

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический университет

Филиал БНТУ

«Минский государственный политехнический колледж»

Электронное учебно-методическое пособие по учебной
дисциплине

«Силовая преобразовательная техника»

для специальности 2- 53 01 05 «Автоматизированные
электроприводы»

Минск 2020

Автор:

Шорохова П.В.

Рецензенты:

Метлицкая О.А., преподаватель спецдисциплин филиала БНТУ «МГПК»,
Улащик Н.М., старший преподаватель кафедры «Электропривод и АПУ и ТК»
БНТУ

Учебно-методическое пособие предназначено для самостоятельного и дистанционного изучения учебной дисциплины «Силовая преобразовательная техника» учащимися специальности 2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы». В учебно-методическом пособии представлен теоретический и практический материал, а также материал, обеспечивающий контроль знаний для проведения текущей и итоговой аттестации.

Белорусский национальный технический университет.

Филиал БНТУ “Минский государственный политехнический колледж”.

пр - т Независимости, 85, г. Минск, Республика Беларусь

Тел.: (017) 292-13-42 Факс: 292-13-42

E-mail: mgpk@bntu.by

<http://www.mgpk.bntu.by/>

Регистрационный № ЭИ БНТУ/МГПК – 06.2020

© БНТУ, 2020

©Шорохова П.В., 2020

Содержание

Пояснительная записка

Выписка из учебного плана

Междисциплинарные связи

Типовая учебная программа

Примерный тематический план

Содержание программы

Критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся

Литература

Тематический план

Перечень существенных и несущественных ошибок

Перечень разделов и тем учебной программы

Теоретический материал

Занятия 1-5

Занятия 6-10

Занятия 11-15

Занятия 16-20

Занятия 21-25

Занятия 26-30

Занятия 31-35

Практический материал

Методические указания для проведения лабораторных и практических работ

Методические указания для выполнения курсового проекта

Самоконтроль знаний

Перечень вопросов к входному контролю

Перечень вопросов к тематическому контролю №1

Перечень вопросов к тематическому контролю №2

Перечень вопросов к тематическому контролю №3

Перечень вопросов к ОКР №1

Перечень вопросов к ОКР №2

Перечень учебных изданий

Пояснительная записка

Типовая учебная программа учебной дисциплины «Силовая преобразовательная техника» (далее – программа) предусматривает изучение принципов построения, расчета и проектирования полупроводниковых преобразователей электрической энергии и их узлов.

Изучение учебной дисциплины «Силовая преобразовательная техника» базируется на изучении следующих учебных дисциплин: «Теоретические основы электротехники», «Электрические машины», «Основы электропривода», «Системы автоматического управления электроприводами», «Охрана труда».

При изучении учебного материала необходимо соблюдать единство терминологии и обозначений в соответствии с действующими стандартами, Международной системой единиц измерений; обращать внимание на значение стандартизации, ее экономическую эффективность и роль в повышении качества продукции.

Учебный материал необходимо излагать с использованием технических средств обучения и вычислительной техники, демонстрацией образцов изделий, приборов и элементов силовых полупроводниковых преобразователей.

Для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических умений и навыков программой учебной дисциплины предусматривается проведение лабораторных и практических занятий, выполнение курсового проекта.

Программой предусматривается проведение двух обязательных контрольных работ, содержание которых определяется цикловой (предметной) комиссией.

В программе определены цели изучения каждой темы и спрогнозированы результаты их достижения в соответствии с уровнями усвоения учебного материала.

В результате изучения учебной дисциплины учащиеся *должны знать на уровне представления:*

основные направления развития преобразовательной техники и области ее применения;

научные исследования в области преобразовательной техники;

знать на уровне понимания:

классификацию управляемых и неуправляемых выпрямителей;

устройство и принцип действия типовых управляемых полупроводниковых выпрямителей;

неуправляемые выпрямители, принцип их действия с учетом характера нагрузки;

классификацию, устройство и принцип действия широтно-импульсных преобразователей;

методы регулирования выходного напряжения, классификацию и

устройство автономных инверторов и непосредственных преобразователей частоты;

уметь:

читать функциональные и принципиальные схемы силовых преобразовательных устройств, входящих в состав преобразовательной техники,

производить расчет их основных элементов;

рассчитывать и выбирать элементную базу;

составлять принципиальную схему преобразователя.

При изучении учебной дисциплины «Силовая преобразовательная техника» предусмотрен курсовой проект на тему «Разработка полупроводникового преобразователя для питания двигателя постоянного тока».

Курсовое проектирование по данной учебной дисциплине включает вопросы проектирования полупроводникового преобразователя электрической энергии: изучение принципа действия и основных расчетных соотношений проектируемого преобразователя, расчет и выбор типов элементов силовой схемы (тиристоров, диодов, трансформаторов, сглаживающих дросселей и др.), выбор и расчет функциональных элементов системы управления преобразователем, расчет и построение различных характеристик проектируемого преобразователя.

В программе приведены примерные критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся по учебной дисциплине, которые разработаны на основе десятибалльной шкалы и показателей оценки результатов учебной деятельности обучающихся в учреждениях среднего специального образования (постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 29.03.2004 № 17).

В программе приведен примерный перечень оснащения кабинета оборудованием, техническими средствами обучения, необходимыми для обеспечения образовательного процесса.

Тематический план является рекомендательным. Цикловая (предметная) комиссия может вносить обоснованные изменения в содержание программного учебного материала и распределение учебных часов по разделам и темам (в пределах общего бюджетного времени, отведенного на изучение учебной дисциплины). Все изменения должны утверждаться заместителем руководителя учреждения образования по учебной работе.

Выписка из учебного плана

по специальности 2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»
утвержденная директором филиала БНТУ «МГПК» №639 Д/тип от
09.06.2015 №56.

Учебная дисциплина «Силовая преобразовательная техника» изучается на
протяжении двух семестров (дневная форма обучения).

Виды работ	Количество часов	
	5 семестр обучения	6 семестр обучения
Всего часов	48	72
Из них: практических работ	6	6
лабораторных работ	8	10
курсовое проектирование	—	20
Количество: тематических контрольных работ	1	2
обязательных контрольных работ	1	1
Экзамен		1

Междисциплинарные связи:

- теоретические основы электротехники;
- электрические машины;
- основы электропривода;
- системы автоматического управления электроприводами;
- охрана труда.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УТВЕРЖДЕНО
Министерством образования
Республики Беларусь
2011 г.

**СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ
ТЕХНИКА**

ТИПОВАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

для реализации образовательной программы
среднего специального образования по специальности
2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

Минск
2011

*Рекомендовано к изданию экспертным советом
Республиканского института профессионального образования*

А в т о р *С.Н. Самбук*, преподаватель УО «Могилевский государственный политехнический колледж».

Р е ц е н з е н т ы: *В.Б. Тимошевич*, старший преподаватель Белорусского национального технического университета;
Н.В. Сурба, преподаватель УО «Гродненский государственный политехнический колледж».

Ответственный за выпуск *Т.М. Будникова*, начальник отдела УО «Республиканский институт профессионального образования».

Типовая учебная программа обсуждена и одобрена бюро РМО педагогических работников учреждений, обеспечивающих получение среднего специального образования, по образованию в области автоматизации и обеспечения качества.

© Республиканский институт
профессионального образования, 2011

Пояснительная записка

Типовая учебная программа учебной дисциплины «Силовая преобразовательная техника» (далее – программа) предусматривает изучение принципов построения, расчета и проектирования полупроводниковых преобразователей электрической энергии и их узлов.

Изучение учебной дисциплины «Силовая преобразовательная техника» базируется на изучении следующих учебных дисциплин: «Теоретические основы электротехники», «Электрические машины», «Основы электропривода», «Системы автоматического управления электроприводами», «Охрана труда».

При изучении учебного материала необходимо соблюдать единство терминологии и обозначений в соответствии с действующими стандартами, Международной системой единиц измерений; обращать внимание на значение стандартизации, ее экономическую эффективность и роль в повышении качества продукции.

Учебный материал необходимо излагать с использованием технических средств обучения и вычислительной техники, демонстрацией образцов изделий, приборов и элементов силовых полупроводниковых преобразователей.

Для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических умений и навыков программой учебной дисциплины предусматривается проведение лабораторных и практических занятий, выполнение курсового проекта.

Программой предусматривается проведение двух обязательных контрольных работ, содержание которых определяется цикловой (предметной) комиссией.

В программе определены цели изучения каждой темы и спрогнозированы результаты их достижения в соответствии с уровнями усвоения учебного материала.

В результате изучения учебной дисциплины учащиеся *должны знать на уровне представления:*

основные направления развития преобразовательной техники и области ее применения;

научные исследования в области преобразовательной техники;

знать на уровне понимания:

классификацию управляемых и неуправляемых выпрямителей;

устройство и принцип действия типовых управляемых полупроводниковых выпрямителей;

неуправляемые выпрямители, принцип их действия с учетом характера нагрузки;

классификацию, устройство и принцип действия широтно-импульсных преобразователей;

методы регулирования выходного напряжения, классификацию и

устройство автономных инверторов и непосредственных преобразователей частоты;

уметь:

читать функциональные и принципиальные схемы силовых преобразовательных устройств, входящих в состав преобразовательной техники,

производить расчет их основных элементов;

рассчитывать и выбирать элементную базу;

составлять принципиальную схему преобразователя.

При изучении учебной дисциплины «Силовая преобразовательная техника» предусмотрен курсовой проект на тему «Разработка полупроводникового преобразователя для питания двигателя постоянного тока».

Курсовое проектирование по данной учебной дисциплине включает вопросы проектирования полупроводникового преобразователя электрической энергии: изучение принципа действия и основных расчетных соотношений проектируемого преобразователя, расчет и выбор типов элементов силовой схемы (тиристоров, диодов, трансформаторов, сглаживающих дросселей и др.), выбор и расчет функциональных элементов системы управления преобразователем, расчет и построение различных характеристик проектируемого преобразователя.

В программе приведены примерные критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся по учебной дисциплине, которые разработаны на основе десятибалльной шкалы и показателей оценки результатов учебной деятельности обучающихся в учреждениях среднего специального образования (постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 29.03.2004 № 17).

В программе приведен примерный перечень оснащения кабинета оборудованием, техническими средствами обучения, необходимыми для обеспечения образовательного процесса.

Тематический план является рекомендательным. Цикловая (предметная) комиссия может вносить обоснованные изменения в содержание программного учебного материала и распределение учебных часов по разделам и темам (в пределах общего бюджетного времени, отведенного на изучение учебной дисциплины). Все изменения должны утверждаться заместителем руководителя учреждения образования по учебной работе.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Раздел, тема	Количество часов		
	Всего	В том числе	
		на лабораторные работы	на практические занятия
Введение	2		
Раздел 1. Преобразовательная техника	8		
1.1. Назначение и область применения силового преобразователя	2		
1.2. Основные элементы силового преобразователя и их характеристики	4		
1.3. Обобщенная структура преобразователя	2		
Раздел 2. Выпрямители	38	8	4
2.1. Однофазные выпрямители	10	4	
2.2. Трехфазные выпрямители	6	4	
2.3. Расчет и выбор силовых элементов выпрямителя	4		2
2.4. Системы управления выпрямителей	8		2
2.5. Реверс двигателя при питании от выпрямителя	2		
2.6. Энергетические характеристики выпрямителя	2		
2.7. Способы улучшения энергетических характеристик, подавление помех, фильтры	5		
<i>Обязательная контрольная работа № 1</i>	1		
Раздел 3. Инверторы, ведомые сетью	4	2	
Раздел 4. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП)	16	4	
4.1. Тиристорные ШИП	6		
4.2. Транзисторные ШИП	9	4	
<i>Обязательная контрольная работа № 2</i>	1		
Раздел 5. Преобразователи частоты и напряжения	16	8	
5.1. Полупроводниковый преобразователь напряжения	2		
5.2. Двухзвенные преобразователи частоты	12	8	
5.3. Непосредственный преобразователь частоты	2		
Раздел 6. Направление развития преобразовательной техники	6		
6.1. Современные силовые полупроводниковые приборы	2		
6.2. Развитие элементной базы управляющих устройств преобразователей	2		

6.3. Промышленные преобразователи	2		
Курсовое проектирование	30		
И т о г о	120	22	4

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
Введение		
<p>Познакомить с целями, задачами и предметом учебной дисциплины, ее значением, структурой.</p> <p>Сформировать представление о роли преобразовательной техники в современном производстве и перспективах ее развития.</p>	<p>Цели, задачи и предмет учебной дисциплины, ее значение для подготовки высококвалифицированных специалистов, связь с другими учебными дисциплинами учебного плана. Роль преобразовательной техники в современном производстве и перспективы развития</p>	<p>Высказывает общие суждения о целях, задачах, предмете учебной дисциплины, состоянии преобразовательной техники в современном производстве и перспективах ее развития.</p>
Раздел 1. Преобразовательная техника		
Тема 1.1 Назначение и область применения силового преобразователя		
<p>Сформировать знания о силовых преобразователях, их классификации и назначении.</p>	<p>Виды и способы преобразования электрической энергии. Область применения и назначение силовых преобразователей.</p>	<p>Описывает виды и способы преобразования электрической энергии, назначение и область применения силовых преобразователей.</p>
Тема 1.2 Основные элементы силового преобразователя и их характеристики		
<p>Сформировать знания о силовых полупроводниковых приборах, их классификации, принципе действия.</p>	<p>Основные полупроводниковые приборы (диод, транзистор, тиристор), принцип действия, основные параметры, используемые при выборе полупроводниковых приборов.</p>	<p>Описывает основные элементы силовых преобразователей. Характеризует классификацию основных полупроводниковых приборов. Излагает принцип действия силовых приборов, основные параметры, используемые при выборе полупроводниковых приборов.</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
Тема 1.3. Обобщенная структура преобразователя		
Сформировать знания об обобщенной структуре преобразователей, о назначении отдельных узлов преобразователей.	Обобщенная структура преобразователей: выпрямителей, инверторов, преобразователей частоты. Назначение, функции и принцип действия отдельных узлов преобразователя.	Объясняет обобщенную структуру преобразователей. Описывает назначение отдельных узлов преобразователей.
Раздел 2. Выпрямители Тема 2.1. Однофазные выпрямители		
Сформировать знания о принципе действия однофазных выпрямителей.	Классификация выпрямителей. Однофазный однополупериодный выпрямитель. Однофазный управляемый выпрямитель с нулевой точкой. Однофазный мостовой симметрично управляемый выпрямитель. Схема замещения. Режим непрерывного тока. Режим прерывистого тока. Режим гранично-непрерывного тока. Однофазный мостовой несимметрично управляемый выпрямитель. Схема, временные диаграммы, основные зависимости, принцип действия однофазного мостового несимметричного управляемого выпрямителя. Однофазный мостовой умножитель напряжения. Схема, временные диаграммы однофазного мостового выпрямителя с регулированием напряжения на стороне переменного тока.	Излагает принцип действия однофазных выпрямителей различных типов.
<i>Лабораторная работа №1</i>		
Сформировать умение анализировать принцип действия однофазного двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора	Исследование однофазного двухполупериодного неуправляемого выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора.	Анализирует принцип действия однофазного двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора.

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<i>Лабораторная работа №2</i>		
Сформировать умение анализировать принцип действия однофазного мостового несимметричного управляемого выпрямителя.	Исследование однофазного мостового несимметричного управляемого выпрямителя.	Анализирует принцип действия однофазного мостового несимметричного управляемого выпрямителя.
Тема 2.2. Трехфазные выпрямители		
Сформировать знания о принципе действия трехфазных выпрямителей различных типов, типовых узлов, порядке расчета внешних характеристик	Трехфазный управляемый выпрямитель. Схема, временные диаграммы, принцип действия, основные зависимости. Трехфазный мостовой выпрямитель. Схема, временные диаграммы. Принцип действия трехфазной мостовой схемы, основные зависимости. Внешняя характеристика выпрямителя, расчет и построение.	Излагает принцип действия трехфазных выпрямителей различных типов. Объясняет принцип действия типовых узлов, порядок расчета внешних характеристик
<i>Лабораторная работа №3</i>		
Сформировать умение анализировать принцип действия трехфазного выпрямителя с нулевой точкой.	Исследование трехфазного выпрямителя с нулевой точкой.	Анализирует принцип действия трехфазного выпрямителя с нулевой точкой, производит испытания.
<i>Лабораторная работа №4</i>		
Сформировать умение анализировать принцип действия трехфазного мостового выпрямителя	Исследование трехфазного мостового выпрямителя.	Анализирует принцип действия трехфазного мостового выпрямителя, производит испытания.

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
Тема 2.3 Расчет и выбор силовых элементов выпрямителя		
Сформировать знания о порядке расчета, выбора и проверки силовых полупроводниковых приборов и элементов защиты.	Расчет, выбор и проверка силовых полупроводниковых приборов (СПП). Расчет и выбор силового трансформатора. Расчет и выбор элементов защиты СПП от аварийных токов и перенапряжения.	Излагает порядок расчета, выбора и проверки силовых полупроводниковых приборов. Объясняет принцип действия элементов защиты.
<i>Практические занятия №1</i>		
Сформировать умения выполнять расчет и производить выбор силовых элементов выпрямителей (диодов и тиристоров).	Расчет и выбор силовых элементов выпрямителей.	Рассчитывает и производит выбор силовых элементов выпрямителей (диодов и тиристоров).
Тема 2.4 Системы управления выпрямителей		
Сформировать знания о функциях, классификации и порядке проектирования СИФУ.	Тема 2.4. Системы управления выпрямителей Сформировать знания о функциях, классификации и порядке проектирования СИФУ. Функции системы импульсно-фазового управления (СИФУ). Требования к СИФУ. Классификация СИФУ. Структурная схема СИФУ. Принцип действия СИФУ. Типовые блоки СИФУ. Проектирование СИФУ.	Излагает функции, принцип действия СИФУ.
<i>Практические занятия №2</i>		
Сформировать умения выполнять расчет плановых блоков системы импульсно-фазового управления и выбор их элементов.	Расчет плановых блоков системы импульсно-фазового управления и выбор их элементов.	Рассчитывает плановые блоки системы импульсно-фазового управления и производит выбор их элементов.

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
Тема 2.5 Реверс двигателя при питании от выпрямителя		
Сформировать знания о структуре реверсивных выпрямителей, используемых для питания двигателей постоянного тока.	Реверс при помощи контакторов в цепях возбуждения и якоря, область применения. Реверсивные выпрямители, согласованное и раздельное управление вентильными группами.	Излагает правила построения релейно-контакторных схем управления реверсом и порядок расета аппаратов управления. Объясняет принцип действия типовых узлов реверсивных выпрямителей.
Тема 2.6. Энергетические характеристики выпрямителя		
Сформировать знания об энергетических характеристиках	Сформировать знания об энергетических характеристиках. Энергетические характеристики выпрямителя: коэффициент мощности, активная мощность, полная мощность, мощность искажения, потери мощности на тиристоре, вспомогательные потери мощности, потери мощности на трансформаторе, реактивная мощность, коэффициент полезного действия (КПД) выпрямителя, коэффициент гармоник тока, коэффициент сдвига тока, энергетический КПД.	Объясняет смысл энергетической характеристики выпрямителя.
Тема 2.7 Способы улучшения энергетических характеристик, подавление помех, фильтры		
Познакомить со способами улучшения энергетических характеристик. Сформировать знания о фильтрах.	Способы улучшения энергетических характеристик. Классификация фильтров, их расчет и выбор. Принцип действия и схемы фильтров.	Излагает правила расчета, выбора фильтров, объясняет их принцип действия.
Раздел 3. Инверторы вводимые сетью		
Сформировать знания о структуре, принципах управления и области применения инвертора, ведомого сетью.	Схема, временные диаграммы и принцип действия однофазного инвертора со средней точкой, трехфазного мостового инвертора, ведомого сетью. Функциональная схема системы управления. Область применения.	Описывает принципы управления инвертора, ведомого сетью, объясняет работу схемы управления.

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<i>Лабораторная работа №5</i>		
Сформировать умение анализировать принцип действия трехфазного инвертора, ведомого сетью.	Исследование работы трехфазного инвертора, ведомого сетью.	Анализирует принцип действия трехфазного инвертора, ведомого сетью, производит испытания.
Раздел 4. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП) Тема 4.1. Тиристорные ШИП		
Сформировать знания об устройстве, области применения и принципе действия тиристорных ШИП.	Классификация ШИП. ШИП с одноступенчатой коммутацией. ШИП с одноступенчатой коммутацией и насыщающим дросселем, схема, основные соотношения. ШИП с последовательной двухступенчатой коммутацией, схема, основные соотношения. ШИП с комбинированной коммутацией. ШИП с коммутирующим трансформатором. ШИП с последовательной двухступенчатой параллельной коммутацией. Реверсивный тиристорный ШИП с симметричным законом управления. Реверсивный тиристорный ШИП с несимметричным законом управления.	Характеризует классификацию, назначение и устройство ШИП. Объясняет принцип действия схем коммутации, применяемых в тиристорных ШИП.
Тема 4.2. Транзисторные ШИП		
Сформировать знания о структуре и принципе действия транзисторного ШИП.	ШИП на активно-индуктивную нагрузку. ШИП на активно-индуктивную нагрузку и противо-ЭДС. ШИП с последовательным ключом и параллельной индуктивностью. ШИП с параллельным ключом и последовательной индуктивностью. Реверсивный транзисторный ШИП с симметричным законом управления. Реверсивный транзисторный ШИП с несимметричным законом управления.	Излагает принцип действия транзисторного ШИП. Объясняет принцип действия схем коммутации, применяемых в транзисторных ШИП.

