

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

Кафедра электроэнергетики и автоматики

Утверждено
научно-методическим советом
университета

«Силовая электроника»

Методические указания к выполнению лабораторных работ для
студентов направления бакалавриата 13.03.02
Электроэнергетика и электротехника, профиль подготовки
электропривод и автоматика

Часть 1

Белгород
2018

УДК 621.
ББК
С36

Составители: канд. техн. наук, доц. Скурятин Ю.В.,
асс. Прокопишин Д.И.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Бажанов А.Г.

Силовая электроника [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления бакалавриата 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника профиль подготовки электропривод и автоматика: 2 ч. / сост.: Ю.В. Скурятин, Д.И.Прокопишин. Электрон. текстовые данные. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. – Ч.1. – 28 с.

В методических указаниях приведены рекомендации по подготовке к лабораторным работам, дан порядок выполнения лабораторных работ и указания по оформлению отчетов по лабораторным работам. Методические указания содержат контрольные вопросы.

Издание публикуется в авторской редакции.

УДК 621.
ББК
С36

© Ю. В. Скурятин, 2018
© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2018

Содержание

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
2 ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ	5
Лабораторная работа №1 Исследование ключевого режима работы силовых полупроводниковых приборов	
Лабораторная работа №2 Исследование однофазного мостового управляемого выпрямителя	
Лабораторная работа №3 Исследование трехфазного мостового управляемого выпрямителя	
Лабораторная работа №4 Исследование однофазного мостового автономного инвертора напряжения	
Лабораторная работа №5 Исследование трехфазного мостового автономного инвертора напряжения	
Список рекомендованной литературы	

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В данной работе приведены методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу "Силовая электроника".

Целью лабораторных занятий является закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях и в результате самостоятельной работы студента, и приобретение умений и навыков экспериментального исследования устройств силовой электроники. Выполнение лабораторной работы включает:

- домашнюю подготовку;
- проведение эксперимента;
- обработку результатов;
- защиту работы.

Тщательная домашняя подготовка является залогом успешного выполнения лабораторной работы. Домашняя подготовка осуществляется в соответствии с заданием, приведенным в указаниях к каждой лабораторной работе. Бланк отчета с результатами домашней подготовки составляется студентом и является основным документом при допуске к работе.

Работа в лаборатории выполняется бригадами по три или четыре человека каждая. Бригада получает право приступить к сборке электрической схемы только после короткого собеседования с преподавателем по материалу домашней подготовки. Результаты эксперимента заносятся в заготовленные таблицы, схемы разбираются только после того, как полученные результаты будут проверены и зафиксированы преподавателем.

Отчет о работе оформляется каждым студентом самостоятельно. Для этого выполняются необходимые расчеты, построения, графики и диаграммы, проводится анализ полученных экспериментальным путем данных и сопоставление их с расчетными параметрами.

При защите лабораторных отчетов студент обязан знать:

- цель работы и ее наименование
- порядок выполнения и методику измерений
- наименование и характеристику используемых элементов электрической цепи;
- теоретический материал по теме работы и расчетные формулы для обработки результатов измерений.

Защита лабораторных работ проводится на специально выделенных для этого занятиях индивидуально каждым студентом. Для подготовки к защите лабораторных работ составлены

контрольные вопросы и задачи, которые приведены в указаниях к каждой работе.

2 ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторных работ необходимо помнить об опасности поражения электрическим током и соблюдать меры предосторожности. Каждый студент, приступающий к занятиям в лаборатории, обязан сначала пройти инструктаж, ознакомиться с инструкцией по технике безопасности, имеющейся в лаборатории, расписаться в регистрационном журнале. Приступая к выполнению лабораторной работы необходимо помнить и строго соблюдать следующие правила техники безопасности:

- прежде чем приступить к соединению элементов электрической цепи, необходимо убедиться, что выключатели, размещенные на лицевой панели блока питания стенда, находятся в выключенном состоянии;

- категорически запрещается прикасаться к неизолированным соединительным зажимам и другим частям электрической цепи, находящейся под напряжением;

- включать выключатели блока питания можно только с разрешения преподавателя после проверки им схем

- всякие изменения в схеме должны производиться при выключенных выключателях, причем после каждого пересоединения схема обязательно проверяется преподавателем;

- особую осторожность следует соблюдать при исследовании цепей с последовательным соединением индуктивностей и емкостей, поскольку в таких цепях возможно возникновение резонансных перенапряжений;

- запрещается оставлять без надзора электрическую цепь под напряжением;

- прежде чем разбирать электрическую цепь, необходимо убедиться, что все источники питания отключены;

- в случае прекращения подачи электрической энергии или других аварийных ситуациях, исследуемая установка должна быть немедленно отключена от питающей сети, а студенты должны сообщить об этом преподавателю; студент несет персональную ответственность за нарушение порядка и правил безопасности в лаборатории, а в случае порчи приборов и оборудования – материальную ответственность.

Лабораторная работа №1

Исследование ключевого режима работы силовых полупроводниковых приборов

Цель работы – исследование электромагнитных переходных процессов, возникающих при коммутации силовых полупроводниковых приборов (СПП), исследование тепловых процессов в СПП.

