока питания, нагрузки и напряжения на нагрузке можно наблюдать на экране осциллоскопа (рис. 4.2).

Мгновенные значения тока и напряжения силового модуля можно наблюдать на экране осциллоскопа (*Scope 1*, рис. 4.3).

Относительная продолжительность импульса напряжения на нагрузке определяется как длительность импульса генератора, поделенная на 100.

Мощность в цепи питания рассчитывается по выражению:

$$P_I = U_{II} I_I \text{ (Вт)}, \text{ где } U_{II} \text{ - напряжение источника питания.}$$

Квасистатические потери в силовом полупроводниковом модуле рассчитываются по уравнению:

$$P_T = R_{on} [I_T(RMS)]^2, \text{ где } R_{on} \text{ – параметры силового модуля, } I_T(RMS) \text{ – его действующий ток (табл. 4.1).}$$

Мощность на нагрузке определяется по выражению:

$$P_H = U_H I_H \text{ (Вт).}$$

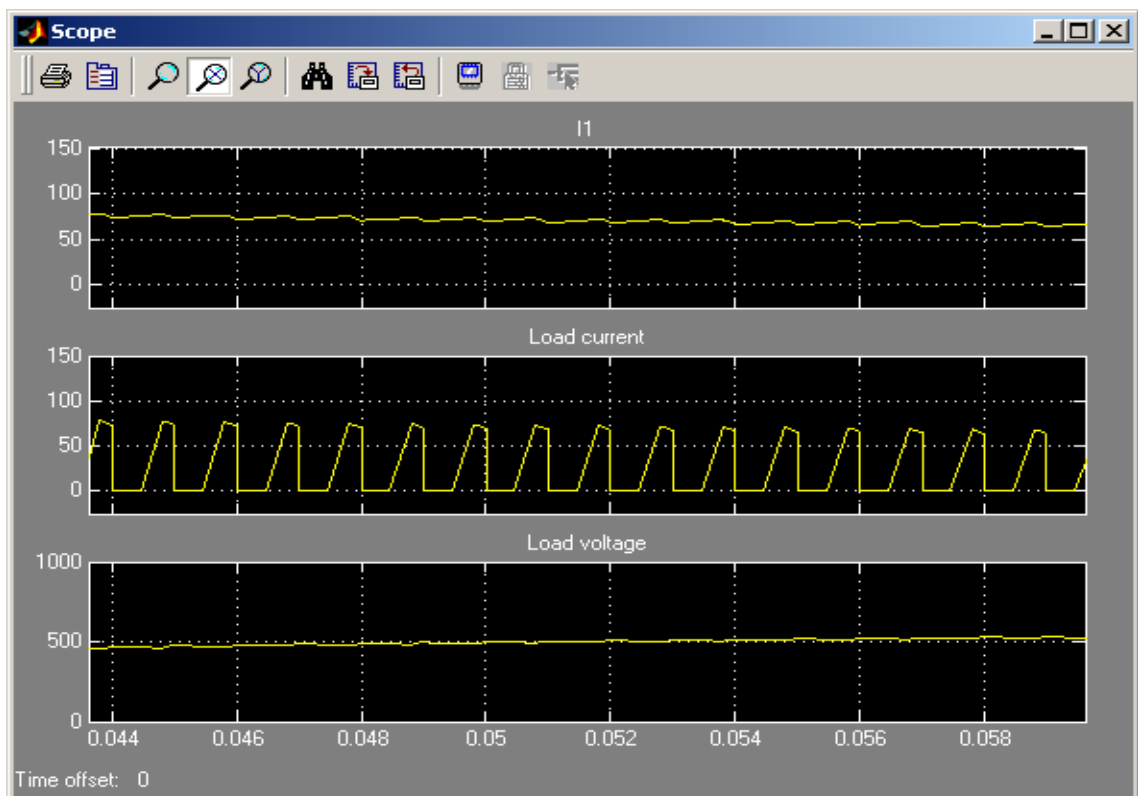


Рис. 4.2. Ток питания и напряжение на нагрузке регулятора.

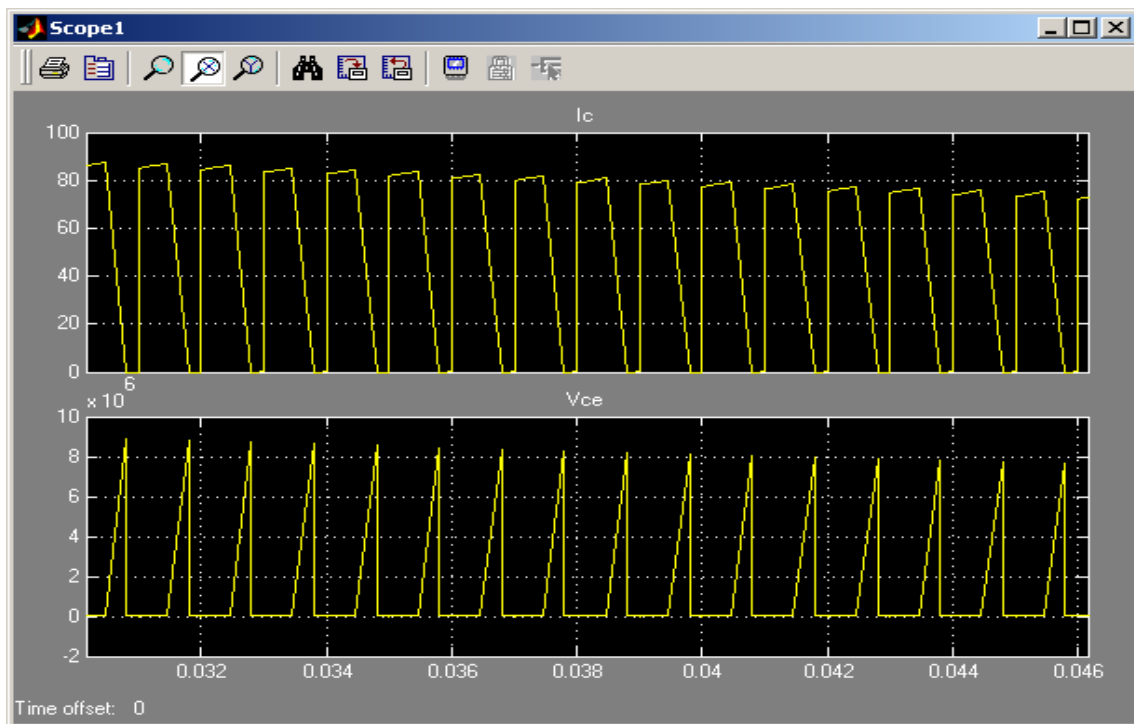


Рис. 4.3. Мгновенные значения тока и напряжения силового модуля.

По результатам таблицы 4.1 строятся:

- регулировочные характеристики регулятора $U_H = f(\gamma)$;
- энергетические характеристики регулятора $I_1, I_{T_{RMS}}, I_T, I_{T_{max}} = f(I_H)$
- $P_1, P_T = f(P_H)$.

Контрольные вопросы.

1. Назначение сфера применения повышающего регулятора постоянного напряжения?
2. Достоинства и недостатки повышающего регулятора напряжения?

Содержание отчета.

1. Схема виртуальной установки.
2. Выражение для расчета основных характеристик.
3. Регулировочная характеристика
4. Энергетические характеристики.
5. Выводы по работе.