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<i>Лабораторная работа №6</i>		
Сформировать умения анализировать принцип действия мостового ШИП с симметричным законом управления.	Исследование мостового ШИП с симметричным законом управления.	Анализирует принцип действия мостового ШИП с симметричным законом управления, производит испытания.
<i>Лабораторная работа №7</i>		
Сформировать умения анализировать принцип действия мостового ШИП с несимметричным законом управления.	Исследование мостового ШИП с несимметричным законом управления.	Анализирует принцип действия мостового ШИП с несимметричным законом управления, производит испытания.
Раздел 5. Преобразователи частоты и напряжения Тема 5.1. Полупроводниковый преобразователя напряжения		
Сформировать знания о структуре, принципе управления и области применения тиристорного регулятора напряжения.	Схема, временные диаграммы и принцип действия тиристорного регулятора напряжения (ТРН). Область применения ТРН.	Объясняет принцип управления ТРН, описывает работу схемы управления.
Тема 5.2. Двухзвенные преобразователи частоты		
Сформировать знания об автономных инверторах, их классификации, принципе действия	Классификация автономных инверторов. Однофазный параллельный автономный инвертор тока (АИТ). Однофазный последовательный АИТ. Трехфазный мостовой АИТ. Однофазный параллельный автономный инвертор напряжения (АИН). Однофазный последовательный АИН. АИН на тиристорах. Однофазный мостовой АИН. Трехфазный АИН с широтно-импульсным регулированием. Последовательный резонансный автономный инвертор (РАИ). Параллельный РАИ. Многоячейковый РАИ.	Характеризует классификацию и излагает принцип действия автономных инверторов.

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
	<p>Однофазный мостовой инвертор с несимметричным законом управления. Однофазный мостовой инвертор с симметричным законом управления. Трехфазный мостовой инвертор с симметричным законом управления. Трехфазный мостовой инвертор в режиме выпрямления. Схема и принцип действия преобразователя частоты со звеном постоянного тока.</p>	
<i>Лабораторная работа №8</i>		
<p>Сформировать умение анализировать принцип действия однофазного мостового инвертора с несимметричным законом управления.</p>	<p>Исследование мостового инвертора с несимметричным законом управления.</p>	<p>Анализирует принцип действия однофазного мостового инвертора с несимметричным законом управления.</p>
<i>Лабораторная работа №9</i>		
<p>Сформировать умение анализировать принцип действия однофазного мостового инвертора с симметричным законом управления.</p>	<p>Исследование мостового инвертора с симметричным законом управления.</p>	<p>Анализирует принцип действия однофазного мостового инвертора с симметричным законом управления.</p>
<i>Лабораторная работа №10</i>		
<p>Сформировать умение анализировать принцип действия трехфазного мостового инвертора в режиме выпрямления.</p>	<p>Исследование трехфазного мостового инвертора в режиме выпрямления.</p>	<p>Анализирует принцип действия трехфазного мостового инвертора в режиме выпрямления.</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<i>Лабораторная работа №11</i>		
Сформировать умение анализировать принцип действия однофазного мостового инвертора с симметричным законом управления.	Исследование однофазного мостового инвертора с симметричным законом управления.	Объясняет принцип работы, производит испытания.
Тема 5.3. Непосредственный преобразователь частоты (НПЧ)		
Сформировать знания о работе типовых узлов, структуре, принципе управления и области применения НПЧ.	3 . Непосредственный преобразователь частоты (НПЧ) Сформировать знания о работе типовых узлов, структуре, принципе управления и области применения НПЧ. Схема, типовые узлы, временные диаграммы и принцип действия непосредственного преобразователя частоты (НПЧ). Функциональная схема системы управления НПЧ. Область применения НПЧ.	Излагает принцип управления НПЧ, поясняет работу типовых узлов.
Раздел 6. Направление развития преобразовательной техники		
Тема 6.1. Современные силовые полупроводниковые приборы		
Сформировать знания о современных силовых полупроводниковых приборах, их принципе действия и схемах управления ими.	Современные силовые полупроводниковые приборы: симметричные (диак и триак) и запираемые (GTO, GCT, IGCT, SCR) тиристоры, биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) и полевые транзисторы (MOSFET), транзисторные модули; принцип действия, схема управления силовыми приборами.	Характеризует современные полупроводниковые приборы. Излагает принцип действия силовых приборов и описывает схемы управления ими.
Тема 6.2. Развитие элементной базы управляющих устройств преобразователей		
Сформировать знания об элементной базе управляющих устройств в силовом преобразователе.	Элементная база управляющих устройств преобразователей, ее назначение, структура, принцип действия.	Излагает правила построения схем и принцип действия элементной базы. Объясняет принцип работы типовых узлов, порядок составления простейших схем.

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
Тема 6 . 3 . Промышленные преобразователи		
Сформировать знания о структуре, принципе действия, области применения современных промышленных преобразователей (ПЧ).	Схема подключения и принцип действия современных промышленных преобразователей (Omron, Siemens, Metronix и т. п.). Функциональная схема системы управления и особенности современных промышленных преобразователей.	Излагает принцип действия современных ПЧ, поясняет работу типовых узлов.
Курсовое проектирование		

Критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся

Отметка в баллах	Показатели оценки
1 (один)	Узнавание отдельных объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (управление вентильными преобразователями); наличие многочисленных существенных ошибок, исправляемых с непосредственной помощью преподавателя
2 (два)	Различение объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (описание принципов работы схем выпрямителей, ШИП); наличие существенных ошибок, исправляемых с непосредственной помощью преподавателя
3 (три)	Воспроизведение части программного материала по памяти (фрагментарный пересказ и перечисление); осуществление умственных и практических действий по образцу (работа схем однофазных и трехфазных выпрямителей, назначение системы импульсно-фазового управления (СИФУ)); наличие отдельных существенных ошибок
4 (четыре)	Воспроизведение большей части программного учебного материала (описание с элементами объяснения); применение знаний в знакомой ситуации по образцу (однофазные и трехфазные выпрямители, принцип работы, типы СИФУ); наличие единичных существенных ошибок
5 (пять)	Осознанное воспроизведение программного учебного материала (описание с объяснением); знает требования предъявляемые к выпрямителям, СИФУ; наличие несущественных ошибок
6 (шесть)	Полное знание и осознанное воспроизведение всего программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (описание и объяснение принципа работы схем, приводит сравнительную характеристику схем); наличие несущественных ошибок
7 (семь)	Полное, прочное знание и воспроизведение программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (развернутое описание и объяснение, формирование выводов, проектирование СИФУ в соответствии с представленными образцами, недостаточно самостоятельное выполнение заданий); наличие единичных несущественных ошибок

Отметка в баллах	Показатели оценки
8 (восемь)	Полное, прочное, глубокое знание и воспроизведение программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в знакомой ситуации (развернутое описание и объяснение, раскрытие сущности, обоснование и доказательство, формирование выводов, самостоятельное выполнение заданий); наличие единичных несущественных ошибок
9 (девять)	Полное, прочное, глубокое, системное знание программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в частично измененной ситуации (применение, выдвижение предположений и гипотез, наличие действий и операций творческого характера для выполнения заданий)
10 (десять)	Свободное оперирование программным учебным материалом применение знаний и умений в незнакомой ситуации (самостоятельные действия по описанию, объяснению, демонстрация, выполнение творческих работ и заданий)

Примечание. При отсутствии результатов учебной деятельности обучающимся в учреждении, обеспечивающем получение среднего специального образования, выставляется «0» (ноль) баллов.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ОСНАЩЕНИЯ КАБИНЕТА

Наименование	Количество
Технические средства обучения	
Технические устройства*	
Компьютер	1
Мультимедийный проектор	1
Электронные средства обучения	
Компьютерные программы (Microsoft Office, AutoCAD, WorkBench, MATLAB 4)	
Печатные средства обучения	
Плакаты	
Однофазный мостовой выпрямитель с регулированием напряжения на стороне переменного тока	1
Однофазный мостовой умножитель напряжения	1
Однофазный мостовой управляемый выпрямитель	1
Однофазный однополупериодный выпрямитель	1
Однофазный управляемый выпрямитель с нулевой точкой	1
Реверс при помощи контакторов в цепях возбуждения и якоря	1
Реверсивные выпрямители. Согласованное и отдельное управление вентильными группами	1
Реверсивный тиристорный ШИП с несимметричным законом управления	1
Реверсивный тиристорный ШИП с симметричным законом управления	1
Реверсивный транзисторный ШИП с симметричным законом управления.	1
Реверсивный транзисторный ШИП с несимметричным законом управления	1
Структурная схема СИФУ	1
Схема подключения современных ПЧ (Omron, Siemens, Metronix и т. п.)	1
Схема ПЧ со звеном постоянного тока	1
Схема, временные диаграммы инвертора, ведомого сетью	1
Схема, временные диаграммы НПЧ	1
Схема, временные диаграммы ТРН	1
Схемы фильтров	1
Типовые блоки СИФУ	1
Трехфазный мостовой выпрямитель	1
Трехфазный управляемый выпрямитель с нулевой точкой	1
Функциональная схема системы управления инвертора, ведомого сетью	1
Функциональная схема системы управления НПЧ	1
Функциональная схема системы управления ПЧ	1
Функциональная схема системы управления ШИП на активно-индуктивную нагрузку и противо-ЭДС	1
ШИП с комбинированной коммутацией	1
ШИП с коммутирующим трансформатором	1

ШИП с одноступенчатой коммутацией	1
ШИП с одноступенчатой коммутацией и насыщающим дросселем	1
ШИП с параллельным ключом и последовательной индуктивностью	1
ШИП с последовательной двухступенчатой коммутацией	1
ШИП с последовательной двухступенчатой параллельной коммутацией	1
ШИП с последовательным ключом и параллельной индуктивностью	1
Объемные средства обучения	
Диод	1
Тиристор	1
Транзистор биполярный	1
Транзистор униполярный	1
Фильтр емкостной	1
Фильтр индуктивный	1
Учебно-производственное оборудование	
Лабораторный стенд	5
Осциллограф	5
Переключатель	12
Средства защиты	
Аптечка	1
Коврик резиновый	5
Огнетушитель	1
Очки	12
Перчатки резиновые	15 пар
Халат 1	15
Оборудование помещения	
Доска классная	1
Стеллаж	2
Стол для преподавателя	1
Стол для учащихся 1	15
Стул 3	31
Шкаф для приборов	1

ЛИТЕРАТУРА

Основная

- Бурков, А.Т.** Электронная техника и преобразователи/А.Т. Бурков М., 1999.
- Забродин, Ю.С.** Промышленная электроника/Ю.С. Забродин М., 1982.
- Засорин, С.Н.** Электронная и преобразовательная техника/ С.Н.Засорин, В.А. Мицкевич, К.Г. Кучма. М., 1981.
- Зимин, Е.Н.** Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями / Е.Н. Зимин.М., 1981.
- Перельмутер, В.Н.** Системы управления тиристорными электроприводами постоянного тока/ В.М. Перельмутер, В.А. Сидоренко. М., 1988.
- Розанов, Ю.К.** Основы силовой преобразовательной техники/ Ю.К.Розанов М., 1979.
- Справочник** по преобразовательной технике / под ред.И.М. Чиженко. Киев, 1978.
- Терехов, В.М.** Элементы автоматизированного электропривода/ В.М. Терехов. М., 1987.
- Чиженко, И.М.** Преобразовательная техника/ И.М. Чиженко, В.С.Руденко, В.П. Селько. Киев, 1978.

Дополнительная

- Справочник** по автоматизированному электроприводу / под ред. В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. М., 1983.
- Усатенко, С.Т.** Выполнение электрических схем по ЕСКД : справ. / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова. М., 1989.

Стандарты

- ГОСТ 2.701-84.**ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.
- ГОСТ 2.702-75.**ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
- ГОСТ 2.710-81.**ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.

Самбук Снежана Николаевна

**СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ
ТЕХНИКА
ТИПОВАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА**
для реализации образовательной программы
среднего специального образования по специальности
2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

Редактор *Е.В. Потапейко*
Компьютерная верстка *С.Л. Прокопцовой, Е.С. Павловой*
Корректор *Л.Э. Татьянак*

Подписано в печать 28.12.11. Формат 60*84/16.
Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 0,9. Уч.-изд. л. 1,1. Тираж 15 экз. Заказ 327. Код 97/11.
Республиканский институт профессионального образования.
ЛИ № 02330/0549497 от 16.06.09.
Ул. К. Либкнехта, 32, 220004, г. Минск. Тел. 226-41-00.
Отпечатано на ризографе Республиканского института профессионального
образования. Ул. Матусевича, 24, 220104, г. Минск. Тел. 201-45-76.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

по учебной дисциплине «Силовая преобразовательная техника»
специальность 2 - 53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

Раздел, тема	Количество часов		
	Всего	В том числе	
		на лабораторные работы	на практические занятия
Введение. Цели и задачи дисциплины.	2		
Раздел 1. Преобразовательная техника	6		
Тема 1.1 Назначение и область применения силового преобразователя	2		
Тема 1. 2 Основные элементы силового преобразователя и их характеристики	2		
Тема 1.3 Структурная схема преобразователя	2		
Раздел 2 Выпрямители	52	10	10
Тема 2.1 Однофазные выпрямители	12	4	
<u>Лабораторная работа №1</u> Исследование однофазного двухполупериодного неуправляемого выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора		2	
<u>Лабораторная работа №2</u> Исследование однофазного мостового управляемого выпрямителя		2	
Тема 2.2 Трехфазные выпрямители	8	4	
<u>Лабораторная работа №3</u> Исследование трехфазного выпрямителя с нулевой точкой		2	
<u>Лабораторная работа №4</u> Исследование трехфазного мостового выпрямителя		2	
Тема 2.3 Расчет и выбор силовых элементов выпрямителя	2		
Тема 2.4 Системы управления выпрямителей	16	2	6
<u>Лабораторная работа №5</u> Исследование аналоговой системы управления однофазного		2	

управляемого выпрямителя.			
<u>Практическая работа №1</u> Проектирование схемы СИФУ и выбор СПП по току нагрузки			2
<u>Практическая работа №2</u> Проверка СПП по току и перегрузочной способности. Выбор СПП по напряжению			2
<u>Практическая работа №3</u> Расчет питающего трансформатора (реактора). Выбор сглаживающего дросселя			2
Тема 2.5 Реверс двигателя при питании от выпрямителя	3		
ОКР №1	1		
Тема 2.6 Внешняя и регулирующая характеристики выпрямителя	4		2
<u>Практическая работа №4</u> Расчет внешней характеристики выпрямителя			2
Тема 2.7 Источники возникновения помех в выпрямителях	6		2
<u>Практическая работа №5</u> Расчет и выбор защитных RC- цепочек			2
Раздел 3. Инверторы	8	2	2
Тема 3.1 Классификация и область применения инверторов. Основные схемы	2		
Тема 3.2 Однофазный автономный инвертор	6	2	2
<u>Практическая работа №</u> <u>6</u> Исследование работы трехфазного инвертора, ведомого сетью			2
<u>Лабораторная работа №6</u> Исследование работы трехфазного мостового инвертора на IGBT-транзисторах		2	
Раздел 4. Широтно-импульсные преобразователи	14	4	
Тема 4.1 Тиристорные ШИП	4		
Тема 4.2 Транзисторные ШИП	10	4	
<u>Лабораторная работа №7</u> Исследование трехфазного		2	

мостового ШИП с симметричным законом управления			
<u>Лабораторная работа №8</u> Исследование трехфазного мостового ШИП с несимметричным законом управления		2	
Раздел 5 Преобразователи частоты и напряжения	12	2	
Тема 5.1 Преобразователь переменного напряжения	2		
Тема 5.2 Двухзвенные преобразователи частоты	8	2	
<u>Лабораторная работа</u> <u>№9</u> Исследование работы преобразователя частоты		2	
Тема 5.3 Непосредственный преобразователь частоты	1		
ОКР №2	1		
Раздел 6 Направление развития преобразовательной техники	6		
Тема 6.1 Современные силовые полупроводниковые приборы	2		
Тема 6.2 Развитие элементной базы управляющих устройств	2		
Тема 6.3 Промышленные преобразователи	2		
Курсовой проект (КП)	20	18	12
Итого:	120		

Перечень существенных и несущественных ошибок

по дисциплине «Силовая преобразовательная техника»
для специальности
2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

Существенные ошибки:

В изложении теоретического материала:

- затруднения в объяснении принципа работы преобразователей;
- затруднения в описании основных элементов преобразователей;
- затруднения в изложении основных требований по выбору СПП, элементов защиты преобразователя;
- ошибки при пояснении назначения различных видов преобразователей;
- затруднения в написании основных расчетных соотношений для различных схем выпрямителей;
- затруднения при использовании справочной литературы;
- затруднения в описании работы принципиальных электрических схем;
- затруднения в описании классификации преобразователей.

При выполнении практических работ:

- несоблюдение нормативно-методических документов при выполнении работ;
- нарушение последовательности операций при выполнении работ;
- ошибки в вычислениях при расчете и выборе СПП;
- затруднения при анализе принципа работы преобразователей;
- выбор аппаратов защиты и управления с завышенными номинальными значениями;
- незнание формул, неумение оперировать ими и применять к решению задач.

Несущественные ошибки:

В изложении теоретического материала:

Допускается:

- неточности в стандартном изложении понятий и определений СПП;
- неполное изложение определений;
- не указание одного из расчетных параметров выпрямителей;
- нерациональный план устного или письменного ответа;
- неполное перечисление классификаций преобразователей;
- неполное изложение определений преобразователей;
- наличие неточностей при описании работы принципиальных электрических схем.

При выполнении практических работ:

- наличие опечаток (менее 5);
- затруднения при преобразовании единиц измерения величин;
- неточности в оформлении работ;
- ошибки вычислительного характера, не приводящие к абсурдным результатам;
- неполное изложение в отчете теоретической части;
- небрежное выполнение записей, схем, рисунков.

Перечень разделов и тем учебной программы

№№ вучэбных заняткаў	Назва раздэлаў, назвы тэм па вучэбнай праграме, назвы тэм асобных вучэбных заняткаў	Колькасць вучэбных гадзін
1	2	3
1	Введение. Цели и задачи дисциплины.	2
	Входной контроль.	
	Раздел 1. Преобразовательная техника.	6
2	Тема 1.1 Назначение и область применения силового преобразователя	2
3	Тема 1.2 Основные элементы силового преобразователя и их характеристики.	2
4	Тема 1.3 Структурная схема преобразователя.	2
	Раздел 2 Выпрямители.	52
	Тема 2.1 Однофазные выпрямители	12
5	Общие сведения о выпрямителях. Основные схемы выпрямителей. ТК	2
6	Схема однофазного однополупериодного выпрямителя.	2
7	Схема однофазного нулевого выпрямителя.	2
8	Схема однофазного мостового выпрямителя.	2
9	<u>Лабораторная работа №1</u> Исследование работы двухполупериодного неуправляемого выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора	2
10	<u>Лабораторная работа №2</u> Исследование однофазного мостового управляемого выпрямителя.	2
	Тема 2.2 Трехфазные выпрямители.	8
11	Схема трехфазного нулевого выпрямителя.	2
12	Схема трехфазного мостового выпрямителя.	2
13	<u>Лабораторная работа №3</u> Исследование трехфазного выпрямителя с нулевой точкой.	2
14	<u>Лабораторная работа №4</u> Исследование трехфазного мостового выпрямителя.	2
15	Тема 2.3 Расчет и выбор силовых элементов выпрямителя. ТК	2
	Тема 2.4 Системы управления выпрямителей	16
16	Структура и функции СИФУ.	2
17	Классификация систем управления.	2
18	Структурная схема СИФУ. Типовые блоки СИФУ.	2
19	Характеристика управления СИФУ.	2
20	<u>Практическая работа №1</u> Проектирование схемы СИФУ и и выбор СПП по току нагрузки	2

Тип вучэбных заняткаў	Вучэбна-метадычныя матэрыялы, сродкі навучання	Заданне для навучэнцаў на дом	Заўвагі
4	5	6	7
Урок изучение нового материала	Карточки входного контроля.	повт.электротехнику	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 1.1	[1], с.229-232	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 1.2	[1], с.44-86	
	видеоролик		
Урок изучение нового материала	РМ по теме 1.3	[1], с.44-50	
	презентация	повт.тем 1.1-1.3	
Урок комбинированный	РМ по теме 2.1, презентация	[1], с.252-258	
	Карточки ТК		
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.1, презентация	[2], с.290-300	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.1, презентация	[2], с.300-303	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.1, презентация	[6], с.57-60	
Урок формирования новых умений	Инструкция по выполнению лабораторной работы	Отчет	
		[2], с.300-303	
Урок формирования новых умений	Инструкция по выполнению лабораторной работы	Отчет	
		[6], с.57-60	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.2, презентация	[1], с.258-275	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.2, презентация	[6], с.66-71,	
		[1], с.258-275	
Урок формирования новых умений	Инструкция по выполнению лабораторной работы	Отчет	
		[6], с.60-66	
Урок формирования новых умений	Инструкция по выполнению лабораторной работы	Отчет	
		[6], с.66-71	
Урок комбинированный	РМ по теме 2.3.	[1], с.238-241	
	Карточки ТК	[4], с.168-171	повтор тем 2.1-2.3
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.4	[4], с.47-50	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.4	[4], с.50-52	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.4	[4], с.52-64	
	презентация		
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.4	[4], с.64-67,	
		[6], с.223-229	повтор тем 1.1-2.4
Урок формирования новых умений	Инструкция по выполнению практической работы	Отчет	
		[7], с.21-27	