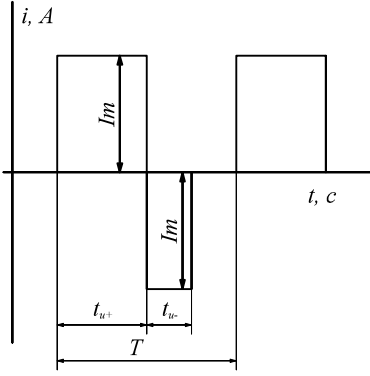
1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить теоретический материал, в котором рассматриваются силовые полупроводниковые приборы [1, с. 96–113; 2, с. 17–36]. Усвоить характер электромагнитных переходных процессов протекающих при включении и выключении СПП (диодов, тиристоров, полевых транзисторов, биполярных транзисторов с изолированным затвором), природу возникновения потерь мощности в СПП и методику их расчета, методику теплового расчета СПП.

1.2. По заданному в табл.1.1 параметрам выполнить расчет потерь мощности в биполярном транзисторе с изолированным затвором.

Таблица 1.1

Исходные данные для домашнего задания

Форма тока	$t_{и+}$	$t_{и-}$	f	I_m	Тип СПП
	мкс	мкс	кГц	А	-
	50	40	10	15	IRG4PC30KD

1.3. Изучить порядок выполнения работы. Подготовить бланк отчета, который должен содержать решение задания из подраздела 1.2, схемы и таблицы из раздела 2 «Порядок выполнения работы».

2 Порядок выполнения работы

2.1. Исследование электромагнитных переходных процессов при включении и выключении СПП.

2.1.1. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис.1.1.

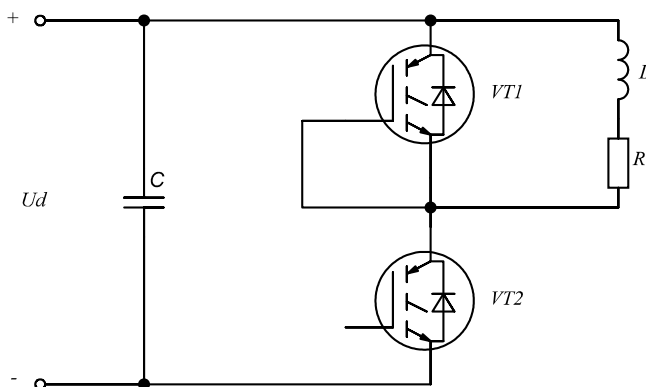


Рис.1.1 Электрическая принципиальная схема исследования электромагнитных переходных процессов при коммутации СПП

2.1.2. На вход драйвера подключить выход генератора прямоугольных импульсов. Установить частоту $f=1$ кГц.

2.1.3. Подать питание на схему. Для режимов включения и выключения снять осциллограммы напряжения затвор-эмиттер, тока коллектора, напряжения коллектор-эмиттер транзистора VT2. Осциллограммы зарисовать, синхронизируясь с напряжением затвор-эмиттер.

В отдельной системе координат зарисовать осциллограммы процесса выключения обратного диода, для чего необходимо снять осциллограммы тока через диод и напряжение на диоде, который включен параллельно транзистору VT1.

2.1.4. Температурное поле поверхности прибора и охладителя.

2.2. Исследование влияния паразитной индуктивности шины питания на переходный процесс.

2.2.1. Включить в цепь источника питания индуктивность $L_0=10\text{мкГн}$, как показано на рис.1.2, и выполнить п. 2.1.2, 2.1.3.

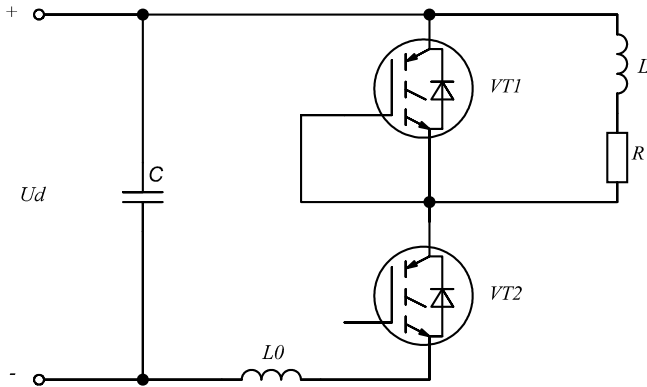


Рис.1.2 Электрическая принципиальная схема исследования электромагнитных переходных процессов при коммутации СПП с учетом паразитной индуктивности

2.2.2. Включить в цепь источника питания индуктивность $L_0=10\text{мкГн}$ и выполнить п. 2.1.2, 2.1.3.

2.3. Исследование влияния снабберной цепи на переходный процесс при коммутации.

2.3.1. Включить в схему снабберную цепь, как показано на рис.1.3.

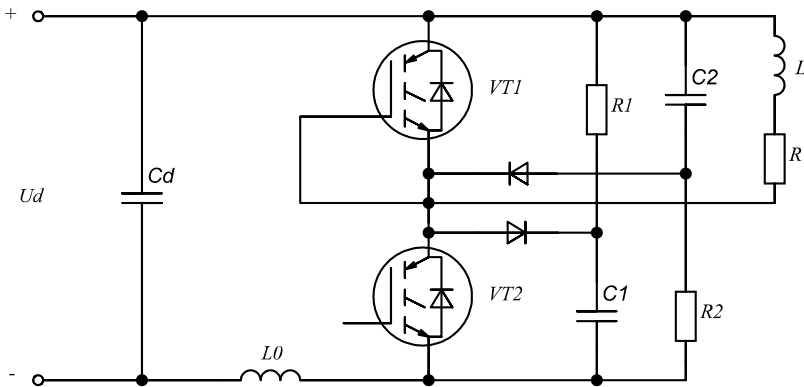


Рис.1.2 Электрическая принципиальная схема исследования электромагнитных переходных процессов при коммутации СПП с учетом паразитной индуктивности

2.3.2. Выполнить п. 2.1.2, 2.1.3.

3 Обработка результатов измерений

3.1. По осциллограммам снятым в подразделе 2.1 – 2.3 определить следующие параметры: время фронта t_{rg} и время спада t_{fg} напряжения затвор эмиттер; $t_{d(off)}$ время задержки выключения; время спада тока коллектора при выключении t_f ; время выключения t_{off} ; $t_{d(on)}$ время задержки включения; время фронта тока коллектора при включении t_r ; время включения t_{on} ; энергию при включении и выключении $E_{(on)}$, $E_{(off)}$; время восстановления запирающих свойств обратного диода t_{rr} ; максимальный ток обратного восстановления I_{rr} ; энергию, выделяющуюся в диоде при восстановлении запирающих свойств E_{rec} . Результаты занести в табл.1.2.

Таблица 1.2

Характеристики процесса коммутации

t_{rg}	t_{fg}	$t_{d(off)}$	t_f	t_{off}	$t_{d(on)}$	t_r	t_{on}	$E_{(on)}$	$E_{(off)}$	t_{rr}	I_{rr}	E_{rec}

3.2. Сделать выводы по проделанным исследованиям.

4 Контрольные вопросы

- 4.1. Поясните суть ключевого режима работы транзистора.
- 4.2. Характеристики включения и выключения тиристорov.
- 4.3. Характеристики включения и выключения транзисторов.
- 4.4. Формирование траекторий переключения.
- 4.5. Драйверы биполярных транзисторов с изолированным затвором.
- 4.6. Снабберные цепи.

Лабораторная работа №2

Исследование однофазного мостового управляемого выпрямителя

Цель работы – экспериментальное исследование свойств трехфазного мостового управляемого выпрямителя, определение его основных параметров и характеристик

1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить теоретический материал, в котором рассматриваются выпрямители [3, с. 22–92; 4]. Усвоить принципы преобразования переменного тока в постоянный, основные параметры и характеристики выпрямителей, устройство и принцип действия управляемых выпрямителей. Усвоить физическую сущность коммутационных процессов в управляемых выпрямителях и влияние коммутации на свойства выпрямителей.

1.2. Изучить порядок выполнения работы и подготовить бланк отчета, который должен содержать схемы и таблицы из раздела 2 «Порядок выполнения работы».

2 Порядок выполнения работы

2.1. Исследование работы трехфазного мостового управляемого выпрямителя на активную нагрузку.

2.1.1. Собрать схему трехфазного мостового управляемого выпрямителя, приведенную на рис.2.1.

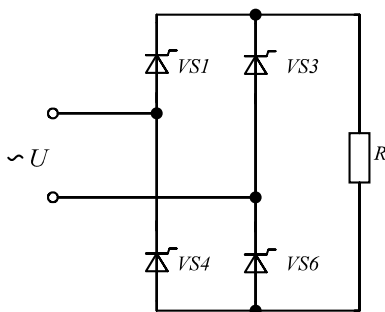


Рис.2.1. Принципиальная электрическая схема трехфазного мостового управляемого выпрямителя

2.1.2 Подключить выходы системы управления, собранной на базе комплекта разработчика компании «Миландр», к входам цепей управления тиристорами выпрямителя. (При коммутации и включении системы управления необходимо руководствоваться указаниями преподавателя).

2.1.3. Подать питание на схему. Установить угол управления $\alpha=0^\circ$. Снять осциллограммы выпрямленного напряжения U_d , выпрямленного тока I_d , тока протекающего через тиристор VS1 и напряжения на тиристоре VS1, фазных и линейных напряжений вторичной обмотки трансформатора.

2.1.4. Выполнить п.2.1.3 при установленном значении угла управления равном $\alpha=30^\circ$.

2.1.5. Выполнить п.2.1.3 при установленном значении угла управления равном $\alpha=60^\circ$.

2.1.6. Выполнить п.2.1.3 при установленном значении угла управления равном $\alpha=90^\circ$.

2.1.7. Изменяя угол управления в диапазоне от 0° до 180° с шагом 10° измерить вольтметром PV1 значения выпрямленного напряжения U_d . Результаты измерений занести в табл.2.1.

Таблица 2.1

Регулировочная характеристика выпрямителя

Нагрузка	$\alpha, ^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	...	180
R	U_d, B													
RL	U_d, B													
RLD	U_d, B													

2.1.8. Установить угол управления равным $\alpha=0^\circ$. Снять внешнюю характеристику выпрямителя (зависимость $U_d=f(I_d)$), изменяя ток I_d в диапазоне от 0 (ключ SAx разомкнут) до $2\div 2,5A$. Изменение тока необходимо осуществлять посредством регулирования сопротивления R_n . Результаты измерений занести в табл.2.2.