№№ вучэбных заняткаў	Назва раздзелаў, назвы тэм па вучэбнай праграме, назвы тэм асобных вучэбных заняткаў	Колькасць вучэбных гадзін
1	2	3
21	<u>Практическая работа №2</u> Проверка СПП по току и перегрузочной способности. Выбор СПП по напряжению	2
22	<u>Практическая работа №3</u> Расчет питающего трансформатора (реактора).Выбор сглаживающего дросселя.	2
	Тема 2.5 Реверс двигателя при питании от выпрямителя.	4
23	Реверс двигателя при питании от выпрямителя.	1
	ОКР №1.	1
24	Анализ ОКР №1. Классификация схем реверсивных преобразователей.	2
25	<u>Лабораторная работа №5</u> Исследование аналоговой системы управления однофазного управляемого выпрямителя.	2
26	КП №1 Выбор силовых полупроводниковых приборов (СПП) по току.	2
	Тема 2.6 Внешняя и регулировочная характеристики выпрямителя	4
27	Внешняя и регулировочная характеристики выпрямителя	2
28	<u>Практическая работа №4</u>	2
	Расчет внешней характеристики выпрямителя	
29	КП №2 Выбор СПП по напряжению.	2
	Тема 2.7 Источники возникновения помех в выпрямителях.	6
30	Источники возникновения помех в выпрямителях.	2
31	Способы подавления помех на стороне постоянного и переменного по тока. Применение фильтров в выпрямителях.	2
32	<u>Практическая работа №5</u>	2
	Расчет и выбор защитных RC-цепочек	
33	КП №3 Выбор силового трансформатора (реактора).Выбор сглаживающего дросселя. Проверка раздела №1.	2
	Раздел 3 Инверторы.	8
34	Тема 3.1 Классификация и область применения инверторов. Основные схемы.	2
	Тема 3.2 Однофазный автономный инвертор	6
35	Однофазный автономный инвертор	2
36	КП №4 Построение структурной схемы СИФУ. Проверка раздела №2.	2
37	<u>Практическая работа № 6</u> Исследование работы трехфазного инвертора, ведомого сетью	2
38	<u>Лабораторная работа №6</u> Исследование работы трехфазного мостового инвертора на IGBT-транзисторах.	2

Тип вучэбных заняткаў	Вучэбна-метадычныя матэрыялы, сродкі навучання	Заданне для навучэнцаў на дом	Заўвагі
4	5	6	7
Урок фарміравання новых уменій	Інструкцыя по выкананню практычнай работы	Отчет [7], с.21-24	
Урок фарміравання новых уменій	Інструкцыя по выкананню практычнай работы	Отчет [4], с.172-175	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.5	[4], с.80-84	
Урок контроля знаний	Карточки с заданием на ОКР №1		
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.5	[4], с.96-105, [5], с.67-72	
Урок фарміравання новых уменій	Інструкцыя по выкананню лабараторнай работы	Отчет [4], с.47-52	
Урок системат. и обобщений	Інструкцыя	Отчет МУ раздел 1	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.6	[1], с.293-310, презентация [6], с.79-82	
Урок фарміравання новых уменій	Інструкцыя по выкананню практычнай работы	Отчет [6], с.79-82	
Урок системат. и обобщений	Інструкцыя	Отчет, МУ раздел 1	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.7	[4], с.175-178	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 2.7	[4], с.178-181	
Урок фарміравання новых уменій	Інструкцыя по выкананню практычнай работы	Отчет [4], с.178-181	
Урок системат. и обобщений	Інструкцыя	Отчет, МУ раздел 2	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 3.1	[1], с.342-347 презентация	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 3.2	[1], с.380-397	
Урок системат. и обобщений	Інструкцыя	Отчет, МУ раздел 3 ГЧ	
Урок фарміравання новых уменій	Інструкцыя по выкананню практычнай работы	Отчет [1], с.343-347	
Урок фарміравання новых уменій	Інструкцыя по выкананню лабараторнай работы	Отчет [6], с.109-110	

№№ вучэбных заняткаў	Назва раздэлаў, назвы тэм па вучэбнай праграме, назвы тэм асобных вучэбных заняткаў	Колькасць вучэбных гадзін
1	2	3
39	КП №5 Проектирование и расчет узлов СИФУ. Расчет устройства синхронизации. Проверка раздела №3.	2
	Раздел 4. Широтно-импульсные преобразователи.	14
	Тема 4.1 Тиристорные ШИП	4
40	Схемы тиристорных ШИП	2
	ШИП с параллельной емкостной коммутацией.	
41	ШИП с последовательной емкостной коммутацией.	2
42	КП №6 Проектирование и расчет генератора опорного напряжения и нуль-органа.	2
	Тема 4.2 Транзисторные ШИП	10
43	Схемы транзисторных	2
	нереверсивных ШИП	
44	Схема транзисторного реверсивного ШИП с диагональной и симметричной коммутацией	2
45	Схема транзисторного реверсивного ШИП с несимметричной коммутацией	2
46	КП №7 Построение и расчет формирователя длительности импульсов, распределителя импульсов и выходных формирователей.	2
47	<u>Лабораторная работа №7</u> Исследование трехфазного мостового ШИП с симметричным законом управления	2
48	<u>Лабораторная работа №8</u> Исследование трехфазного мостового ШИП с несимметричным законом управления	2
	Раздел 5 Преобразователи частоты и напряжения.	12
49	Тема 5.1 Преобразователь переменного напряжения. ТК	2
50	КП №8 Составление принципиальной схемы преобразователя и перечня элементов. Проверка раздела №4.	2
	Тема 5.2 Двухзвенные преобразователи частоты	8
51	Двухзвенные преобразователи частоты. Классификация преобразователей частоты.	2
52	КП №9 Расчет и построение внешней характеристики преобразователя. Проверка раздела №5.	2
53	Структурная схема двухзвенного ПЧ.	2
54	КП №10 Оформление курсового проекта. Заключение . Литература. Перечень ТНПА. Проверка раздела №6.	2
55	<u>Лабораторная работа №9</u> Исследование работы преобразователя частоты	2
56	Схеме электрическая принципиальная двухзвенного ПЧ	2
57	Тема 5.3 Непосредственный преобразователь частоты.	1

Тип вучэбных заняткаў	Вучэбна-метадычныя матэрыялы, сродкі навучання	Заданне для навучэнцаў на дом	Заўвагі
4	5	6	7
Урок системат. і абабшчэный	Інструкцыя	Отчет, МУ раздел 4	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 4.1 презентация	[2], с.405-410	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 4.1 презентация	[2], с.420-425	
Урок системат. і абабшчэный	Інструкцыя	Отчет, МУ раздел 4	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 4.2	[2],с.430-433	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 4.2 презентация	[2],с.434-437	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 4.2, презентация	[2],с.435-437 повтор тем 3.1-4.2	
Урок системат. і абабшчэный	Інструкцыя	Отчет, МУ раздел 4	
Урок формирования новых умений	Інструкцыя по выполнению лабораторной работы	Отчет [2],с.434-437	
Урок формирования новых умений	Інструкцыя по выполнению лабораторной работы	Отчет [2], с.435-437	
Урок комбинированный	РМ по теме 5.1 Карточки ТК	[1], с.437-439	
Урок системат. і абабшчэный	Інструкцыя	Отчет, МУ раздел 5 ГЧ	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 5.2	[8], с.80-91	
Урок системат. і абабшчэный	Інструкцыя	Отчет,МУ раздел 6	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 5.2, стенд-макет	[8], с.80-91	
Урок системат. і абабшчэный	Інструкцыя	Отчет, МУ	
Урок формирования новых умений	Інструкцыя по выполнению лабораторной работы	Отчет [1], с.437-439	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 5.2 видеоролик	[6], с.146-148 повтор тем 2.5-5.3	
Урок изучение нового материала	РМ по теме 5.3	[1], с.443-447	

Занятие 1

Введение. Цели и задачи дисциплины.

Программа дисциплины «Силовая преобразовательная техника» предусматривает изучение принципов построения, расчета, проектирование полупроводниковых преобразователей электрической энергии, а также их узлов.

Изучение курса «Силовая преобразовательная техника» базируется на изучении следующих дисциплин «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ), «Электрические машины», «Основы промышленной электроники».

В результате изучения дисциплины учащиеся должны знать:

- общие цели и задачи полупроводниковых преобразователей;
- основные полупроводниковые приборы, принцип действия, область применения;
- классификация полупроводниковых преобразователей;
- схемы силовых полупроводниковых преобразователей;
- основные узлы силовых элементов и элементов системы управления силовыми полупроводниковыми преобразователями;
- принцип действия силовых полупроводниковых преобразователей;
- анализировать принципы действия схем силовых полупроводниковых преобразователей;
- читать принципиальные схемы;
- рассчитывать и проектировать силовые полупроводниковые преобразователи;
- пользоваться справочной литературой.

Электропривод- это устройство преобразующее электрическую энергию в механическую и управляющее параметрами полученного движения. *Электропривод использует более 50% вырабатываемой электроэнергии.*

По управляемости электропривод разделяют на нерегулируемый, который работает практически при постоянной скорости, и регулируемый, где скорость изменяется в соответствии с требованиями технологического процесса.

Типовой регулируемый электропривод представлен на рисунке 1.

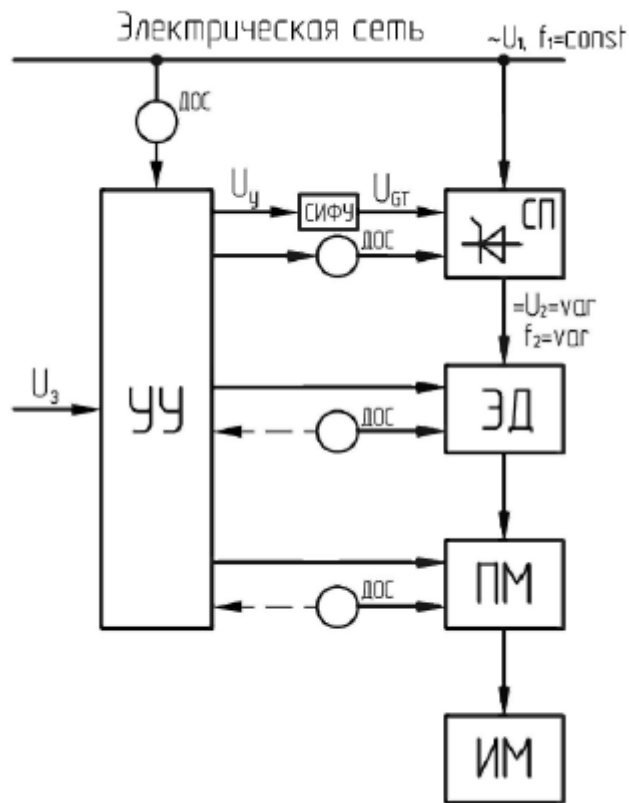


Рисунок 1 - Структурная схема регулируемого электропривода

На рисунке приняты следующие обозначения:

СП — силовой преобразователь;

ЭД — электродвигатель;

ПМ — передаточный механизм;

УУ — управляющее устройство;

СИФУ — система импульсно-фазового управления;

ИМ — исполнительный механизм;

ДОС — датчик обратной связи.

Он состоит из силового преобразователя СП, электродвигателя ЭД, передаточного механизма ПМ, связанного с исполнительным механизмом ИМ рабочей машины или механизма, и управляющего устройства УУ (рис. В.1). Силовой преобразователь изменяет параметры электрической энергии (напряжение, ток, частоту), посредством которых регулируется скорость и момент на валу электродвигателя. Передаточный механизм необходим для согласования параметров механической энергии (скорости, момента) исполнительного механизма и электродвигателя. Управляющее устройство в современном регулируемом электроприводе состоит из контроллера движения (скорость, положение) и электрического контроллера, посредством которого регулируется напряжение (или поток оцепление и момент) или ток электродвигателя.

Контроллер - специализированное техническое устройство, предназначенное для управления другими устройствами путем получения информации в виде цифровых данных или аналого-дискретного сигнала от внешнего устройства (ЭВМ, датчики или иное устройство), преобразования этой информации по специальному алгоритму и выдачи управляющих

воздействий в виде цифрового или аналого-дискретного сигнала. Чаще всего контроллеры представляют собой программируемые устройства, имеющие в своем составе программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) или специализированные процессоры.

Управляющее устройство в общем случае через линии связи (интерфейс) подает управляющие сигналы (команды) на СП, ЭД и ПМ. С помощью датчиков (или наблюдателей) сигналы обратной связи (напряжение, ток, потокосцепление, момент, скорость, положение) по линиям обратной связи поступают в управляющее устройство, где анализируются и принимают участие в выработке управляющих команд.

Занятие 2

Раздел 1. Преобразовательная техника. Тема 1.1 Назначение и область применения силового преобразователя.

Силовая электроника — область техники, связанная с управлением потоками электроэнергии посредством мощных электронных приборов. Термин «силовая электроника» получил широкое распространение сравнительно недавно. До его появления преимущественно использовался термин «силовая преобразовательная техника».

В настоящее время из многообразия силовых электронных устройств можно выделить следующие основные их виды:

— *преобразователи электрической энергии:*

- выпрямители;
- инверторы;
- преобразователи частоты;
- преобразователи постоянного тока в постоянный;

— *регуляторы и стабилизаторы напряжения (тока):*

- переменного тока;
- постоянного тока;

— *статические аппараты управления и защиты постоянного и переменного тока:*

- реле;
- контакторы;
- защитные прерыватели;
- ограничители перенапряжений;
- пускорегулирующие аппараты;

— *статические компенсаторы реактивной мощности;*

— *активные и гибридные фильтры;*

— *формирователи мощных импульсов электроэнергии.*

Полупроводниковые преобразователи электрической энергии (ППЭЭ) предназначены для преобразования параметров электрической энергии (рода тока, частоты, величины напряжения и т.д.) и для регулирования, то есть целенаправленного изменения потока мощности, передаваемого в нагрузку.

ППЭЭ получили широкое применение в трех областях промышленности:

- 1) электропривод постоянного и переменного тока;
- 2) электротехнологические установки (станки);
- 3) электроэнергетические установки (печи, распределительные щиты, подстанции).

Широкое применение устройств преобразовательной техники обусловлено преимуществами полупроводниковых приборов и элементов микроэлектроники — малыми габаритами, быстродействием, чувствительностью, надежностью, экономичностью и широкими возможностями преобразовательной информации.

Принцип действия преобразователя основан на периодическом включении и выключении силовых полупроводниковых приборов (СПП, ключей). Под включением прибора понимается перевод его в открытое,

проводящее состояние, а под выключением - в непроводящее (закрытое) состояние по определенному алгоритму, выполнение которого приводит к достижению поставленной перед преобразователем цели. Приборы, работающие в ключевом режиме (открыт, закрыт) называются вентилями. Преобразователи, выполненные на вентилях, называются вентильными преобразователями.

Основные виды СПП:

- 1) диоды (неуправляемые ключи);
- 2) тиристоры: обычные и запираемые (управляемые ключи);
- 3) симметричные тиристоры - симисторы;
- 4) транзисторы: биполярные, полевые, силовые типа IGBT и др.

Важное значение для работы преобразователя имеет способ включения СПП, или его коммутации. Известно 2 вида коммутации ключей:

- 1) естественная коммутация (ЕК);
- 2) искусственная (принудительная) коммутация (ИК).

Под естественной коммутацией понимается выключение прибора под действием изменяющего свой знак напряжения источника питания преобразователя. Под принудительной коммутацией понимается выключение прибора с помощью дополнительного источника питания (коммутирующий конденсатор и коммутирующий ключ), которые вводятся в схему для коммутации основного ключа. Каждый преобразователь электрической энергии является законченным устройством, включающим в себя ряд функциональных узлов.

Классификация ППЭЭ

ППЭЭ делятся на простые и сложные. В свою очередь простые преобразователи имеют классификацию, которая представлена в виде блок-схемы на рисунке 1.

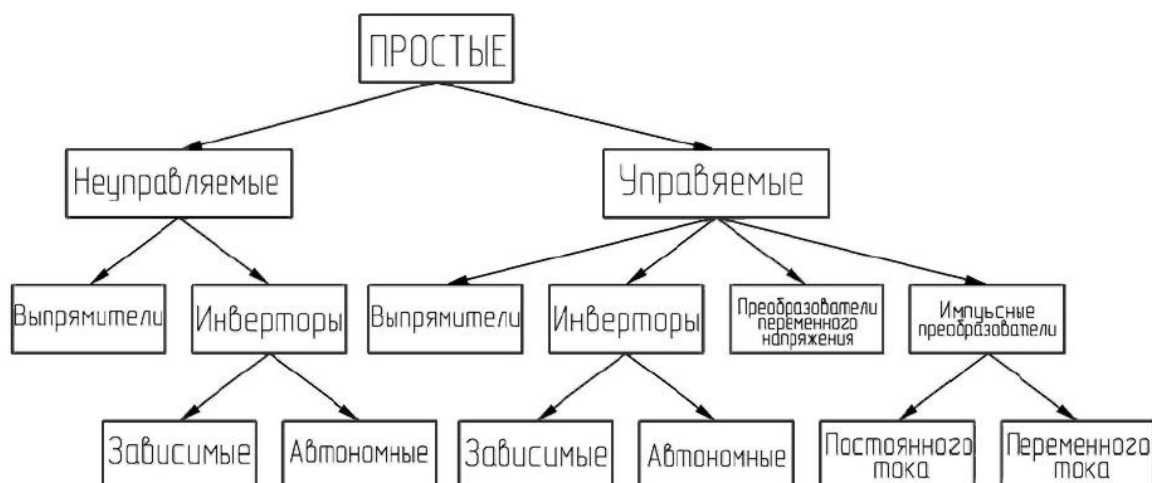


Рисунок 1 – Классификация простых преобразователей

Инвертор – устройство, предназначенное для преобразования постоянного напряжения в переменное.

Зависимый инвертор предназначен для преобразования постоянного напряжения в переменное напряжение сети с постоянной амплитудой и

частотой.

Автономный инвертор предназначен для преобразования постоянного напряжения в переменное напряжение сети с регулируемой амплитудой и частотой.

Однако, простые преобразователи не всегда могут обеспечить режимы, которые необходимы для работы технологических установок. В таких случаях используются сложные преобразователи, в которых несколько простых схем преобразователей соединены тем или иным образом.

Сложные преобразователи бывают:

- 1) с однократным преобразованием энергии;
- 2) с многократным преобразованием энергии.

Занятие 3

Тема 1.2 Основные элементы силового преобразователя и их характеристики.

Применяемые в преобразовательной технике полупроводниковые вентили подразделяются на две основные группы:

- диоды (неуправляемые вентили);
- тиристоры (управляемые вентили).

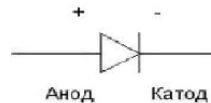
Процессы, происходящие в полупроводниковых вентилях, определяются явлениями, возникающими на границе раздела полупроводника с различными типами электропроводимости дырочной (р-тип) и электронной (n-тип).

В связи с тем, что области применения полупроводниковых вентиляей чрезвычайно широки и многообразны, разрабатываются и выпускаются вентили различного целевого назначения:

- общепромышленные;
- высоковольтные;
- высокочастотные;
- импульсные и тд.

В настоящее время для изготовления силовых полупроводниковых вентиляей в качестве полупроводникового материала используют кремний.

Полупроводниковыми диодами называют полупроводниковые приборы с одним р-n переходом и двумя выводами. Они применяются для выпрямления переменного тока, стабилизации напряжения в цепях постоянного тока.



По назначению полупроводниковые диоды делятся на выпрямительные, высокочастотные, стабилитроны, варикапы, светодиоды, фотодиоды и т.д. Выпрямительные диоды предназначены для преобразования переменного тока в постоянный. В качестве материала применяют германий и кремний. Основной характеристикой выпрямительного диода является его ВАХ.

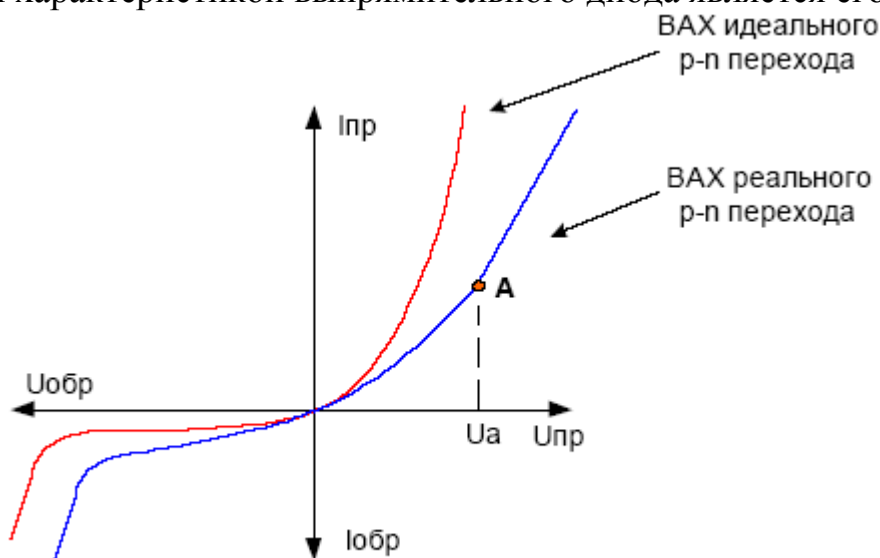
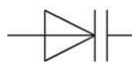


Рис. 31

Высокочастотные диоды – это диоды, которые способны работать на

частотах до 300 МГц. Диоды, работающие на частотах выше 300 МГц, называются сверхвысокочастотными.

Варикапами называются полупроводниковые диоды, действие которых основано на использовании зависимости емкости от обратного напряжения. Варикап используют в качестве элемента с электрической управляемой емкостью.



Для использования свойств варикапа к нему необходимо подвести обратное напряжение. Основное применение варикапов – это электронная настройка колебательных контуров.

Стабилитроном называется полупроводниковый прибор, предназначенный для стабилизации напряжения в цепях постоянного тока.

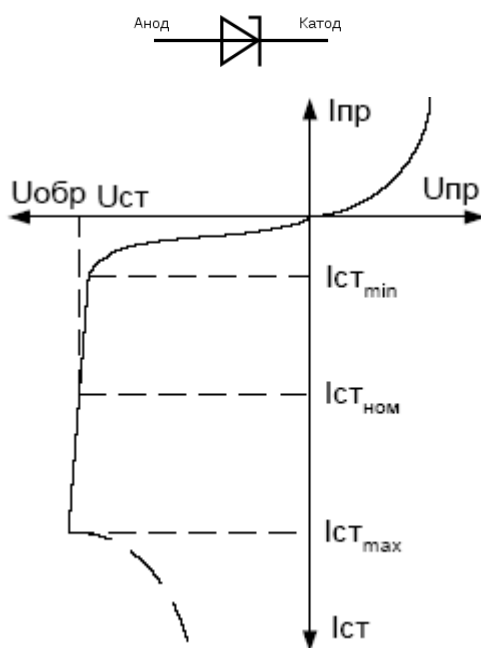
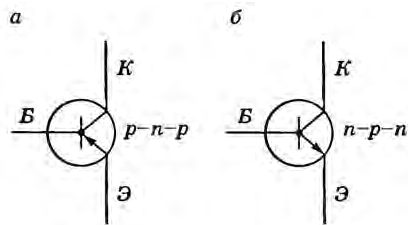


Рисунок - ВАХ стабилитрона

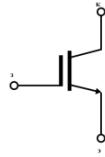
Фотодиод представляет собой полупроводниковый диод, обратный ток которого зависит от освещенности р-п перехода. Фотодиод сочетает в себе достоинства полупроводниковых приборов с более высокой чувствительностью по сравнению с другими фотоэлементами. Когда он неосвещен в цепи протекает обратный ток, при освещении происходит увеличение тока в цепи.

Светодиодом называется излучающий полупроводниковый прибор с одним р-п переходом, предназначен для преобразования электрической энергии в энергию светового излучения.

Транзистором называется полупроводниковый прибор имеющий не менее трех выводов, предназначенный для усиления мощности. Транзисторы бывают полярные и биполярные, IGBT – биполярный транзистор с изолированным затвором.



Аббревиатура **IGBT** - это сокращение названия **Insulated gate bipolar transistor**. В переводе это значит биполярный транзистор с изолированным затвором (БТИЗ). IGBT - транзисторы являются гибридными, в них сочетаются положительные свойства биполярных и полевых транзисторов. IGBT обладает хорошими частотными свойствами, крайне низким значением мощности управления, имеет низкое падение напряжения в проводящем состоянии. Благодаря этим качествам используется в [инверторах](#) и в системах управления [электрическими приводами](#).



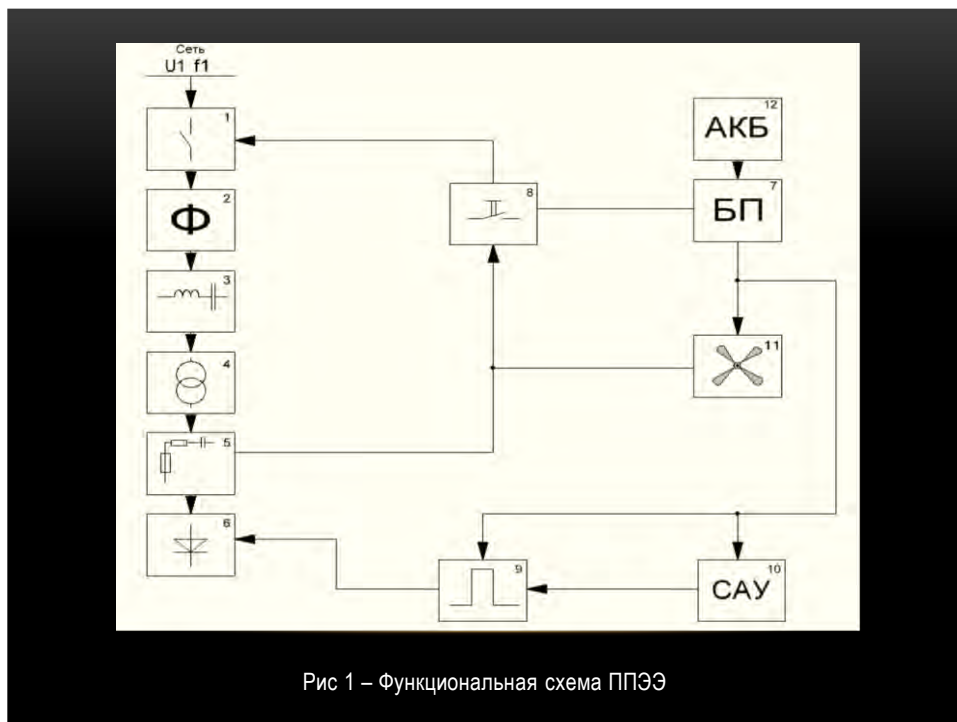
Тиристором называется полупроводниковый прибор с двумя устойчивыми состояниями, который имеет 3 и более p-n переходов, может переключаться из открытого состояния в закрытое и наоборот. Тиристор с двумя выводами называется динистором, а с тремя выводами тринистором.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Основные элементы

Полупроводниковые преобразователи электрической энергии (ППЭЭ) предназначены для преобразования параметров электрической энергии (рода тока, частоты, величины напряжения и т.д.) и для регулирования, то есть целенаправленного изменения потока мощности, передаваемого в нагрузку.

Функциональная схема представлена на рисунке 1



1. Коммутирующая аппаратура: выключатели, АВ (автоматические выключатели), контакторы, через которые к преобразователю подключается входная или выходная сеть. Контактор предназначен для нулевой защиты промышленной установки. Для того, чтобы обеспечить нулевую защиту электроустановки, необходимо, чтобы в составе схемы управления были контактор и кнопки управления.

2. Измерительная аппаратура, предназначенная для контроля за входными и выходными величинами (ток, напряжение, частота и т.д.).

3. Фильтры, предназначенные для исключения (ослабления) помех, воздействующих как на преобразователь, так и на сеть и окружающую среду.

4. Трансформаторы, или токоограничивающие реакторы. Трансформатор предназначен для согласования параметров сети с параметрами нагрузки.



- Трансформатор-устройство которое служит для преобразования переменного напряжения одного уровня, в переменное напряжение другого уровня. Электрическая связь между первичной и вторичной обмоткой отсутствует.

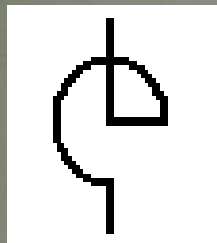
Токоограничивающий реактор предназначен для ограничения токов короткого замыкания, возникающих при коммутации вентилей на уровне, не превышающем ударный ток вентилей.

Реактор



- Реактор – устройство представляющее собой катушку индуктивности, в силовой электронике эти же устройства называются дросселями.

УГО реактора



дросселя



5. Устройство защиты вентилей.
6. Вентильный комплект - основной узел ППЭЭ.
7. Блок питания СУ и вспомогательных устройств.
8. Система пуска, защиты и отключения преобразователя.
9. Система управления вентилями (система импульсно-фазового управления).
10. Система автоматического управления выходными параметрами преобразователя.
11. Система охлаждения.
12. Вспомогательный источник питания (аккумулятор АКБ).

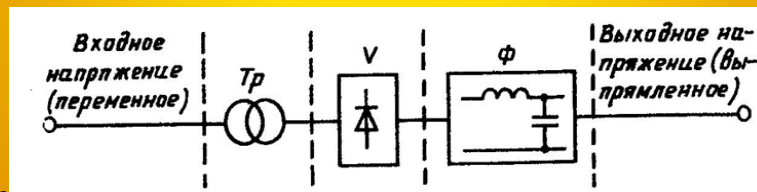
Занятие 5

Раздел 2 Выпрямители. Тема 2.1 Однофазные выпрямители. Общие сведения о выпрямителях. Основные схемы выпрямителей.

Выпрямитель - это преобразователь электрической энергии переменного тока в постоянный.

Состоит из:

- 1) трансформатора (Тр),
- 2) блока полупроводниковых элементов (V),
- 3) выходного фильтра (Ф)



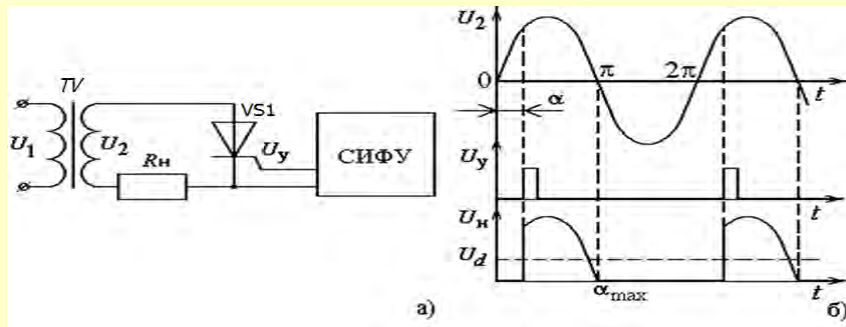
1

Классификация выпрямителей:

- 1) по виду вентилей:
 - управляемые (на тиристорах)
 - неуправляемые (на диодах)
 - полупроводимые (на диодах и тиристорах)
- 2) по числу фаз питающей сети:
 - однофазные
 - трехфазные
- 3) по способу подключения к сети:
 - через согласующий трансформатор
 - через токоограничивающий (анодный) реактор
- 4) по способу включения нагрузки:
 - нулевые, где нагрузка включается между нулевой точкой трансформатора и общей точкой анодов (катодов) вентилей
 - мостовые, где нагрузка включается между общей точкой анодов и общей точкой катодов комплекта вентилей.



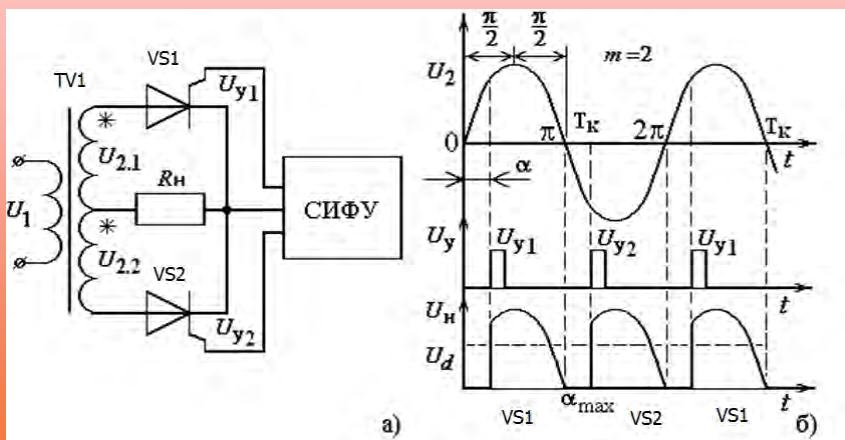
3



Однофазный однополупериодный УВ
изменение момента отпирания тиристора
за счет сдвига фаз между анодным
напряжением U_2 и напряжением U_y .
Сдвиг фаз называют углом управления α .

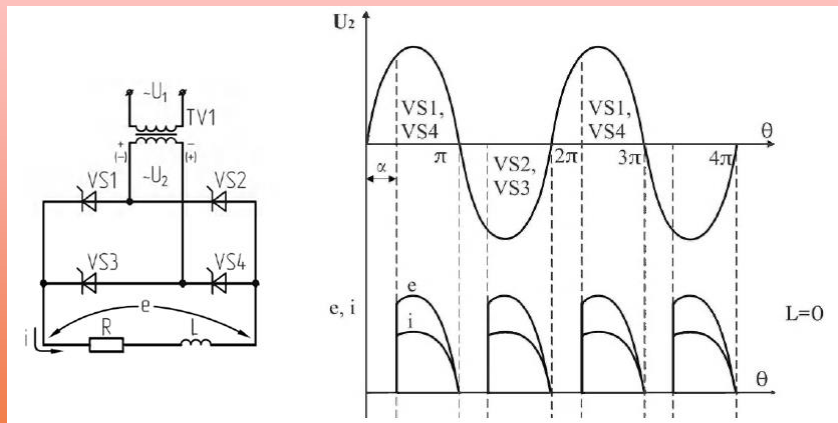
4

Однофазный нулевой выпрямитель

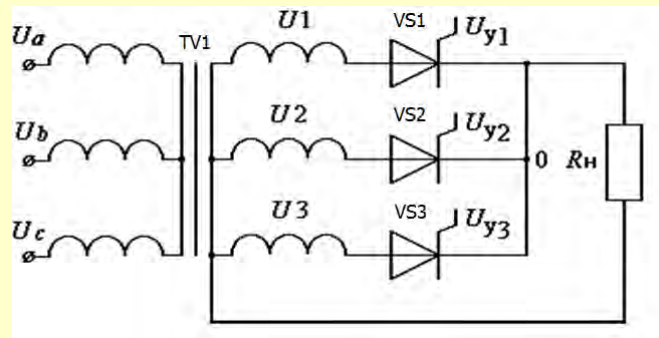


6

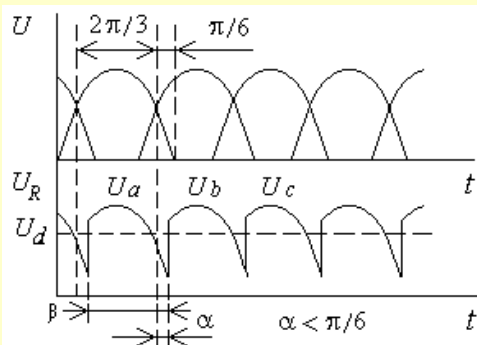
Однофазный мостовой выпрямитель



7



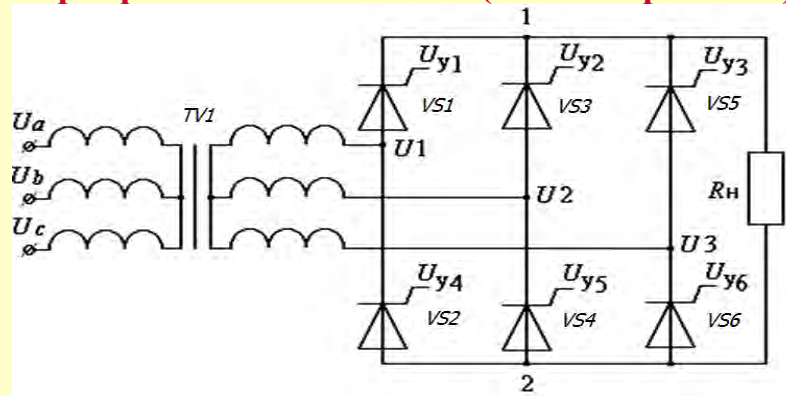
Трёхфазный нулевой УВ



Изменение α - изменение значений U_d . При $\alpha < \pi/6$ выпрямленный ток непрерывен. Тиристоры открыты при угле $\beta \leq 2\pi/3$.

9

Трёхфазный мостовой УВ (схема Ларионова)



угол управления меньше или равен 60° :

$$U_d = \frac{1}{2\pi/6} \int_{-(\pi/6)+\alpha}^{(\pi/6)+\alpha} \sqrt{3}\sqrt{2}U_2 \cos \omega t d\omega t = U_{d0} \cos \alpha = 2,34 \cdot U_2$$

угол управления больше 60° :

$$U_d = \frac{1}{2\pi/6} \int_{-(\pi/6)+\alpha}^{\pi/2} \sqrt{6}U_2 \cos \omega t d\omega t = U_{d0} [1 + \cos(60^\circ + \alpha)]$$

Занятие 6

Схема однофазного однополупериодного выпрямителя.

1 Схема однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя

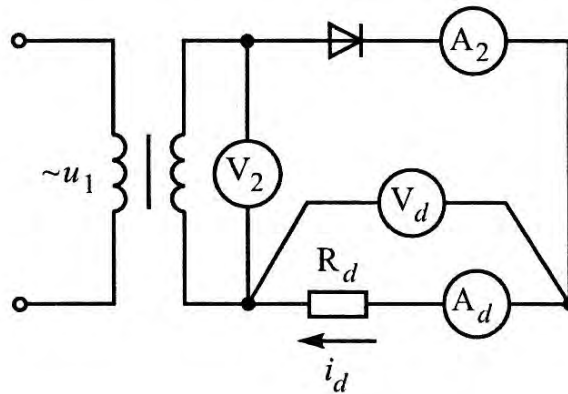


Рисунок 1 - Однополупериодная схема однофазного выпрямителя

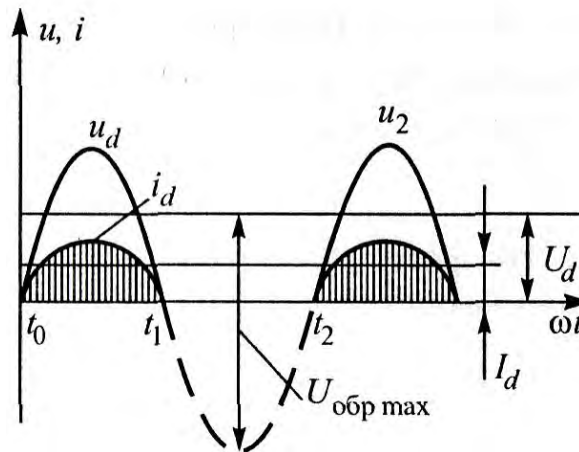
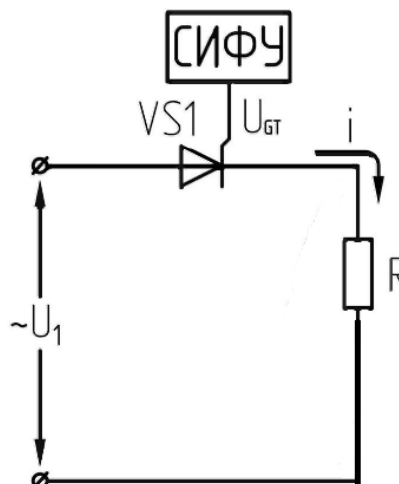
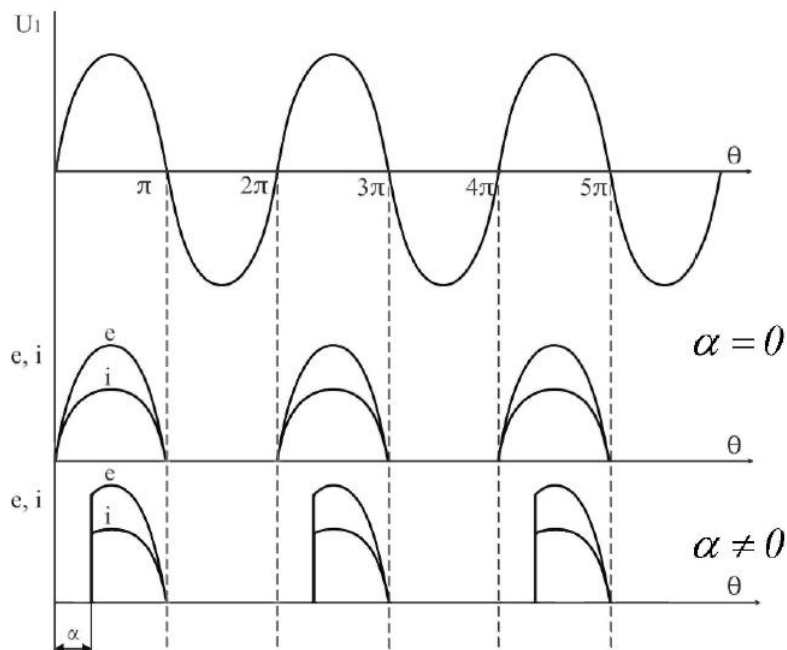


Рисунок 2 – Кривые изменения тока и напряжения

2 Схема однофазного однополупериодного управляемого выпрямителя представлена ниже.



Диаграммы работы выпрямителя на R-нагрузку показаны на рис. 2.4.



Для того чтобы открыть тиристор, необходимо выполнение двух условий:

- 1) потенциал анода должен быть выше потенциала катода;
- 2) на управляющий электрод должен быть подан управляющий импульс.

Таким образом выпрямленная ЭДС e и ток i представляют собой, следующие друг за другом отрезки положительных полусинусоид постоянные по направлению, но не постоянные по величине. Поэтому выпрямленная ЭДС и ток имеет пульсирующий характер.

Процесс регулирования напряжения на нагрузке путем изменения альфа называется фазовым регулированием. Данная схема имеет ряд недостатков:

- 1) высокое содержание высших гармонических в выпрямленной ЭДС;
- 2) большие пульсации ЭДС и тока;
- 3) прерывисты режим работы схемы;
- 4) низкий коэффициент использования схемы $K_{сх}=0,45$.

$K_{сх}$ – это коэффициент схемы по ЭДС, это отношение постоянной составляющей E_0 к действующему значению фазного напряжения источника питания $K_{сх}= E_0/U_1$.

$$K_{сх} = \frac{U_d}{U_2} = 0,45$$

Режимом прерывистого тока (РТП) работы выпрямителя называется такой режим, при котором ток в цепи нагрузки выпрямителя прерывается, т.е. становится равным нулю.