Таблица 2.2

Внешняя характеристика выпрямителя

Нагрузка	I_d, A	0												
R	U_d, B													
RL	U_d, B													
RLD	U_d, B													

2.1.9. Выполнить п.2.1.8 при установленном значении угла управления равном $\alpha=30^\circ$.

2.1.10. Выполнить п.2.1.8 при установленном значении угла управления равном $\alpha=60^\circ$.

2.2. Исследование работы трехфазного мостового управляемого выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.

2.2.1. В цепь постоянного тока выпрямителя вместо активной нагрузки подключить активно-индуктивную нагрузку.

2.2.2. Выполнить п. 2.1.3 – 2.1.10.

2.3. Исследование трехфазного мостового управляемого выпрямителя с обратным диодом при работе на активно-индуктивную нагрузку.

2.3.1. Параллельно нагрузке подключить обратный диод, как показано на рис.2.2.

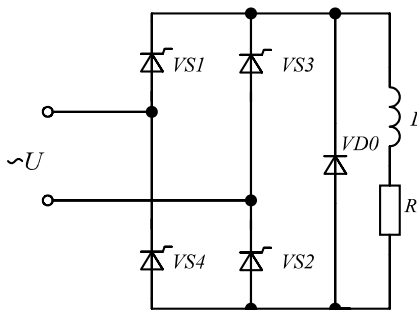


Рис.2.2. Принципиальная электрическая схема трехфазного мостового управляемого выпрямителя с обратным диодом

2.3.2. Выполнить п. 2.1.3 – 2.1.10.

3 Обработка результатов измерений

3.1. Для каждого комплекта осциллограмм, полученного в результате выполнения подразделов 2.1–2.3, определить: угол управления, максимальное прямое и обратное напряжения, которое прикладывается к тиристоры VS1, угол коммутации.

3.2. По данным из табл.2.1 построить регулировочные характеристики выпрямителя при работе на нагрузку: активную, активно-индуктивную и активно-индуктивную с обратным диодом.

3.3. По данным из табл.2.2 построить внешние характеристики выпрямителя при работе на нагрузку: активную, активно-индуктивную и активно-индуктивную с обратным диодом.

3.4. Сделать выводы по проделанным исследованиям.

4 Контрольные вопросы

- 4.1. Что представляет собой фазовый метод управления?
- 4.2. Что понимают под углом отпирания тиристора?
- 4.3. Принцип действия мостового управляемого выпрямителя.
- 4.4. Понятие регулировочной характеристики.
- 4.5. Принцип действия системы импульсно-фазового управления.
- 4.6. Преимущества и недостатки однофазного мостового управляемого выпрямителя.

Лабораторная работа №3

Исследование трехфазного мостового управляемого выпрямителя

Цель работы – экспериментальное исследование свойств трехфазного мостового управляемого выпрямителя, определение его основных параметров и характеристик

1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить теоретический материал, в котором рассматриваются выпрямители [3, с. 22–92; 4]. Усвоить принципы преобразования переменного тока в постоянный, основные параметры и характеристики выпрямителей, устройство и принцип действия управляемых выпрямителей. Усвоить физическую сущность коммутационных процессов в управляемых выпрямителях и влияние коммутации на свойства выпрямителей.

1.2. Изучить порядок выполнения работы и подготовить бланк отчета, который должен содержать схемы и таблицы из раздела 2 «Порядок выполнения работы».

2 Порядок выполнения работы

2.1. Исследование работы трехфазного мостового управляемого выпрямителя на активную нагрузку.

2.1.1. Собрать схему трехфазного мостового управляемого выпрямителя, приведенную на рис.3.1.

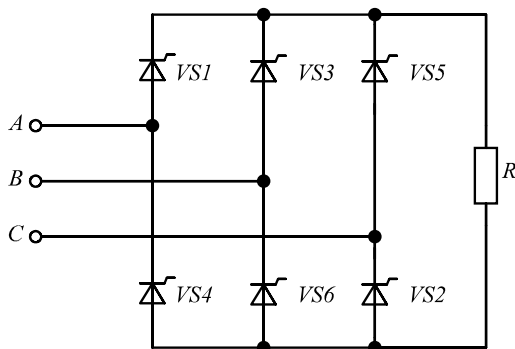


Рис.3.1. Принципиальная электрическая схема трехфазного мостового управляемого выпрямителя

2.1.2 Подключить выходы системы управления, собранной на базе комплекта разработчика компании «Миландр», к входам цепей управления тиристорами выпрямителя. (При коммутации и включении системы управления необходимо руководствоваться указаниями преподавателя).

2.1.3. Подать питание на схему. Установить угол управления $\alpha=0^\circ$. Снять осциллограммы выпрямленного напряжения U_d , выпрямленного тока I_d , тока протекающего через тиристор VS1 и напряжения на тиристоре VS1, фазных и линейных напряжений вторичной обмотки трансформатора.

2.1.4. Выполнить п.2.1.3 при установленном значении угла управления равном $\alpha=30^\circ$.

2.1.5. Выполнить п.2.1.3 при установленном значении угла управления равном $\alpha=60^\circ$.

2.1.6. Выполнить п.2.1.3 при установленном значении угла управления равном $\alpha=90^\circ$.

2.1.7. Изменяя угол управления в диапазоне от 0° до 120° с шагом 10° измерить вольтметром PV1 значения выпрямленного напряжения U_d . Результаты измерений занести в табл.3.1.