Занятие 7
Схема однофазного нулевого выпрямителя.

Однофазная схема с нулевым выводом приведена на рисунке 1

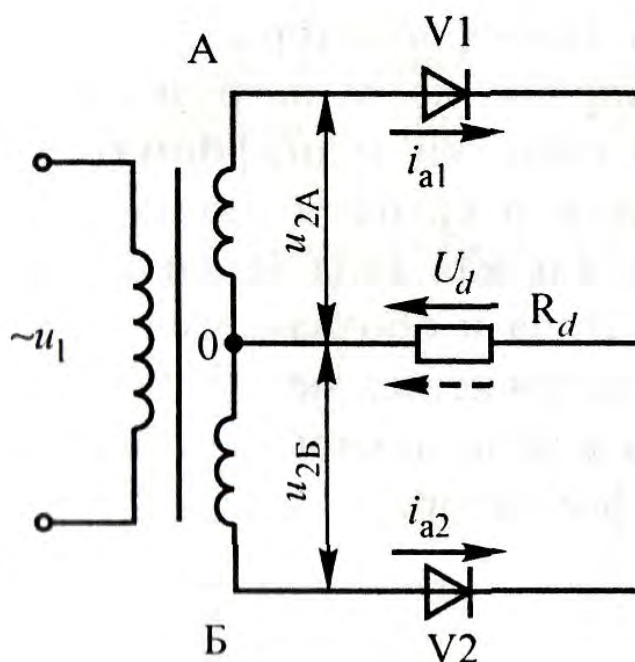


Рисунок 1 – Двухполупериодная схема выпрямления с нулевой точкой

Эта схема имеет трансформатор и два диода по которым попеременно протекает ток.

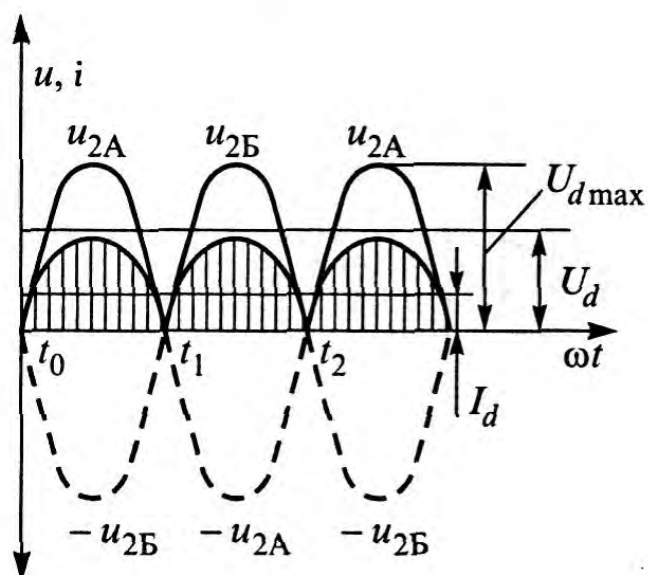


Рисунок 2 – Кривые изменения тока и напряжения

Средняя точка трансформатора соединяется с проводом нулевого потенциала. Работает схема следующим образом. Напряжение U_{2A}, U_{2B} , измеренные на концах А и В вторичной обмотки трансформатора относительно средней точки 0, являются противофазными. Во время положительного полупериода напряжение U_{2A} открывается VD1, а VD2 закрыт. Поэтому через нагрузку R_H протекает ток i_{a1} , создаваемый верхней

половиной вторичной обмотки трансформатора. В следующий полупериод сетевого напряжения относительно точки 0 положительным оказывается напряжение U_{2B} , а U_{2A} – отрицательным. Открытым окажется VD2, VD1 – закрыт. Через нагрузку потечет ток i_{a2} , создаваемый напряжением U_{2B} . Таким образом ток через нагрузку протекает в каждый полупериод сетевого напряжения в одном и том же направлении, создавая на ней пульсирующее напряжение.

Среднее значение выпрямленного напряжения :

$$U_d = K_{CX} U_2 = 0.9 U_2$$

Максимально значение обратного напряжения, приложенному к запортому диоду:

$$U_{обр.м} = \sqrt{2} U_2$$

Действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора:

$$U_2 = 1,11 U_d$$

Расчетная мощность силового трансформатора двухполупериодного выпрямителя $S_m = 1,48 P_d$

В данной схеме коэффициент пульсаций 0,67. В двухполупериодной схеме лучше используются возможности трансформатора, меньше коэффициент пульсаций, а значение среднего тока на диоде в 2 раза меньше, чем на нагрузке.

Занятие 8

Схема однофазного мостового выпрямителя.

Силовая схема однофазного мостового выпрямителя представлена на рис. 4.1, а временные диаграммы его работы на активную нагрузку – на рис. 4.2.

Вентильный мост (рис. 4.1) содержит две группы вентилей – катодную (нечетные вентили) и анодную (четные вентили). В мостовой схеме ток проводят одновременно два вентиля – один из катодной группы и один из анодной.

Как видно из рис. 4.1 вентили включаются так, что в положительные полупериоды напряжения U_2 ток протекает через вентили $VS1$ и $VS4$, а в отрицательные полупериоды – через вентили $VS2$ и $VS3$. Принимаем допущения, что вентили и трансформатор идеальные, т.е. $L_{mp} = R_{mp} = 0, \Delta U_B = 0$.

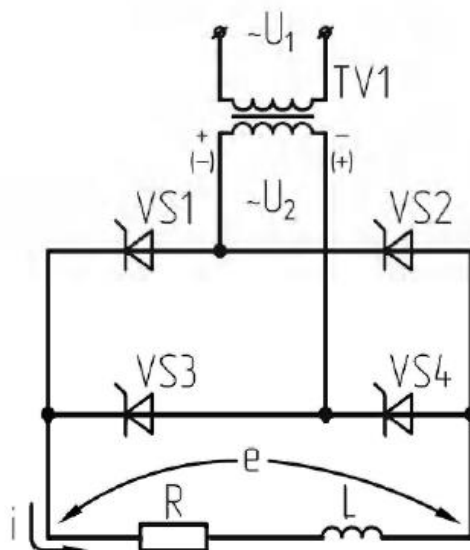


Рис. 4.1. Схема однофазного мостового выпрямителя

В данной схеме в каждый момент времени проводит ток одна пара тиристоров $VS1$ и $VS4$ в положительные полупериоды U_2 и $VS2$ и $VS3$ в отрицательные. Когда все тиристоры закрыты, то к каждому из них прикладывается половина напряжения питания.

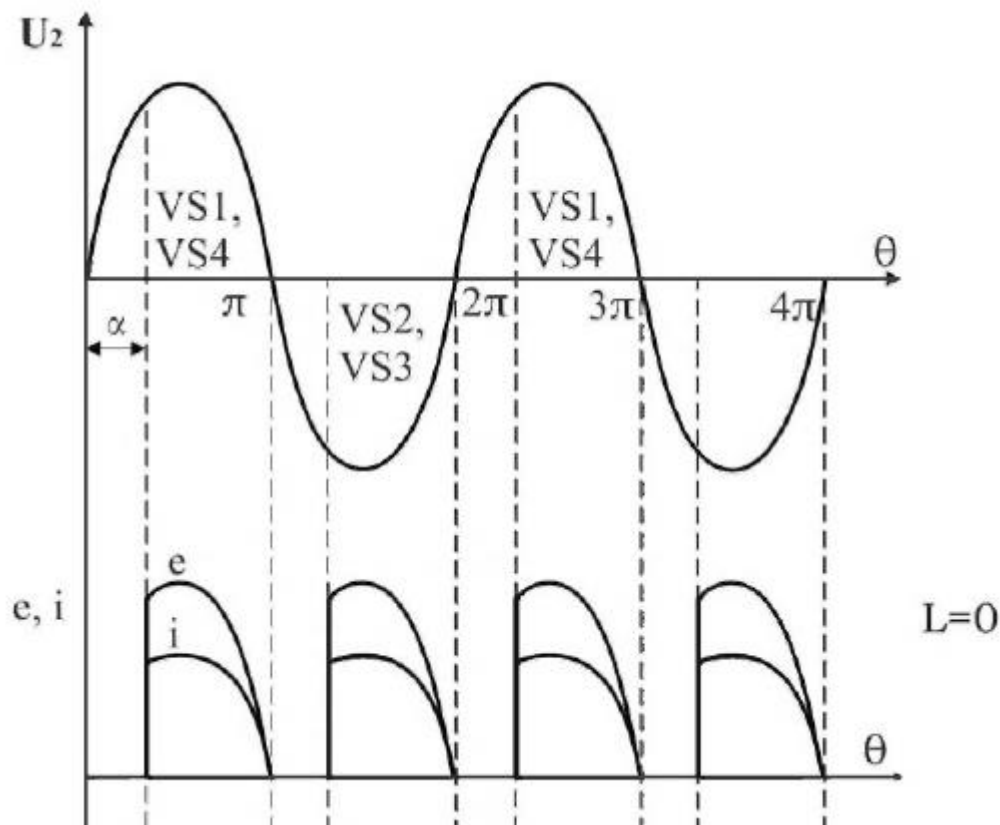


Рисунок 4.2- Диаграммы работы однофазного выпрямителя на активную нагрузку

При $\theta = \alpha$ открываются $VS1$ и $VS4$ и по нагрузке начинает протекать ток через открывшееся $VS1$ и $VS4$. К работавшим ранее $VS2$ и $VS3$ прикладывается полное напряжение сети в обратном направлении.

При $\theta = \pi$, U_2 меняет свой знак и поскольку нагрузка активная, то ток становится равным нулю, а к $VS1$ и $VS4$ прикладывается обратное напряжение и они закрываются.

При $\theta = \pi + \alpha$ открываются тиристоры $VS2$ и $VS3$ и ток по нагрузке продолжает протекать в том же направлении.

Временные диаграммы работы однофазного мостового выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку приведены на рисунке 4.3.

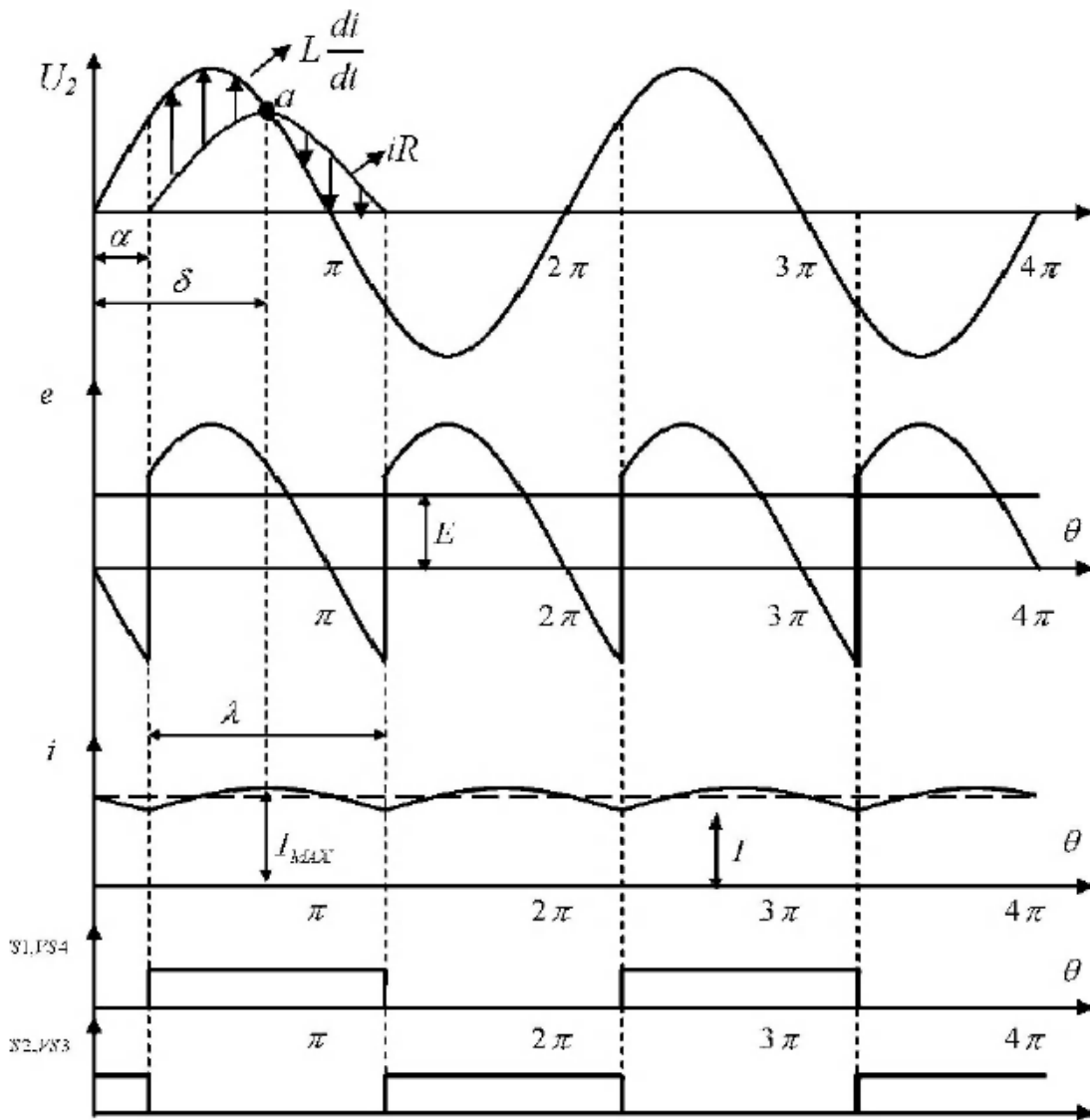


Рис. 4.3. Диаграммы работы однофазного мостового выпрямителя при работе на RL-нагрузку

Коэффициент формы тока $K_{fi} = 1,41$.

Этот выпрямитель имеет более простую конструкцию трансформатора.

Среднее и действующее значение тока вентиля:

$$I_{в.ср} = \frac{I}{2}, I_{в} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

Занятие 9

Тема 2.2 Трехфазные выпрямители. Схема трехфазного нулевого выпрямителя.

Силовая электрическая схема трехфазного нулевого выпрямителя (рис. 11.1) содержит три тиристора $VS1-VS3$, с помощью которых осуществляется управление выпрямленным напряжением, и трансформатор $TV1$, который используется для согласования параметров сети с параметрами нагрузки, а также для создания нулевой точки для подключения нагрузки.

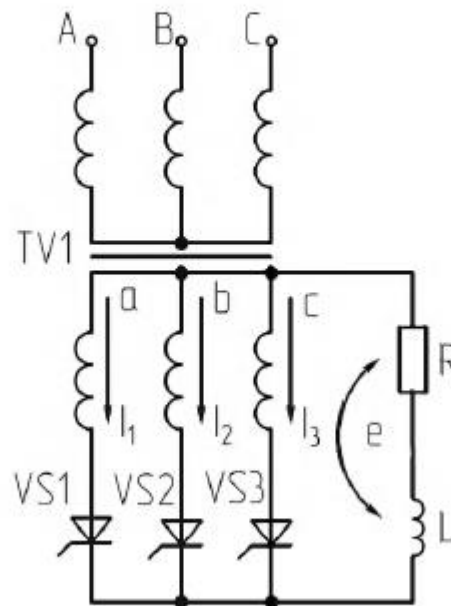


Рис. 11.1. Схема трехфазного нулевого выпрямителя

Временные диаграммы работы схемы на активно-индуктивную нагрузку представлены на рис. 11.2.

В данной схеме в каждый период времени ток проводит только один тиристор, причем тот, который имеет наиболее высокий потенциал анода по отношению к катоду.

Точка естественного открывания тиристорov сдвинута для каждого из них на угол 30° по отношению к моменту перехода через 0 соответствующего фазного

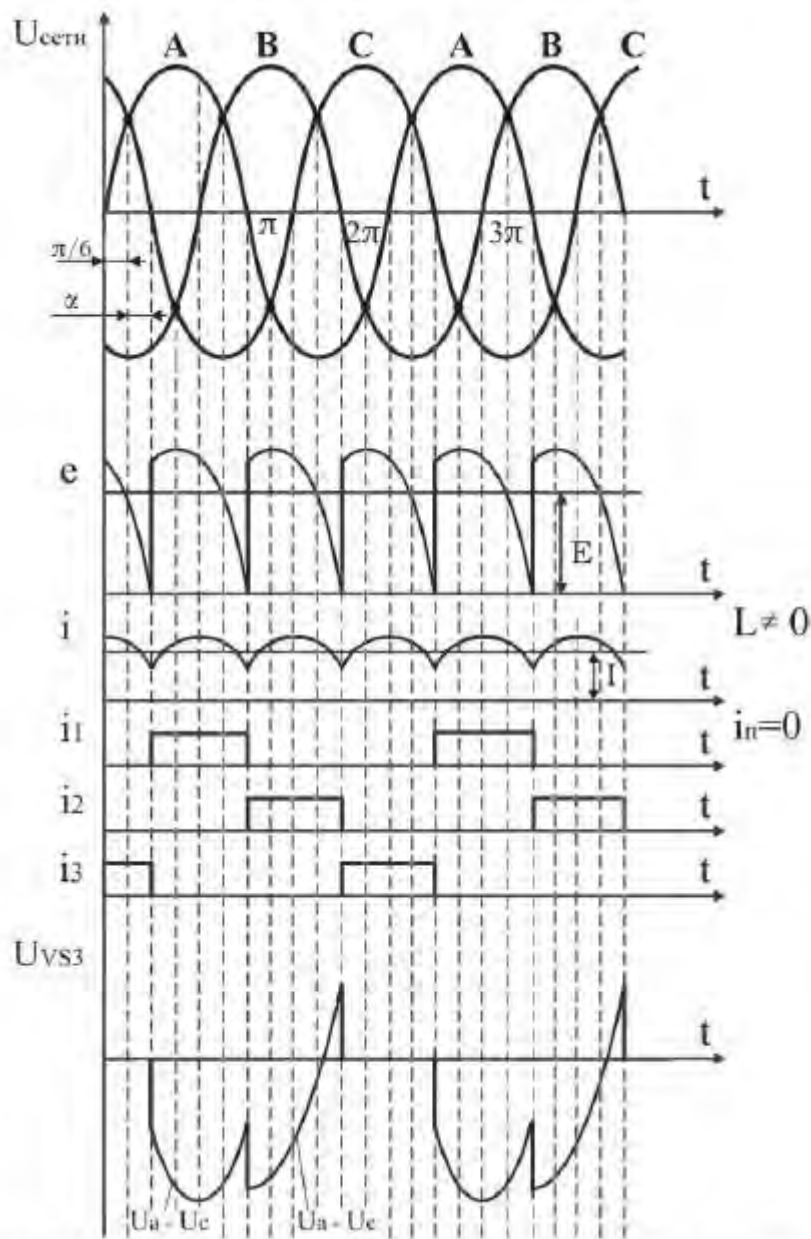


Рис. 11.2. Временные диаграммы работы трёхфазного нулевого выпрямителя

напряжения. В момент времени $\theta = \frac{\pi}{6} + \alpha$ подается открывающий импульс на тиристор VSI_1 , имеющий в этот момент времени наиболее высокий потенциал на аноде по отношению к катоду. VSI_1 открывается и нагрузка подключается к фазе a . При этом к нагрузке прикладывается фазное напряжение $U_{..}$.

В момент времени $\frac{5\pi}{6} + \alpha$ подается открывающий импульс на тиристор $VS2$, который открывается, так как потенциал анода в этот момент времени у него как более высокий. Через открывшийся $VS2$ нагрузка подключается к фазе b . При этом через открывшийся $VS2$ к тиристору $VS1$, ранее работавшему, прикладывается обратное линейное напряжение $U_b - U_a$, вследствие чего он закрывается.

Таким образом, включение вентиля в схеме происходит поочередно, вследствие чего каждая фаза поочередно положительным полюсом подключается к нагрузке и ток в нагрузке имеет одно и то же направление. В режиме непрерывного тока каждый тиристор в схеме проводит ток в интервале 120° .

Среднее значение выпрямленного напряжения :

$$U_d = K_{сх} U_2 = 1,17 U_2, K_{сх} = 1,17$$

Максимально значение обратного напряжения, приложенному к запертому диоду:

$$U_{обр.м} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} U_2 = \sqrt{6} U_2$$

Среднее и действующее значение тока вентиля:

$$I_{в.ср} = \frac{I}{3}, I_{в} = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

Расчетная мощность силового трансформатора двухполупериодного выпрямителя $S_m = 1,345 P_d$

Преимущества данной схемы – простота, небольшое количество диодов, с незначительными потерями в них. Данная схема работает наиболее экономично.

Явление вынужденного намагничивания сердечника трансформатора

В схеме трехфазного нулевого выпрямителя существует явление вынужденного намагничивания трансформатора. Из-за того, что по обмоткам трансформатора протекает пульсирующий ток, имеющий постоянную составляющую и ряд высших гармонических, при соединении обмоток трансформатора по схеме звезда-звезда потоки вынужденного намагничивания содержат постоянную и переменную составляющие. В результате сердечник трансформатора насыщается, а в стальной арматуре возникают тепловые потери за счет действия вихревых токов, индуцируемых переменной составляющей потока вынужденного намагничивания.

Для устранения потерь, вызванных переменной составляющей потока вынужденного намагничивания, первичные обмотки трансформатора соединяются в треугольник. Для устранения в трансформаторе постоянной составляющей потока вынужденного намагничивания, каждую вторичную обмотку расщепляют на две части и соединяют в зигзаг (рис. 12.1). При соединении обмоток в треугольник третья и кратные ей гармоники исчезают.