Таблица 3.1

Регулировочная характеристика выпрямителя

нагрузка	$\alpha, ^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
R	U_d, B													
RL	U_d, B													
RLD	U_d, B													

2.1.8. Установить угол управления равным $\alpha=0^\circ$. Снять внешнюю характеристику выпрямителя (зависимость $U_d=f(I_d)$), изменяя ток I_d в диапазоне от 0 (ключ SAx разомкнут) до $2\div 2,5A$. Изменение тока необходимо осуществлять посредством регулирования сопротивления R_n . Результаты измерений занести в табл.3.2.

Таблица 3.2

Внешняя характеристика выпрямителя

нагрузка	I_d, A	0												
R	U_d, B													
RL	U_d, B													
RLD	U_d, B													

2.1.9. Выполнить п.2.1.8 при установленном значении угла управления равном $\alpha=30^\circ$.

2.1.10. Выполнить п.2.1.8 при установленном значении угла управления равном $\alpha=60^\circ$.

2.2. Исследование работы трехфазного мостового управляемого выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.

2.2.1. В цепь постоянного тока выпрямителя вместо активной нагрузки подключить активно-индуктивную нагрузку.

2.2.2. Выполнить п. 2.1.3 – 2.1.10.

2.3. Исследование трехфазного мостового управляемого выпрямителя с обратным диодом при работе на активно-индуктивную нагрузку.

2.3.1. Параллельно нагрузке подключить обратный диод, как показано на рис.3.2.

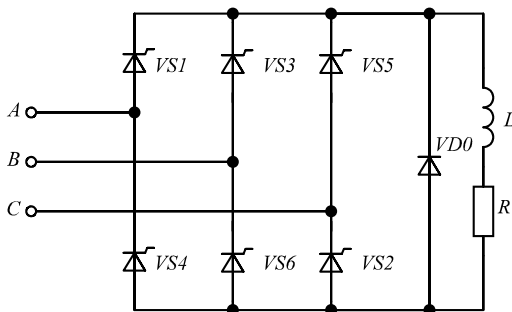


Рис.3.2. Принципиальная электрическая схема трехфазного мостового управляемого выпрямителя с обратным диодом

2.3.2. Выполнить п. 2.1.3 – 2.1.10.

3 Обработка результатов измерений

3.1. Для каждого комплекта осциллограмм, полученного в результате выполнения подразделов 2.1–2.3, определить: угол управления, максимальное прямое и обратное напряжения, которое прикладывается к тиристоры VS1, угол коммутации.

3.2. По данным из табл.3.1 построить регулировочные характеристики выпрямителя при работе на нагрузку: активную, активно-индуктивную и активно-индуктивную с обратным диодом.

3.3. По данным из табл.3.2 построить внешние характеристики выпрямителя при работе на нагрузку: активную, активно-индуктивную и активно-индуктивную с обратным диодом.

3.4. Сделать выводы по проделанным исследованиям.

4 Контрольные вопросы

- 4.1. Приведите схему трехфазного мостового управляемого выпрямителя.
- 4.2. Принцип действия мостового управляемого выпрямителя.
- 4.3. Понятие регулировочной характеристики. Регулировочная характеристика трехфазного мостового управляемого выпрямителя.
- 4.4. Влияние тиристорного преобразователя на питающую сеть.
- 4.5. Назовите достоинства и недостатки тиристорного мостового управляемого выпрямителя.

Лабораторная работа №4

Исследование однофазного мостового автономного инвертора напряжения

Цель работы – экспериментальное исследование свойств однофазного мостового автономного инвертора напряжения, определение его основных параметров и характеристик

1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить теоретический материал, приведенный в [1, с. 64–84; 3, с. 191–206; 4]. Усвоить: классификацию, назначение и область применения автономных инверторов; принципы преобразования постоянного тока в переменный; принцип действия и способы формирования и регулирования выходного напряжения однофазных автономных инверторов напряжения (АИН). Усвоить особенности коммутационных процессов в АИН.

1.2. Изучить порядок выполнения работы и подготовить бланк отчета, который должен содержать схемы и таблицы из раздела 2 «Порядок выполнения работы».

2 Порядок выполнения работы

2.1. Исследование работы однофазного мостового автономного инвертора напряжения при работе на активную нагрузку.

2.1.1. Собрать схему однофазного АИН, приведенную на рис.4.1.

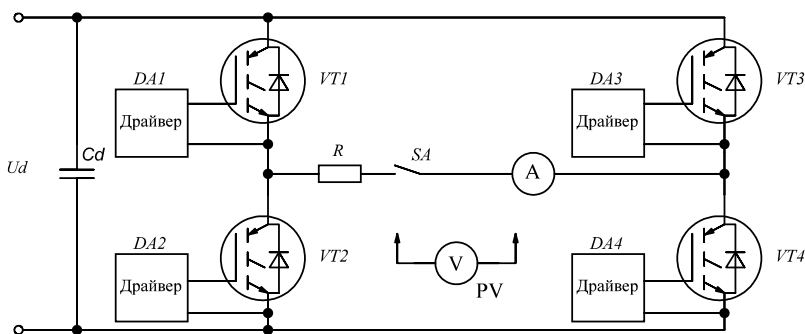


Рис.4.1. Схема электрическая принципиальная однофазного АИН
Прим. При сборке схемы руководствоваться указаниями преподавателя.