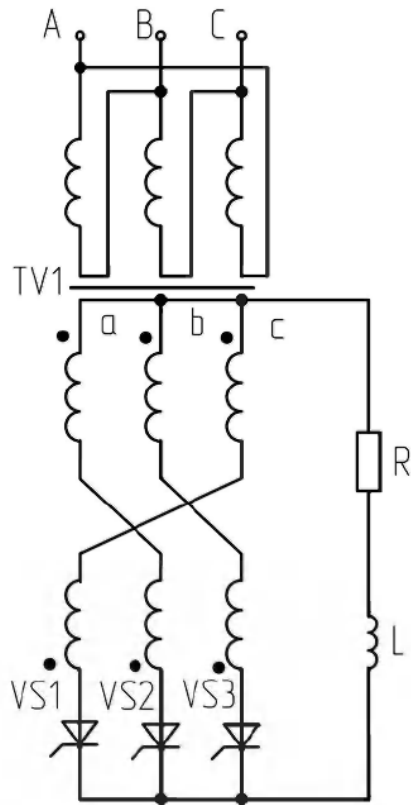


Рис. 12.1. Схема соединения трансформатора треугольник-зигзаг

Ток, протекающий по полуобмотке a , создает поток в одну сторону, а ток, протекающий через фазу c во второй полуобмотке a , вызывает обратный магнитный поток. Следовательно, поток переменный.

Занятие 10

Схема трехфазного мостового выпрямителя.

Силовая схема трехфазного мостового симметрично-управляемого выпрямителя представлена на рис. 13.1, а временные диаграммы его работы – на рис. 13.2.

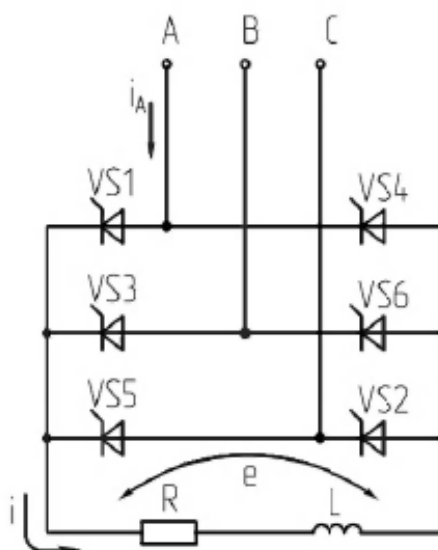


Рис. 13.1. Схема трехфазного мостового выпрямителя

В данной схеме нагрузка включается между общей точкой катодной группы (*VS1*, *VS3*, *VS5*) и общей точкой анодной группы (*VS2*, *VS4*, *VS6*). В каждый момент времени в схеме проводят ток два тиристора, один из катодной группы, имеющий наиболее высокий потенциал на аноде и один из анодной группы, имеющий наиболее низкий потенциал на катоде.

Моменты естественного открывания тиристоров катодной группы сдвинуты по отношению к моментам перехода соответствующего фазного напряжения через 0 в положительную область на угол $\frac{\pi}{6}$, а для тиристоров анодной группы – также на угол $\frac{\pi}{6}$ по отношению к моменту перехода через 0 соответствующего фазного напряжения из положительной в отрицательную область (рис. 13.3).

Рассмотрим режим работы выпрямителя при $L=0$, $\alpha=0$. Коммутация с одного вентиля на следующий происходит в моменты, соответствующие пересечению синусоид фазных напряжений вторичной обмотки трансформатора. Как видно

из диаграммы вентили схемы проводят ток 1/3 периода.

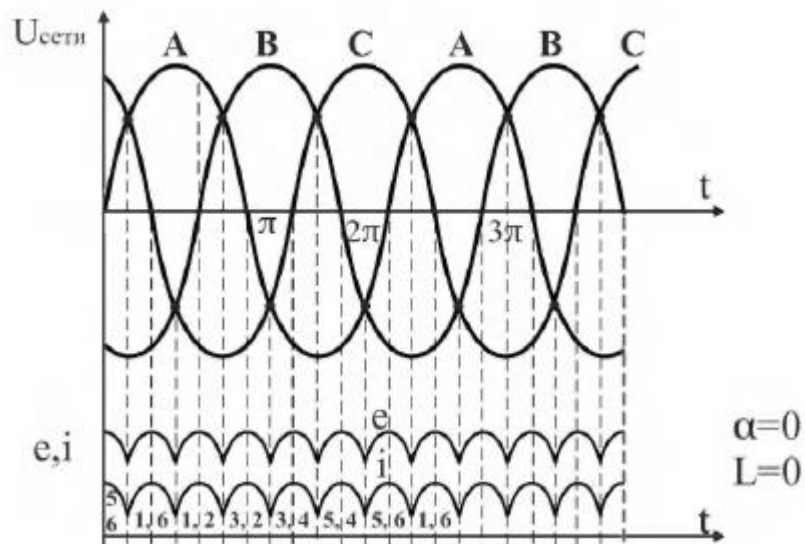


Рисунок 13.2 – временные диаграммы работы трехфазного мостового выпрямителя

Среднее значение выпрямленного напряжения :

$$U_d = K_{сх} U_2 = 2,34 U_2, K_{сх} = 2,34$$

Максимально значение обратного напряжения, приложенному к запертому диоду:

$$U_{обр.т} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} U_2 = \sqrt{6} U_2$$

Среднее и действующее значение тока вентили:

$$I_{в.ср} = \frac{I}{3}, I_{в} = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

Занятие 11

Тема 2.3 Расчет и выбор силовых элементов выпрямителя

Выбор силовых вентиляей заключается в сопоставлении параметров режима работы преобразователя с параметрами силового вентиля.

Методика расчета СПП :

- 1) Выбор СПП потоку
- 2) Проверка СПП по максимальному току
- 3) Проверка СПП по перегрузочной способности
- 4) Выбор СПП по напряжению

Выбираем диоды и тиристоры для нормального режима работы и нормальных условий охлаждения, которые характеризуются следующими параметрами:

- частота напряжения питающей сети, $f = 50$ Гц;
- коэффициент формы тока для однофазных $K_{\phi i} = 1,41$, для трехфазных 1,57;
- угол проводимости вентиля, $\beta = 180^\circ$;
- температура окружающей среды, $T_a = 40^\circ\text{C}$;
- скорость охлаждающего воздуха, $V = 6$ м/с.

Для выбора СПП рассчитывается номинальный ток нагрузки I_H , А по формуле

$$I_H = \frac{P_H}{U_H \eta}, \quad (1.1)$$

где P_H – номинальная мощность двигателя, Вт (по заданию);

U_H – номинальное напряжение на якоре двигателя, В (по заданию);

η_H – номинальный КПД двигателя (по заданию).

Зная величину номинального тока якоря, можно рассчитать среднее $I_{B,CP}$, А

$$I_{B,CP} = \frac{I_H}{K^2 \phi_i}, \quad (1.2)$$

также действующее $I_{B,д}$, А значение тока через вентили по формуле

$$I_{B,д} = \frac{I_H}{K \phi_i} \quad (1.3)$$

Тиристоры выбираются по среднему значению тока через вентиль I_{TAVm} , А по формуле

$$I_{TAVm} \approx K_{3,PI} \cdot K_{3,O} \cdot I_{B,CP}, \quad (1.4)$$

где $K_{3,PI}$ – коэффициент запаса по рабочему току. Принимаем $K_{3,PI} = 1,1$;

$K_{3,O}$ – коэффициент запаса, учитывающий отклонение условий охлаждения и режима работы вентиля от нормальных. Принимаем $K_{3,O} = 1,1$.

Диоды выбираются по среднему значению тока через вентиль I_{FAVm} , А по формуле

$$I_{FAVm} \approx K_{3.p.i} \cdot K_{3.o} \cdot I_{B.cP} \quad (1.5)$$

По справочнику [1] предварительно выбираем необходимый тиристор или диод (в соответствии с заданием) с нужным охладителем.

Для проверки правильности выбора тиристора и диода производится перерасчет максимального тока в прямом направлении I_{FAVm}^* , А для диода по формуле

$$I_{FAVm}^* = \frac{\sqrt{U_{(TO)}^2 + 4k_{\phi i}^2 r_T \frac{T_{jm} - T_a}{R_{th ja}} - U_{(TO)}}}{2k_{\phi i}^2 r_T}, \quad (1.6)$$

также I_{TAVm}^* , А для тиристора по формуле

$$I_{TAVm}^* = \frac{\sqrt{U_{T(TO)}^2 + 4k_{\phi i}^2 r_T \frac{T_{jm} - T_a}{R_{th ja}} - U_{T(TO)}}}{2k_{\phi i}^2 r_T}, \quad (1.7)$$

где $U_{T(TO)}$ - пороговое напряжение открывания тиристора, В;

$U_{(TO)}$ - пороговое напряжение открывания диода, В;

r_T - динамическое сопротивление в открытом состоянии, Ом;

T_{jm} - максимальная температура перехода, °С;

T_a - температура окружающей среды, °С;

R_{thja} - установившееся тепловое сопротивление переход-среда, °С/Вт.

Установившееся тепловое сопротивление переход-среда R_{thja} , °С/Вт определяем по формуле

$$R_{thja} = R_{thjc} + R_{thch} + R_{thha}, \quad (1.8)$$

где R_{thjc} - тепловое сопротивление переход-корпус, °С/Вт (см. приложение А);

R_{thch} - тепловое сопротивление корпус-контактная поверхность охладителя, °С/Вт (см. приложение Б);

R_{thha} - тепловое сопротивление контактная поверхность охладителя - охлаждающая среда, °С/Вт. Принимаем $R_{thha} = 2,1$ °С/Вт.

При выполнении условия для диода

$$k_{3.p.i} I_{FAVm} \leq I_{FAVm}^*, \quad (1.9)$$

и при выполнении условия для тиристора

$$k_{3.p.i} I_{TAVm} \leq I_{TAVm}^*, \quad (1.10)$$

считается, что прибор по току выбран правильно. Если условия 1.9 или 1.10 не выполняются, то необходимо повторить расчет с формул (1.4), (1.5), выбрав из справочника прибор с током на ступеньку выше или ниже.

Занятие 12

Тема 2.4 Системы управления выпрямителей. Структура и функции СИФУ.

Система импульсно-фазового управления (СИФУ) называется так, поскольку управляющий сигнал имеет форму импульса, а фаза этого импульса может регулироваться.

СИФУ предназначена для выполнения следующих двух функций.

1. Определение моментов времени, в которые должны быть включены те или иные конкретные вентили. Эти моменты времени задаются величиной напряжения управления $U_{\text{У}}$, которое подается на вход СИФУ и определяет значения выходных параметров преобразователя: таких, как среднее значение тока и напряжения на выходе выпрямителя или действующее значение тока или напряжения на выходе ППН, т.е. в зависимости от величины напряжения управления $U_{\text{У}}$ определяются фазы открывания (угол α) тиристоров.

2. Формирование открывающих импульсов, передаваемых в нужные моменты времени на управляющие электроды тиристоров, по длительности и мощности и обеспечение гальванической развязки между СИФУ и силовой схемой преобразователя.

Для выполнения этих функций СИФУ содержит два основных узла (рис. 22.1):

1) ФСУ (фазосмещающее устройство) – осуществляет задачу преобразования напряжения управления $U_{\text{У}}$ в угловой интервал α ;

2) ВФ (выходные формирователи) – формируют открывающие импульсы по длительности, форме и мощности и обеспечивают потенциальную развязку между системой управления и силовой схемой преобразователя.

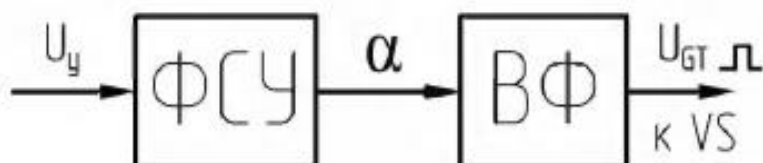


Рис. 22.1. Структурная схема СИФУ

Занятие 13

Классификация систем управления.

Требования предъявляемые к СИФУ

1. Длительность и мощность открывающих импульсов определяется в соответствии с параметрами применяемых ключей, режимами работы преобразователя и должны быть достаточными для надежного открывания ключей преобразователя.

2. Диапазон регулирования угла открывания α вентилями определяется типом преобразователя, режимом его работы (непрерывный или прерывистый), характером нагрузки (R или RI) и должен быть достаточным для регулирования выходного напряжения в заданном диапазоне.

Например, для регулирования выходного напряжения трёхфазного мостового выпрямителя, работающего на R нагрузку ($R-L$ нагрузку в прерывистом режиме), в диапазоне от нуля до максимального значения, требуется изменение α от 0° до 120° . При работе на $R-L$ нагрузку в режиме непрерывного тока – от 0° до 90° .

3. Ассиметрия открывающих импульсов по фазам не должна превышать $1,5^\circ..2,5^\circ$.

Классификация СИФУ

На данный момент разработано большое количество различных СИФУ, удовлетворяющих самым разнообразным требованиям.

Все свойства различных СИФУ определяются некоторой совокупностью признаков, к числу которых относятся:

1. Вид развертываемого сигнала:
 - а) вертикальные – развёртывается опорный сигнал, а $U_y = const$;
 - б) интегрирующие – развёртывается управляющее напряжение, а $U_{оп} = const$.
2. Способ отсчета угла α :
 - а) одноканальные (отсчет α в одном канале для всех тиристорov);
 - б) многоканальные (отсчет α для каждого тиристора (пары противофазных тиристорov) производится в своем канале).

Занятие 14

Структурная схема СИФУ. Типовые блоки СИФУ.

Типовыми блоками СИФУ вертикального типа (рис. 1) устройства синхронизации (УС), генератор развертываемого (пилообразного) напряжения (ГРН), компаратор (К), формирователь длительности импульсов (ФДИ), распределитель импульсов (РИ), выходной формирователь (ВФ), генератор высокочастотных импульсов (ГВИ).

УС - устройство синхронизации обеспечивает связь с питающей сетью и согласование напряжений, их фильтрацию, т.е. получение из напряжения, питающего преобразователь,

неискаженного, синусоидального напряжения, потенциально развязанного с сетью, с соответствующей амплитудой и фазой. УС отмечает переходы через ноль сетевого напряжения ($U_{\text{синх}}$) и формирует разрешающие сигналы U_{p1} и U_{p2} , соответствующие положительным и отрицательным полупериодам сетевого напряжения.

ГРН - генератор развертываемого напряжения формирует, в данном случае пилообразное опорное напряжение U_n на основании входного сигнала $U_{оп}$, возвращаясь в исходное состояние в момент подачи импульсов $U_{\text{синх}}$.

НО - нуль-орган (компаратор) сравнивает на входе пилообразное напряжение $U_{пил}$ с напряжением управления U_u в момент их равенства меняет свое выходное состояние. Компаратор К преобразует U_u в фазовый сдвиг, т. е. угол α .

ФДИ - формирователь длительности импульсов по переднему фронту сигнала $U_{но}$ формирует прямоугольные импульсы с длительностью, достаточной для надежного открывания тиристоров силового блока.

РИ - распределитель импульсов управляется сигналами $U_{р1}$ и $U_{р2}$ с выхода УС и служит для распределения импульсов U_{gtj} тиристорам $VS1...VS4$. Он формирует на выходе открывающие импульсы U_{gt1} и U_{gt2} .

ВФ1, ВФ2 - выходные формирователи формируют открывающие импульсы по мощности, необходимой для надежного включения тиристоров, и обеспечивают потенциальную развязку СУ с силовым блоком.

ГВИ - генератор высокочастотных импульсов генерирует импульсы высокой частоты. Он необходим, если управление тиристорами осуществляется широкими импульсами (для исключения насыщения импульсных трансформаторов ВФ).

При изменении U_y изменяется угол α , что приводит к изменению длительности проводящего состояния тиристоры СБ и регулированию величины выпрямленной ЭДС E .

В данном случае, уменьшению U_y соответствует уменьшению угла α и, следовательно, увеличению выходной ЭДС E , что неудобно, т.к. при $U_y = 0$, $E = E_{\max}$, а необходимо, чтобы при $U_y = 0$ $E = 0$. Для исключения этого вводится напряжения смещения $U_{см}$ подаваемое на компаратор К дополнительно к U_y и $U_{см}$.

Занятие 15

Характеристика управления СИФУ.

Характеристикой управления СИФУ называется зависимость угла открывания вентилей α от напряжения управления U_y на входе СИФУ, или $\alpha = f(U_y)$. Характеристика управления СИФУ, с учетом напряжения смещения. Описывается уравнением

$$\alpha = -\frac{\pi(U_y + U_{см})}{U_{оп.мак}},$$

где $U_{см}$ – напряжение смещения, В.

$U_{оп.мак}$ – максимальное значение опорного напряжения, В.

Основным элементом СИФУ, осуществляющим преобразование U_y в фазовый сдвиг, т.е. в угол открывания α , является компаратор.

Изменяя величину напряжения управления U_y в пределах от 0 до $U_{см}$ производится значений α по формуле, результаты расчетов сводятся в таблицу. По результатам расчетов строится график характеристики управления СИФУ.

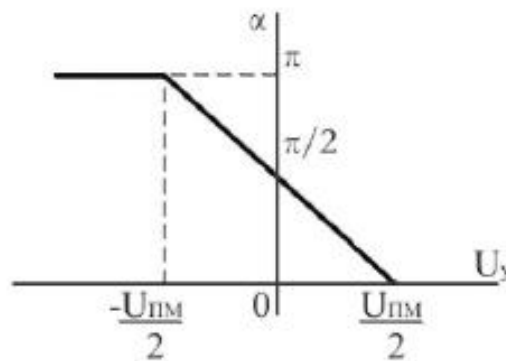
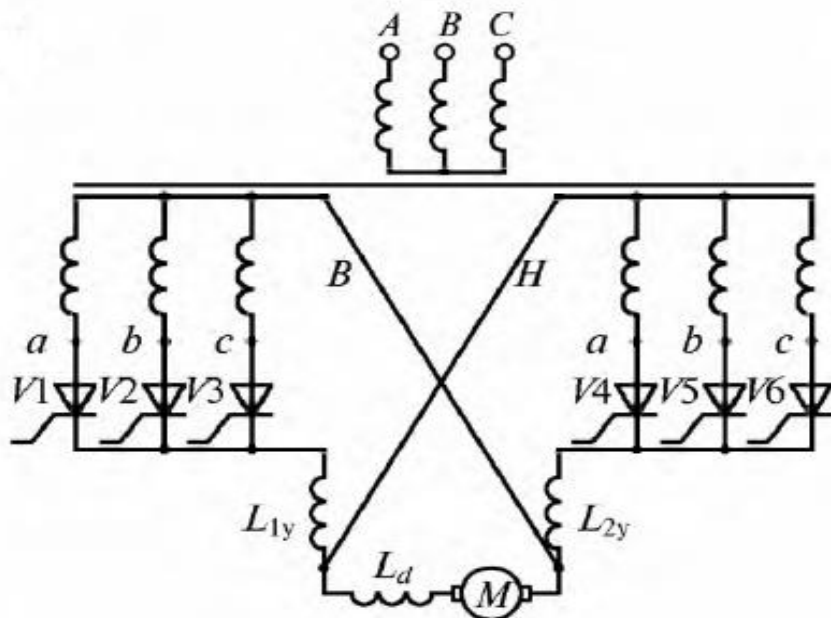


Рис. 24.5. Регулировочная характеристика СИФУ с $U_{см}$

Реверсивный преобразователь-

это двухкомплектный рекуперирующий преобразователь, обеспечивающий передачу мощности в обоих направлениях, как за счет изменения направления напряжения, так и за счет изменения направления тока. Реверсивный преобразователь содержит два комплекта вентиляей. Второй комплект предназначен для того, чтобы изменять направление тока.

Схемы реверсивных преобразователей носят названия перекрестной и встречно-параллельной.



Наиболее часто комплекты вентилей проводят ток по очереди. Комплекты могут выполняться на основе ранее изученных схем выпрямителей. В перекрестной схеме требуется применение более сложного трансформатора.

Существует два способа управления комплектами вентиляей:

- раздельное управление, при котором всегда работает только один комплект вентиляей. Чтобы включить второй комплект, надо подождать, пока через первый полностью прекратится ток, и выдержать для надежности бестоковую паузу;
- совместное управление, при котором одновременно работают оба комплекта. При этом один комплект работает в выпрямительном, а второй - в инверторном режиме.

Преимущества раздельного управления:

- отсутствие токоограничивающих уравнительных реакторов, снижение потерь и габаритов из-за отсутствия реакторов.

Преимущества совместного управления

- большее быстродействие
- (нет бестоковых пауз), проще система управления, устраняется участок
- прерывистых токов на внешней характеристике.

В настоящее время применяется в основном раздельное управление, и, только если очень важны динамические показатели, применяется совместное управление.

Занятие 18

Тема 2.6 Внешняя и регулировочная характеристики выпрямителя

Внешней характеристикой преобразователя называется зависимость выходной ЭДС выпрямителя E_d от тока нагрузки I_H при постоянном угле открывания тиристоров α , или $E_d = f(I)$ при $\alpha = \text{const}$. Выходную ЭДС выпрямителя можно приравнять к напряжению на якоре двигателя $E_d = U$.

В общем случае, без учета зоны прерывистого тока, внешняя характеристика представляет собой семейство прямых параллельных между собой, наклоненных к оси абсцисс (оси тока).