2.1.2. К выходу инвертора подключить активное сопротивление R_n . Выходы системы управления подключить к входам драйверов. К входу инвертора подключить источник постоянного напряжения. Плату драйверов запитать от отдельного источника постоянного напряжения 15В.

2.1.3. В системе управления включить режим генерации прямоугольных импульсов с коэффициентом заполнения 0,5. Осциллографом убедиться в наличии на затворах транзисторов прямоугольных импульсов с требуемой амплитудой и фазой.

2.1.4. Подать питание на драйверы транзисторов. Осциллографом убедиться в наличии на выводах питания драйверов номинального напряжения. Затем подать напряжение на вход инвертора. Регулятором напряжения установить значение напряжения на входе инвертора равным $U_d=50В$.

2.1.5. Снять осциллограммы напряжений $U_{зэ}$ транзисторов VT1 – VT4, напряжения U_d , напряжений коллектор-эмиттер транзисторов VT1 – VT4, тока i_d , напряжения на нагрузке и тока нагрузки. При снятии осциллограмм измеряемый сигнал синхронизировать по одному из импульсов управления нижнего ключа. Используя вольтметр PV, измерить действующее значение напряжения на нагрузке. Используя амперметр РА измерить действующее значение тока нагрузки.

2.1.6. Отключить все источники питания в обратной последовательности. Отсоединить активную нагрузку.

2.2. Исследование работы однофазного мостового автономного инвертора напряжения при работе на активно-индуктивную нагрузку.

2.2.1. К выходу инвертора подсоединить активно-индуктивную нагрузку.

2.2.2. Выполнить пункт 2.1.3.

2.2.3. Систему управления переключить в режим биполярной широтно-импульсной модуляции. Количество импульсов на периоде модуляции выбрать равным $K=2$.

2.2.4. Выполнить п.2.1.5.

2.2.5. Систему управления перевести в режим однополярной ШИМ. Количество импульсов на периоде модуляции выбрать равным $K=2$.

2.2.6. Выполнить п.2.1.5.

2.2.7. В режиме однополярной ШИМ установить частоту модуляции равной $f_m=1кГц$.

2.2.8. Установить коэффициент заполнения $K_3 = 0,8$. Выполнить п.2.1.5.

2.2.9. Снять внешнюю характеристику инвертора (зависимость $U_n=f(I_n)$), изменяя ток нагрузки I_n в диапазоне от 0 (ключ SA разомкнут) до $2\pm 2,5A$. Изменение тока необходимо осуществлять посредством регулирования сопротивления R_n . Результаты измерений занести в табл.4.1.

Таблица 4.1

Внешняя характеристика однофазного АИН												
Однополярная ШИМ	$K_3=0,8$	I_n, A	0									
		U_n, B										
	$K_3=0,5$	I_n, A	0									
		U_n, B										
	$K_3=0,2$	I_n, A	0									
		U_n, B										
Биполярная ШИМ	$K_3=0,9$	I_n, A										
		U_n, B										
	$K_3=0,75$	I_n, A										
		U_n, B										
	$K_3=0,6$	I_n, A										
		U_n, B										

2.2.10. Установить коэффициент заполнения $K_3 = 0,5$. Выполнить п.2.1.5. и п.2.2.9.

2.2.11. Установить коэффициент заполнения $K_3 = 0,2$. Выполнить п.2.1.5. и п.2.2.9.

2.2.12. Систему управления перевести в режим биполярной ШИМ. Частоту модуляции установить равной $f_m=1кГц$.

2.2.13. Установить коэффициент заполнения $K_3 = 0,9$. Выполнить п.2.1.5. и п.2.2.9.

2.2.14. Установить коэффициент заполнения $K_3 = 0,75$. Выполнить п.2.1.5. и п.2.2.9.

2.2.15. Установить коэффициент заполнения $K_3 = 0,6$. Выполнить п.2.1.5. и п.2.2.9.

2.2.16. Систему управления перевести в режим однополярной ШИМ с частотой модуляции равной $f_m=1кГц$. Установить значение активного сопротивления нагрузки равным $R_n=0,8 \cdot R_{n \max}$.

2.2.17. Изменяя коэффициент заполнения в диапазоне от 1 до 0 с шагом 0,1, вольтметром PV1 измерить напряжение на нагрузке. Результаты измерений занести в табл.4.2.

2.2.18. Выполнить п.2.2.17 при $R_n=0,5 \cdot R_{n \max}$, $R_n=0,3 \cdot R_{n \max}$.

2.2.19. Систему управления перевести в режим биполярной ШИМ с частотой модуляции равной $f_m=1\text{кГц}$. Установить значение активного сопротивления нагрузки равным $R_n=0,8 \cdot R_{n \max}$.

2.2.20. Изменяя коэффициент заполнения в диапазоне от 1 до 0,5 шагом 0,05, вольтметром PV1 измерить напряжение на нагрузке. Результаты измерений занести в табл.4.2.

2.2.21. Выполнить п.2.2.20 при $R_n=0,5 \cdot R_{n \max}$, $R_n=0,3 \cdot R_{n \max}$.

Таблица 4.2

Регулировочная характеристика однофазного АИН

Однополярная ШИМ	$R_n=0,8 \cdot R_{n \max}$	$K_3, -$	1								0
		U_n, B									
	$R_n=0,5 \cdot R_{n \max}$	$K_3, -$	1								0
		U_n, B									
	$R_n=0,3 \cdot R_{n \max}$	$K_3, -$	1								0
		U_n, B									
Биполярная ШИМ	$R_n=0,8 \cdot R_{n \max}$	$K_3, -$	1								0,5
		U_n, B									
	$R_n=0,5 \cdot R_{n \max}$	$K_3, -$	1								0,5
		U_n, B									
	$R_n=0,3 \cdot R_{n \max}$	$K_3, -$	1								0,5
		U_n, B									

3 Обработка результатов измерений

3.1. По данным из табл.4.1 в одной системе координат построить семейства внешних характеристик однофазного АИН в режимах однополярной и биполярной ШИМ при различных значениях коэффициента заполнения.

3.2. По данным из табл.4.2 в одной системе координат построить семейства регулировочных характеристик однофазного АИН в режимах однополярной и биполярной ШИМ при различных значениях коэффициента заполнения.

3.3. Сделать выводы по проделанным исследованиям.

4 Контрольные вопросы

- 4.1. Что такое автономный инвертор?
- 4.2. Назовите типы автономных инверторов.
- 4.3. В чем отличия автономного инвертора тока от автономного инвертора напряжения?

4.4. Электромагнитные процессы, протекающие в автономном инверторе при работе на активно-индуктивную нагрузку.

4.5. Перечислите существующие способы управления автономными инверторами.

4.6. Управление автономным инвертором напряжения в режиме синусоидальной широтно-импульсной модуляции.

4.7. Область применения автономных инверторов.

Лабораторная работа №5

Исследование трехфазного мостового автономного инвертора напряжения

Цель работы – экспериментальное исследование свойств трехфазного мостового автономного инвертора напряжения, определение его основных параметров и характеристик

1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить теоретический материал, приведенный в [1, с. 87–95; 3, с. 206–221; 4]. Усвоить: классификацию, назначение и область применения автономных инверторов; принципы преобразования постоянного тока в переменный; принцип действия и способы формирования и регулирования выходного напряжения трехфазных автономных инверторов напряжения (АИН). Усвоить особенности коммутационных процессов в АИН.

1.2. Изучить порядок выполнения работы и подготовить бланк отчета, который должен содержать схемы и таблицы из раздела 2 «Порядок выполнения работы».

2 Порядок выполнения работы

2.1. Исследование работы трехфазного мостового автономного инвертора напряжения при работе на активную нагрузку.

2.1.1. Собрать схему трехфазного АИН, приведенную на рис.5.1.

2.1.2. К выходу инвертора подключить активное сопротивление R_n . Выходы системы управления подключить к входам драйверов. К входу инвертора подключить источник постоянного напряжения. Плату драйверов запитать от отдельного источника постоянного напряжения 15В.

2.1.3. В системе управления включить режим генерации прямоугольных импульсов с коэффициентом заполнения 0,5. Осциллографом убедиться в наличии на затворах транзисторов прямоугольных импульсов с требуемой амплитудой и фазой.

2.1.4. Подать питание на драйверы транзисторов. Осциллографом убедиться в наличии на выводах питания драйверов номинального напряжения. Затем подать напряжение на вход инвертора. Регулятором напряжения установить значение напряжения на входе инвертора равным $U_d=50В$.

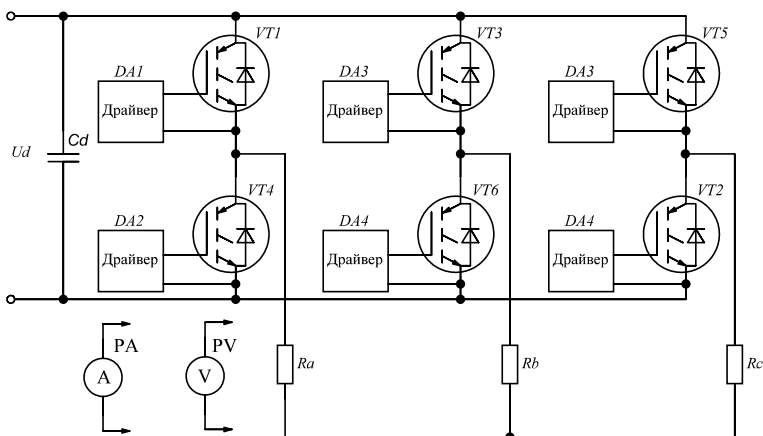


Рис.5.1. Схема электрическая принципиальная трехфазного АИН
Прим. При сборке схемы руководствоваться указаниями преподавателя.

2.1.5. Снять осциллограммы напряжений $U_{зз}$ транзисторов VT1 – VT6, напряжения U_d , напряжений коллектор-эмиттер транзисторов VT1 – VT6, тока i_d , фазных и линейных напряжений на нагрузке и фазных токов нагрузки. При снятии осциллограмм измеряемый сигнал синхронизировать по одному из импульсов управления нижнего ключа. Используя вольтметр PV, измерить действующие значения фазных и линейных напряжений на нагрузке. Используя амперметр РА измерить действующее значение фазных токов нагрузки.

2.1.6. Отключить все источники питания в обратной последовательности. Отсоединить активную нагрузку.