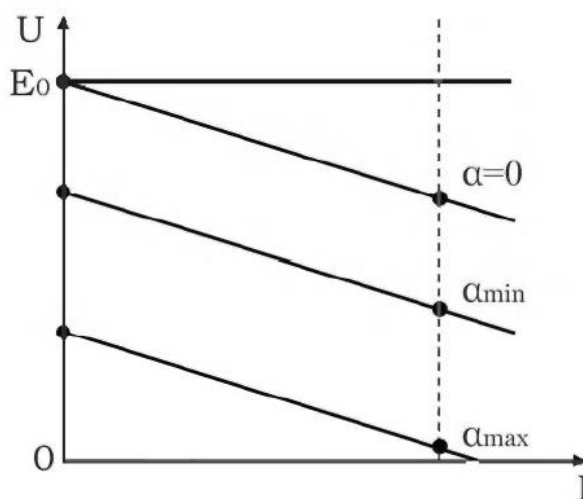


Рис. 16.2. Внешние характеристики выпрямителя

Напряжение на якоре двигателя определяется выражением

$$U = c_e \cdot \omega_H + I_H \cdot \sum R_{яц}, \quad (1)$$

где c_e - конструктивная постоянная электродвигателя при номинальном потоке возбуждения, В·с (здесь и далее считаем, что поток возбуждения соответствует номинальному значению).

Воспользовавшись номинальными значениями скорости двигателя, тока якоря, напряжения на якоре и сопротивления якоря из формулы (1) можно найти коэффициент c_e

$$c_e = \frac{U_H - I_H \sum R_{яц}}{\omega_H} \quad (2)$$

Суммарное активное сопротивление якорной цепи двигателя рассчитывается по формуле

$$\sum R_{яц} = R_{я} + R_{дп} + R_{тр(ар)} + R_{др} + R_{п}, \quad (3)$$

где $R_{я}$ - сопротивление якоря двигателя, Ом (по заданию);
 $R_{дп}$ - сопротивление дополнительных полюсов, Ом (по заданию);
 $R_{тр(ар)}$ - активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора (анодного реактора), Ом;
 $R_{др}$ - активное сопротивление сглаживающего дросселя, Ом;
 $R_{п}$ - сопротивление перекрытия анодов вентиля, Ом.

Активное сопротивление сглаживающего дросселя определяем по формуле

$$R_{ДР} = \frac{\Delta P_{КЗ}}{I_H^2} \quad (4)$$

Сопротивление перекрытия анодов вентиля рассчитывается по формуле

$$R_{П} = \frac{m_n \cdot L_{ЯЦ}}{2\pi} \quad (5)$$

Для расчета и построения внешней характеристики необходимо:

1 Рассчитать углы открывания вентиля, соответствующих скорости двигателя ω_H , $0,5 \omega_H$ и $0,1 \omega_H$.

а) для однофазных и трехфазных мостовых

$$\alpha = \arccos \left[\frac{2 \cdot (C_e \cdot W_H + I_H \cdot \sum R_{ЯЦ})}{E_0} - 1 \right] \quad (6)$$

б) для трёхфазных нулевых

$$\alpha = \arccos \left[\frac{(C_e \cdot W_H + I_H \cdot \sum R_{ЯЦ})}{E_0} \right] \quad (7)$$

2 Зная значения угла открывания α по формуле (8), (9) рассчитывается значение напряжения на якоре двигателя для токов равных номинальному току и $I_H=0$, т.е. по двум точкам построим внешнюю характеристику выпрямителя для каждого из значений угла открывания α .

а) для однофазных и трехфазных мостовых

$$U = \frac{E_0 \cdot (1 + \cos \alpha)}{2} - I_H \cdot \sum R_{ЯЦ} - \sum \Delta U_B, \quad (8)$$

где α - угол открывания тиристорov, град;

$\sum R_{ЯЦ}$ - суммарное активное сопротивление якорной цепи, Ом;

$\sum \Delta U_B$ - суммарное падение напряжения на СПП, В. Принимаем

$\sum \Delta U_B = 2В$.

б) для трёхфазных нулевых

$$U = E_0 \cdot \cos \alpha - I_H \cdot \sum R_{ЯЦ} - \sum \Delta U_B \quad (9)$$

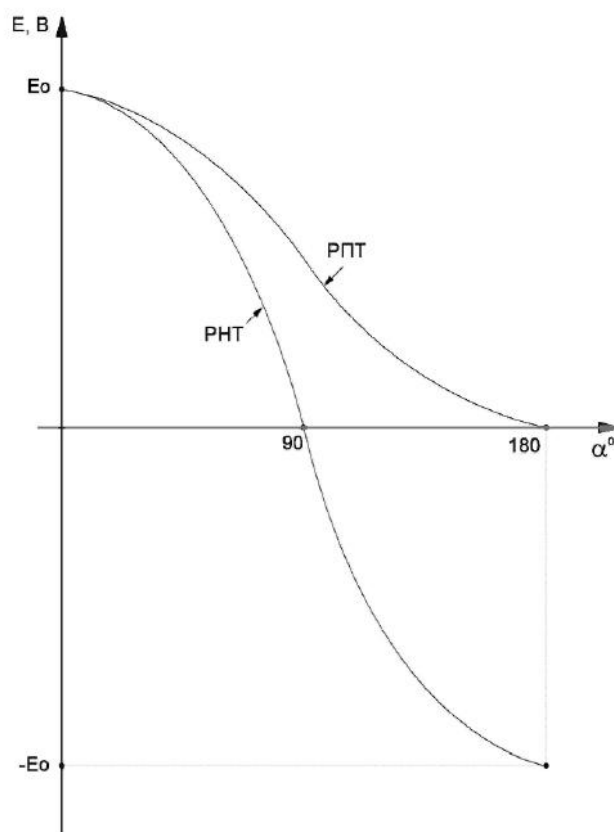
$$E_0 = K_{сх} U_2$$

Однако в области малых токов существует, так называемая зона прерывистого тока, представляющая собой эллипс с полуосями, равными соответственно E_0 и $I_{ГР.МАХ} = (0,05...0,15)I_H$. В зоне прерывистого тока внешние характеристики представляют собой отрезки параболы, соединяющей точку пересечения границы зоны прерывистого тока и прямой, имеющей значение $U = 0$. Рассчитанные значения представляются в виде таблицы и строятся внешние характеристики.

Характеристика управления вентильного комплекта – это зависимость $E = f(\alpha)$.

$$E = E_0 \cdot \cos \alpha;$$
$$\alpha = \arccos \frac{E}{E_0}. \quad (25.6)$$

Характеристика управления вентильного комплекта, построенная по выражению (25.6) представлена на рис. 25.4.



Занятие 19

Тема 2.7 Источники возникновения помех в выпрямителях.

Переходные процессы в цепях преобразователей электрической энергии часто сопровождаются перенапряжениями. Основными из которых являются: перенапряжения, обусловленные процессами в полупроводниковых приборах в момент коммутации тока; коммутационные перенапряжения, возникающие в момент отключения внешних цепей с индуктивностями; перенапряжения вызванные резонансными явлениями в преобразователях; внешние перенапряжения, поступающие из питающей сети. Перенапряжения могут привести к электрическому пробое приборов, вызывающему как правило, возникновение коротких замыканий.

При всех повреждениях, вызывающих протекание опасных для полупроводниковых вентилей токов кз или перегрузки должна срабатывать токовая защита.

Назначение защиты – это контроль и предупреждение превышения токов сверхдопустимой нормы. При больших перегрузках и токах кз защита должны отключать преобразователь или его поврежденную часть.

Ввиду чувствительности полупроводниковых вентилей к перегрузкам, коротким замыканиям и перенапряжениям для обеспечения надежной работы преобразователей предъявляются следующие основные требования к системам защиты:

1) максимальное быстродействие с целью ограничения аварийных токов по длительности и амплитуде;

2) ограничение всех видов внешних и внутренних перенапряжений до допустимого уровня;

3) отключение поврежденного участка не должно вызывать дополнительных нагрузок на оставшиеся в работе вентили и недопустимых перенапряжений на них.

4) возможность применения автоматического повторного включения (АПВ) преобразователей после срабатывания защиты при условии ликвидации аварийного процесса. Почти все переходные процессы в цепях вентильных преобразователей сопровождаются перенапряжениями, как правило, обусловленными резким изменением тока в индуктивностях.

Основные виды перенапряжений, воздействующих на полупроводниковые вентили:

- перенапряжения, обусловленные физическими процессами в полупроводниковых ключах в моменты коммутации тока за счет эффекта накопления носителей;

- коммутационные перенапряжения, возникающие в моменты отключения цепей с индуктивностями;

- перенапряжения, обусловленные резонансными явлениями в преобразователях;

- внешние перенапряжения, поступающие из питающей сети при

прерывистых

коротких замыканиях на землю, при разрядах молнии и др.

Перенапряжения могут привести к электрическому пробоем вентилей, как правило, вызывающему возникновение коротких замыканий.

Причины протекания больших токов:

- внешние аварии, вызванные короткими замыканиями в нагрузке или в распределительной сети;

- внутренние аварии, обусловленные повреждением отдельных вентилей в результате перенапряжений;

- внутренние аварии, обусловленные нарушениями в системе управления

преобразователей;

- заряд больших емкостей фильтров при включении;

- бросок тока при включении трансформатора.

Занятие 20

Способы подавления помех на стороне постоянного и переменного тока. Применение фильтров в выпрямителях.

Для ограничения от перенапряжений на вентилях тиристорных преобразователей применяют RC-цепочки. Защитные RC-цепи предназначены для ограничения скорости нарастания напряжения и снижения перенапряжений на вентилях схемы. Для защиты вентилях от перенапряжений, возникающих при включении и выключении трансформатора применяются RC-цепочки между фазами.

Для защиты СПП от аварийных токов используют анодные реакторы, которые ограничивают ток короткого замыкания на уровне, не превышающем ударный ток $I_{уд}$ прибора.

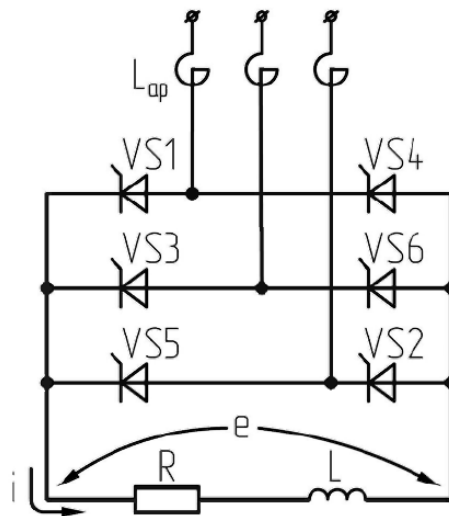


Рис. 16.3. Схема трехфазного мостового выпрямителя

Параметры RC-цепей, защищающих полупроводниковые приборы от внутренних перенапряжений, можно определить ориентировочно.

Для защиты преобразователей от аварийных токов применяют защитную аппаратуру - быстродействующие автоматические выключатели и быстродействующие плавкие предохранители. Для защиты от внешних коротких замыканий (КЗ) и опрокидываний инвертора чаще всего применяют автоматические выключатели, устанавливаемые на стороне переменного и постоянного тока. Для защиты от внутренних КЗ, вызванных повреждениями вентилях, последовательно с вентилями устанавливают плавкие предохранители.

В маломощных установках плавкие предохранители могут устанавливаться также для защиты от внешних КЗ вместо автоматических выключателей.

Быстродействующие плавкие предохранители являются самыми простыми защитными аппаратами.

К быстродействующим плавким предохранителям, предназначенным для защиты полупроводниковых вентилях, предъявляются более жесткие требования, чем к общепромышленным плавким предохранителям. Эти требования сводятся к следующему:

- 1) полное или частичное согласование характеристик предохранителя с характеристиками полупроводниковых вентилях;
- 2) высокая отключающая способность;

- 3) минимальные потери при номинальном токе;
- 4) отсутствие изменений характеристик во времени при длительном протекании номинального тока;
- 5) эффективное токоограничение;
- 6) минимальная энергия, выделяющаяся в полупроводниковых вентилях за время протекания аварийного тока;
- 7) минимальное напряжение дуги, возникающее при срабатывании предохранителя, которое не должно приводить к пробоем неповрежденных вентилях.

Быстродействующие плавкие предохранители, как правило, обеспечивают защиту полупроводниковых вентилях только от токов короткого замыкания и не защищают от перегрузки.

Фильтры включаются на входе и на выходе преобразователей.

Фильтры, выполненные только на реактивных элементах (индуктивностях и емкостях), называют пассивными. Часто в состав этих фильтров входят и резисторы, демпфирующие колебания, возникающие в высокодобротных контурах.

Входные фильтры служат для уменьшения вредного влияния преобразователей на питающую сеть. Кроме того, они защищают преобразователь от электромагнитных помех, передающихся из сети. Их часто называют сетевыми фильтрами. Сетевые фильтры могут существенно улучшить качество напряжения в сети и одновременно уменьшают проникновение помех из сети к потребителю.

Выходные фильтры улучшают форму выходного напряжения преобразователя и называются сглаживающими. Сглаживающие фильтры бывают емкостные, индуктивные и Г-образные.

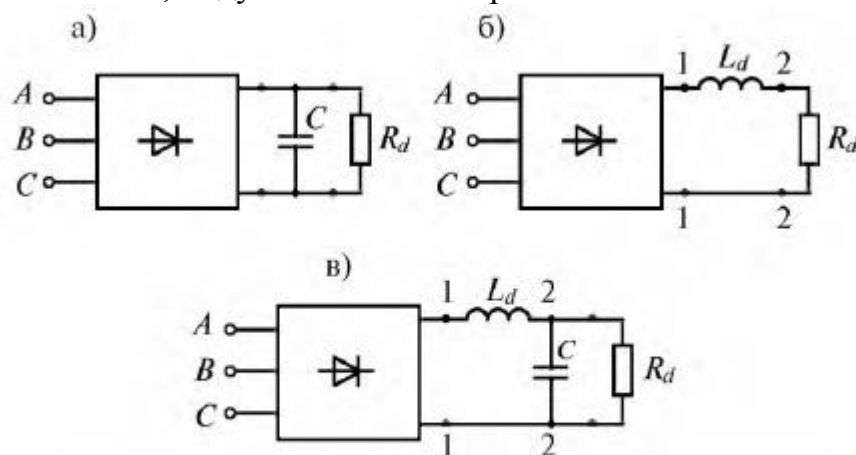


Рис. 15.5. Схемы присоединения сглаживающих фильтров к выпрямителям: емкостного (а), индуктивного (б), Г-образного (в)

Недостатки емкостного фильтра - начальный бросок тока при включении, тяжелые условия работы вентилях выпрямителя и вредное влияние на питающую сеть из-за малого угла проводимости вентилях.

Преимущество емкостного фильтра - его простота.

Индуктивные фильтры применяются в преобразователях средней и большой мощности, например, при питании двигателей постоянного тока от управляемых выпрямителей.

С помощью емкостных и индуктивных фильтров недостижим высокий коэффициент сглаживания. Для повышения коэффициента сглаживания, уменьшения вредного влияния преобразователя на питающую сеть и улучшения переходного процесса включения применяют Г-образные фильтры. Г-образные фильтры обеспечивают достаточно хорошее сглаживание и находят широкое применение, когда требуется более высокое качество постоянного напряжения.

Занятие 21
Раздел 3 Инверторы. Тема 3.1 Классификация и область применения инверторов. Основные схемы.

Инвертор – это устройство предназначенное для преобразования постоянного напряжения в переменное. В качестве нагрузки к инвертору подключают двигатели переменного тока.



Инверторы делятся на две группы:

- 1) автономные
- 2) зависимые

- Зависимый инвертор (ведомый) – преобразует постоянное напряжение в нерегулируемое переменное.
- Автономный инвертор – преобразует постоянное напряжение в переменное по напряжению и частоте.

К основным схемам инверторов

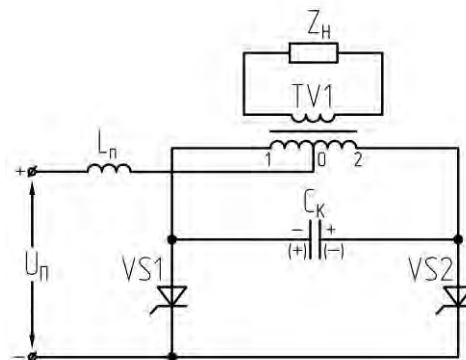
относятся:

- 1) Однофазный инвертор с нулевым выводом от трансформатора
- 2) Однофазный мостовой инвертор
- 3) Трёхфазный мостовой инвертор

•

•

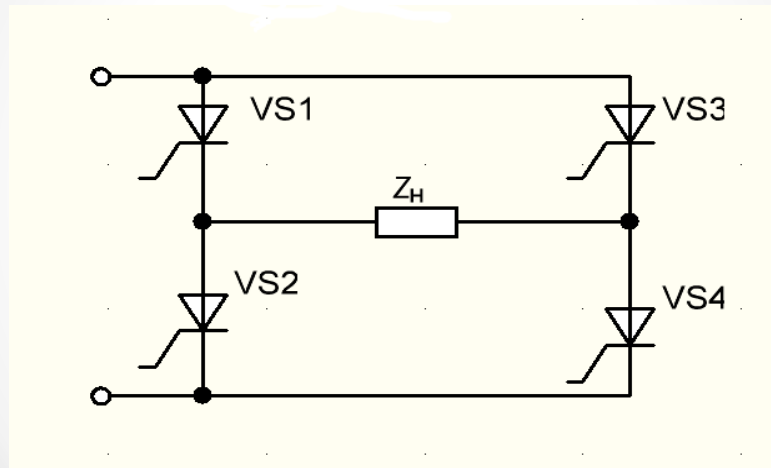
Однофазный инвертор с нулевым выводом от трансформатора.



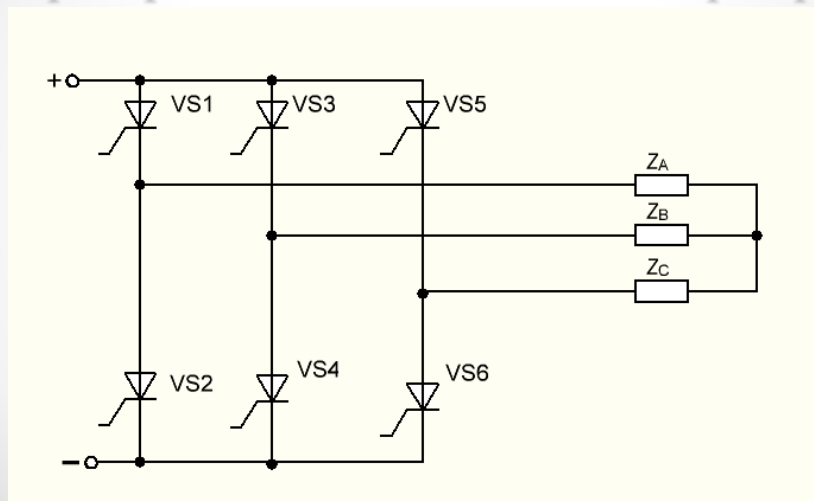
•

•

Однофазный мостовой инвертор.



Трёхфазный мостовой инвертор.



В зависимости от особенности протекания электро-магнитных процессов автономные инверторы делятся на три группы:

- Автономный инвертор напряжения (АИН)
 - Автономный инвертор тока (АИТ)
 - Резонансный инвертор (АИР)
- В системах ЭП наибольшее применение получили АИН и АИТ.

Занятие 22 Однофазный автономный инвертор

АИТ с нулевой точкой трансформатора

Простейшей схемой АИТ является инвертор с нулевым выводом трансформатора (рис. 51.1).

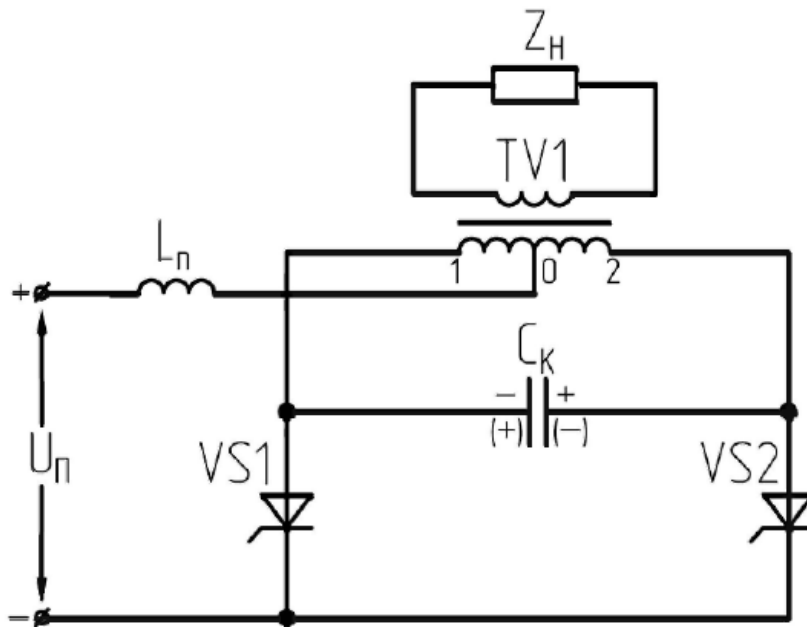


Рис. 51.1. АИТ с нулевой точкой трансформатора

На управляющие электроды тиристоров $VS1$ и $VS2$ поступают открывающие импульсы в противофазе. При подаче открывающего импульса на тиристор $VS1$ начинает протекать ток по первичной обмотке трансформатора $0-1$ и величина этого тока, протекающего по тиристор, определяется током полуобмотки и током заряда конденсатора $C_{\text{к}}$. Вследствие взаимоиндукции при протекании тока по обмотке $0-1$ в другой полуобмотке возникает ЭДС, равная ей по величине.