2.2. Исследование работы однофазного мостового автономного инвертора напряжения при работе на активно-индуктивную нагрузку.

2.2.1. К выходу инвертора подсоединить трехфазную активно-индуктивную нагрузку, как показано на рис.5.2.

2.2.2. Выполнить пункт 2.1.3.

2.2.3. Систему управления переключить в режим биполярной широтно-импульсной модуляции. Количество импульсов на периоде модуляции выбрать равным $K=2$.

2.2.4. Выполнить п.2.1.5.

2.2.5. Систему управления перевести в режим однополярной ШИМ. Количество импульсов на периоде модуляции выбрать равным $K=2$.

2.2.6. Выполнить п.2.1.5.

2.2.7. В режиме однополярной ШИМ установить частоту модуляции равной $f_m=1\text{ кГц}$.

п.2.1.5.

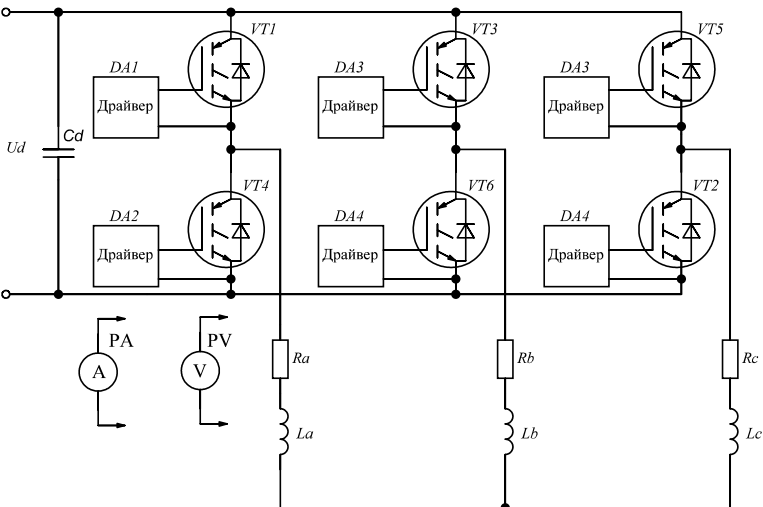


Рис.5.1. Схема электрическая принципиальная трехфазного АИН

$U_n=f(I_n)$), изменяя ток нагрузки I_n в диапазоне от 0 (ключ SA разомкнут) до 2÷2,5А. Изменение тока необходимо осуществлять посредством регулирования сопротивления R_n . Результаты измерений занести в табл.5.1.

Таблица 5.1

[illegible]

2.2.21. Выполнить п.2.2.20 при $R_H=0,5 \cdot R_{H \max}$, $R_H=0,3 \cdot R_{H \max}$.

[illegible]

2.3. Исследование работы трехфазного АИН в режиме синусоидальной ШИМ.

2.3.1. Систему управления перевести в режим синусоидальной ШИМ. Частоту модуляции установить равной $f_m=1$ кГц.

2.3.2. Выполнить п. 2.1.4, 2.1.5.

2.3.3. Увеличить частоту модуляции в 2 раза. Выполнить п. 2.1.4, 2.1.5.

2.3.4. Увеличить частоту модуляции в 2 раза. Выполнить п. 2.1.4, 2.1.5.

3 Обработка результатов измерений

3.1. По данным из табл.5.1 в одной системе координат построить семейства внешних характеристик однофазного АИН в режимах однополярной и биполярной ШИМ при различных значениях коэффициента заполнения.

3.2. По данным из табл.5.2 в одной системе координат построить семейства регулировочных характеристик однофазного АИН в режимах однополярной и биполярной ШИМ при различных значениях коэффициента заполнения.

3.3. Сравнить осциллограммы токов нагрузки в режиме синусоидальной ШИМ при различных частотах модуляции.

3.3. Сделать выводы по проделанным исследованиям.

4 Контрольные вопросы

4.1. Устройство и принцип действия трехфазного мостового автономного инвертора напряжения (АИН).

4.2. Электромагнитные процессы, протекающие в автономном инверторе при работе на активно-индуктивную нагрузку.

4.3. Энергетические показатели АИН.

4.4. Способы управления АИН.

4.5. Управление АИН в режиме широтно-импульсной модуляции.

4.6. Влияние характера нагрузки на коммутацию транзисторов

Список рекомендуемой литературы

1. Кобзев А.В. Энергетическая электроника [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Кобзев, Б.И. Коновалов, В.Д. Семенов. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. — 164 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14001.html>
2. Белоус А.И. Полупроводниковая силовая электроника [Электронный ресурс] / А.И. Белоус, С.А. Ефименко, А.С. Турцевич. — Электрон. текстовые данные. — М. : Техносфера, 2013. — 228 с. — 978-5-94836-367-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31876.html>
3. Бурков А.Т. Электроника и преобразовательная техника: Том 2: Электронная преобразовательная техника [Электронный ресурс]: учебник/ Бурков А.Т.— Электрон. текстовые данные.— М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015.— 308 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45344>.— ЭБС «IPRbooks»
4. Рама Редди, С. Основы силовой электроники / С. Рама Редди; пер. с англ. В. В. Масалова; под ред. Д. П. Приходько. - Москва: Техносфера, 2006. - 287 с.