Конденсатор C_k к концу полупериода заряжен до напряжения U_c . При включении тиристора $VS2$ создается контур для разряда конденсатора C_k , в результате чего к тиристор $VS1$ прикладывается обратное напряжение. Вследствие этого тиристор $VS1$ закрывается, а конденсатор C_k начинает перезаряжаться с противоположной полярностью. В результате через вторичную обмотку трансформатора протекает переменный ток (см. рис.51.2). При включении очередного тиристора происходит также его разряд на первичную обмотку трансформатора и на нагрузку. При этом часть энергии расходуется в активное сопротивление, а часть накапливается в индуктивностях.

Силовые схемы инвертора тока не содержат обратных диодов, поэтому они проще.

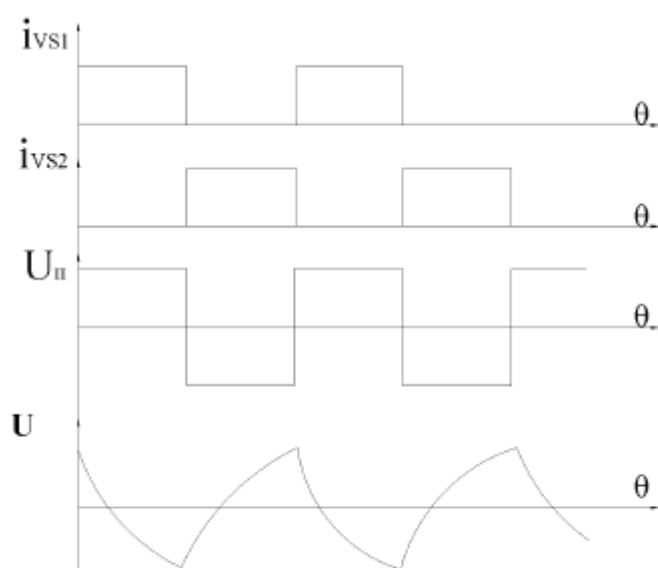


Рис. 51.2. Временные диаграммы работы АИТ с нулевой точкой трансформатора

Недостатки схемы: высокое напряжение на вентилях ($2U_n$), а также необходимость использования трансформатора.

Занятие 23

Раздел 4. Широтно-импульсные преобразователи. Тема 4.1 Тиристорные ШИП. Схемы тиристорных ШИП. ШИП с параллельной емкостной коммутацией.

ШИП предназначены для преобразования входного, неизменного по величине постоянного напряжения в регулируемое постоянное напряжение на выходе. Шип постоянного тока можно классифицировать по следующим признакам:

I) По способу включения вентилей:

- 1) последовательные ШИП;
- 2) параллельные ШИП.

Последовательные ШИП предназначены для понижения напряжения на нагрузке, а параллельные – для повышения напряжения на нагрузке.

II) По типу используемых ключей:

- 1) транзисторные;
- 2) тиристорные.

Если в схеме ШИП используется тиристор, то необходимо позаботиться о его закрытии в необходимый момент времени, т.е. нужно использовать УПК.

III) По использованию ШИП делятся на :

- 1) реверсивные ШИП;
- 2) нереверсивные ШИП.

В ряде полупроводниковых преобразователей вентилей в течение рабочего интервала подключены к постоянному напряжению и не могут быть закрыты как и в преобразователях с естественной коммутацией (например, в выпрямителях), т.к. для их запираания необходимо снизить анодный ток до нуля и приложить обратное напряжение.

В таких преобразователях нужны специальные коммутационные устройства: *устройства принудительной коммутации* (УПК), предназначенные для запираания тиристоров СБ в требуемый момент времени. УПК содержат дополнительный источник питания: важнейшие элементы – ёмкости и индуктивности.

Коммутация, осуществляемая с помощью УПК, называется *искусственной, принудительной*.

Существует множество схем принудительной коммутации. Все они делятся на две группы:

- 1) схемы с параллельной коммутацией;
- 2) схемы с последовательной коммутацией.

Схема на рис. 26.1 представляет собой последовательный ШИП, где в качестве управляемого ключа используется основной тиристор *VS1* (полууправляемый ключ). Это схема ШИП с параллельной емкостной коммутацией.

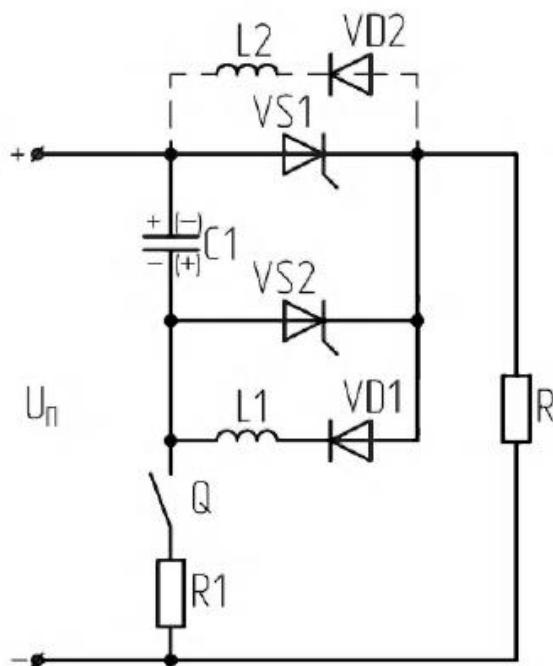


Рис. 26.1. Схема ШИП с параллельной емкостной коммутацией

Занятие 24

ШИП с последовательной емкостной коммутацией.

В данной схеме (рис. 27.1) ключи работают попарно: $VS1$ и $VS4$ или $VS3$ и $VS2$. Управляющий сигнал i_{y1} открывает тиристоры $VS1$ и $VS4$, а сигнал i_{y2} – тиристоры $VS3$ и $VS2$.

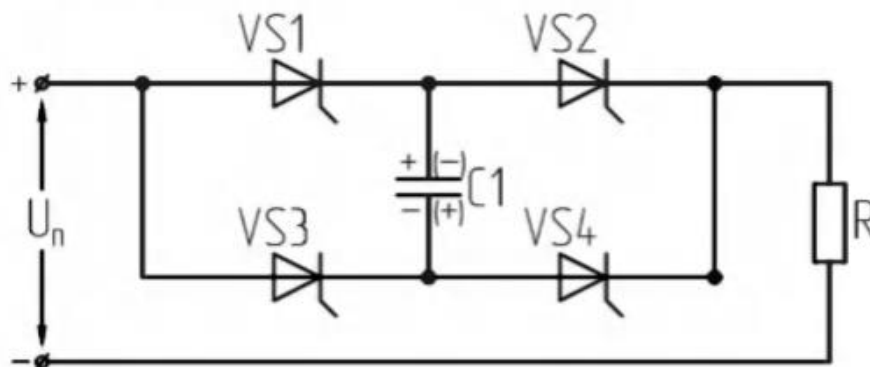


Рис. 27.1. Схема ШИП с последовательной емкостной коммутацией

Временные диаграммы работы ШИП с последовательной емкостной коммутацией представлены на рис. 27.2. В момент времени t_0 открываются тиристоры $VS1$ и $VS4$. При этом полярность напряжения на конденсаторе к этому моменту времени соответствует указанной на схеме в скобках, так как перед этим в течение предыдущего рабочего интервала были открыты тиристоры $VS2$ и $VS3$.

Таким образом, напряжение на нагрузке в момент времени t_0 равно удвоенному напряжению питания $2U_n$. Ток нагрузки протекает по цепи:

$U_n - VS1 - C1 - VS4 - R - -U_n$. При этом конденсатор $C1$ начинает перезаряжаться и к моменту времени t_1 меняет свою полярность на $+U_n$ (указана на схеме без скобок). Поскольку при $t=t_1$ конденсатор полностью перезарядился, ток в цепи становится равным нулю и тиристоры $VS1$ и $VS4$ закрываются. При $t=T$ подаются открывающие импульсы i_{y2} на тиристоры $VS2$, $VS3$, они открываются, и напряжение конденсатора прикладывается с обратной полярностью к тиристорам $VS1$ и $VS4$.

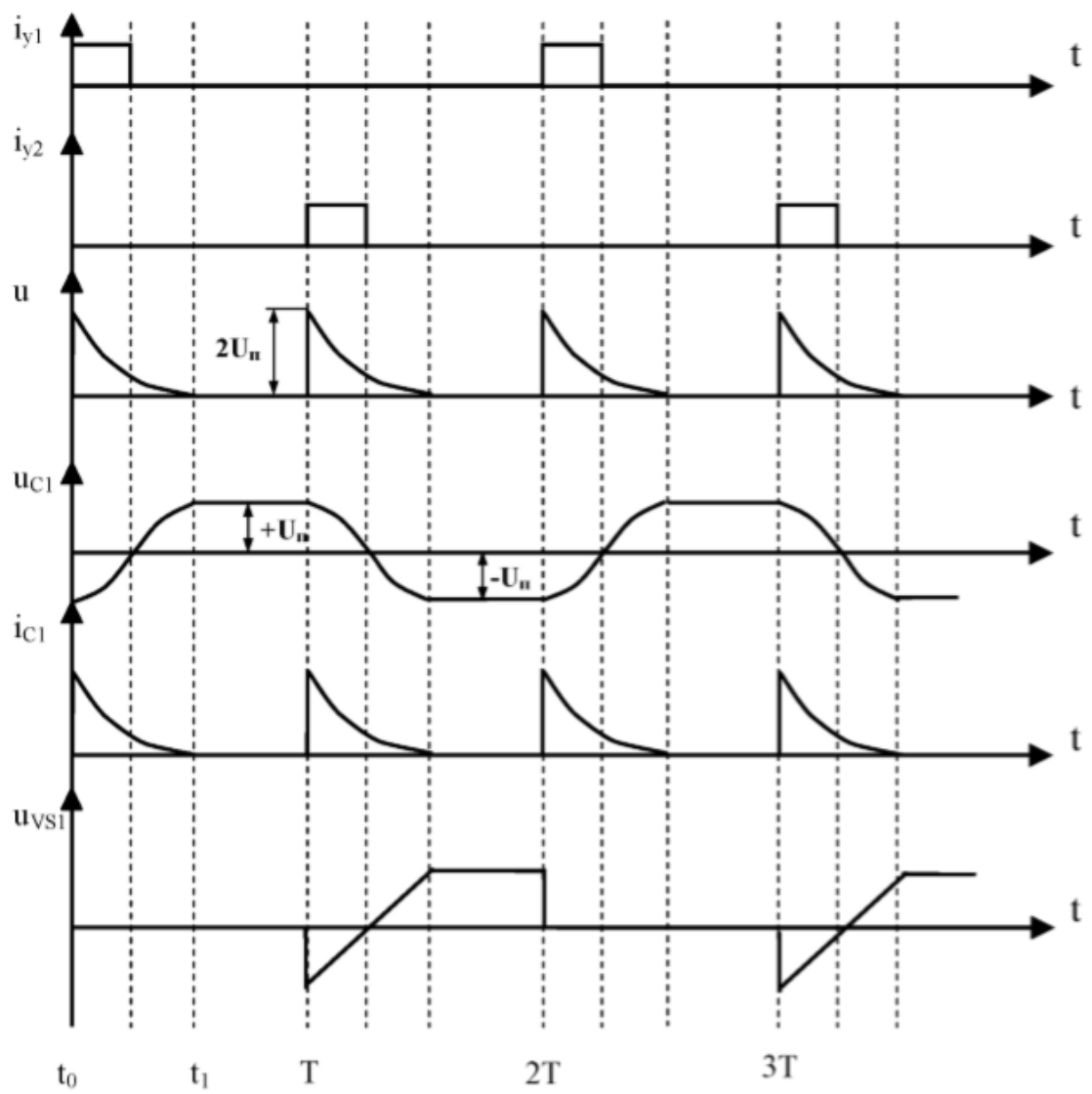


Рис. 27.2. Временные диаграммы работы ШИП с последовательной емкостной коммутацией

Занятие 25

Тема 4.2 Транзисторные ШИП. Схемы транзисторных нереверсивных ШИП.

Силовая схема нереверсивного последовательного ШИП при работе на активную нагрузку представлена на рис. 28.1, а временные диаграммы его работы – на рис. 28.2.

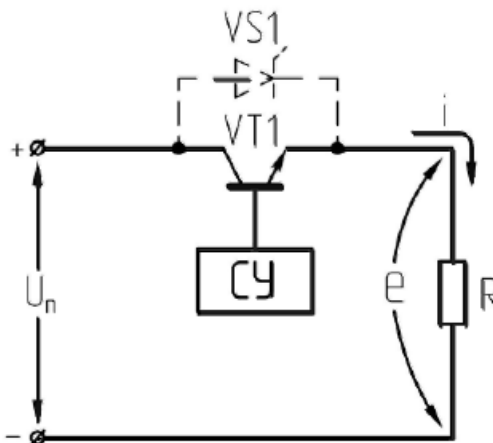


Рис. 28.1. Схема последовательного ШИП при работе на активную нагрузку

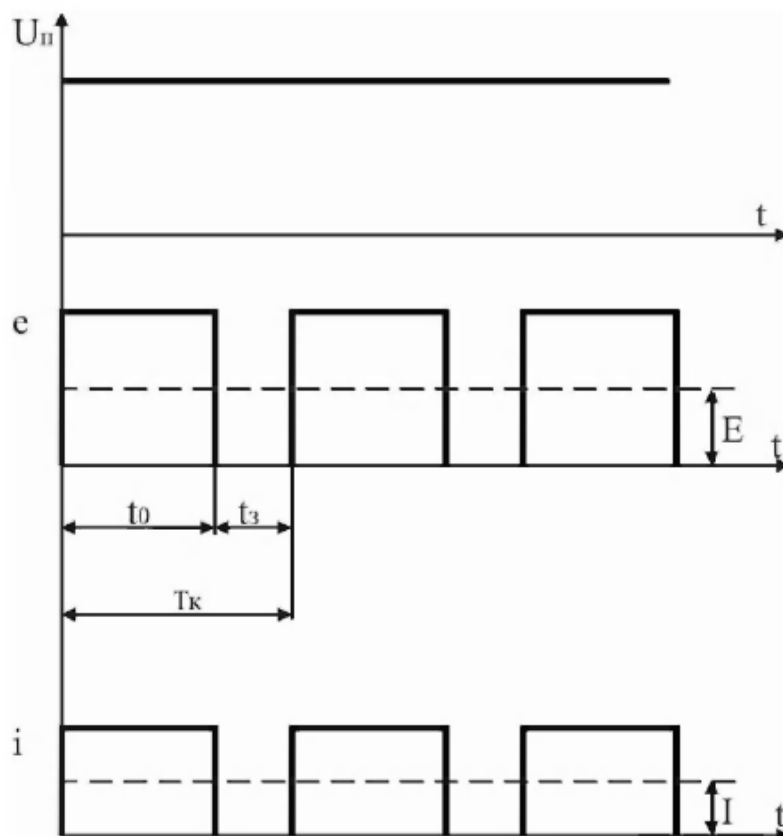


Рис. 28.2. Временные диаграммы работы последовательного ШИП на активную нагрузку

Возможны два способа формирования выходного напряжения ШИП:

- 1) *широтно-импульсное управление*, при котором изменяется время открытого состояния ключа t_0 при неизменном периоде коммутации T_k : $t_0 = var$, $T_k = const$;
- 2) *частотно-импульсное управление*, при котором $t_0 = const$, $f_k = 1/T_k = var$.

Силовая схема неперверсивного параллельного ШИП при работе на активную нагрузку представлена на рис. 29.1, а временные диаграммы его работы – на рис. 29.2.

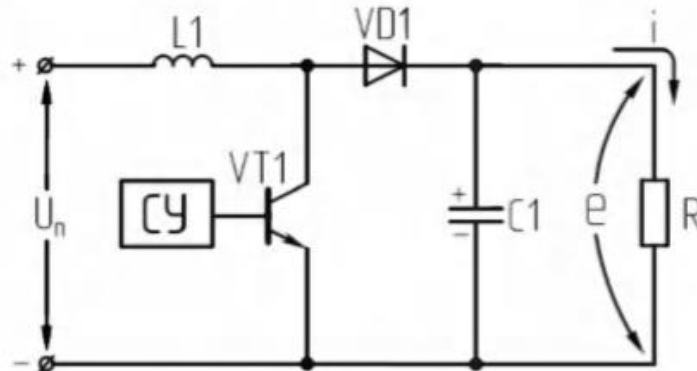


Рис. 29.1. Схема параллельного ШИП при работе на активную нагрузку

Параллельный ШИП называется так потому, что силовой ключ $VT1$ включен с нагрузкой параллельно. Параллельный ШИП предназначен для преобразования постоянного входного напряжения с неизменной амплитудой в постоянное напряжение на нагрузке с регулируемой амплитудой, причём напряжение на нагрузке больше чем входное напряжение питания в несколько раз. Таким образом, параллельный ШИП служит для повышения напряжения на нагрузке.

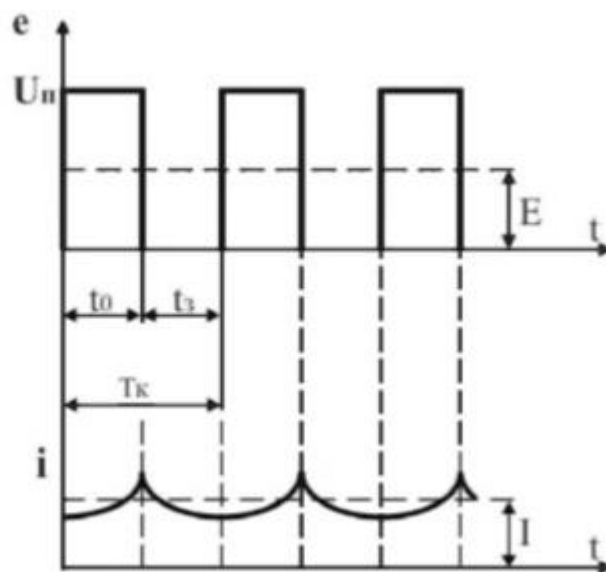


Рис. 29.2. Временные диаграммы работы параллельного ШИП

Занятие 26

Схема транзисторного реверсивного ШИП с диагональной и симметричной коммутацией

• Реверсивный преобразователь с широтно-импульсным управлением (ПШИУ) (рис.1) выполняется по мостовой схеме с четырьмя ключами $VT1$ $VT4$. При активно-индуктивной в силовую схему преобразователя вводится мост обратных (обратных) диодов $VD1$ - $VD4$.

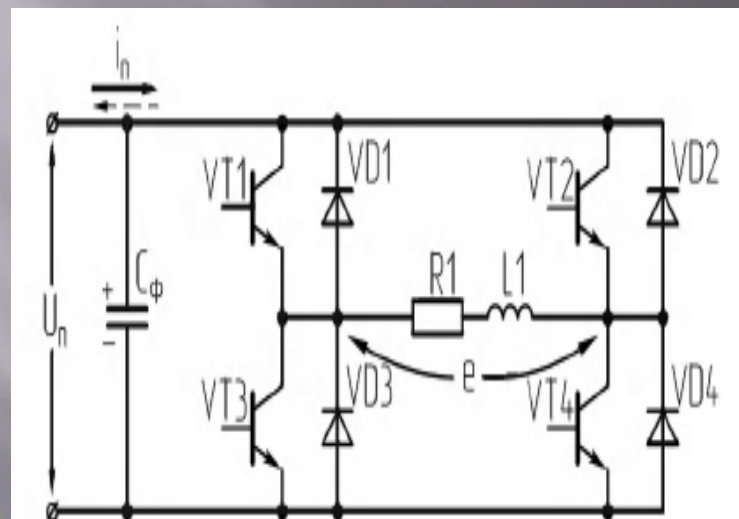
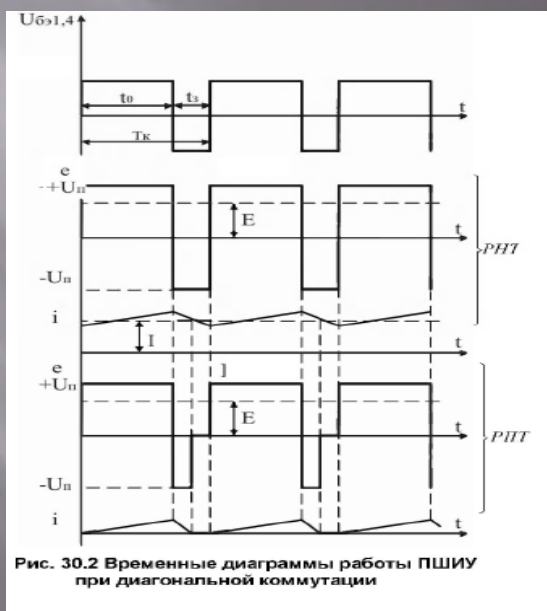


Рис. 30.1. Схема реверсивного мостового ПШИУ

Назначение: преобразование входного постоянного неизменного по амплитуде напряжения в постоянное регулируемое по амплитуде напряжение на нагрузке с возможностью изменения его полярности. В зависимости от алгоритма работы ключей преобразователя различают следующие способы коммутации ключей:

- 1) диагональная коммутация;
- 2) симметричная коммутация;
- 3) несимметричная коммутация.



Занятие 27

Схема транзисторного реверсивного ШИП несимметричной коммутацией

Силовая схема реверсивного мостового преобразователя с широтно-импульсным управлением (ПШИУ) представлена на рис. 32.1, а временные диаграммы его работы при несимметричной коммутации – на рис. 32.3.

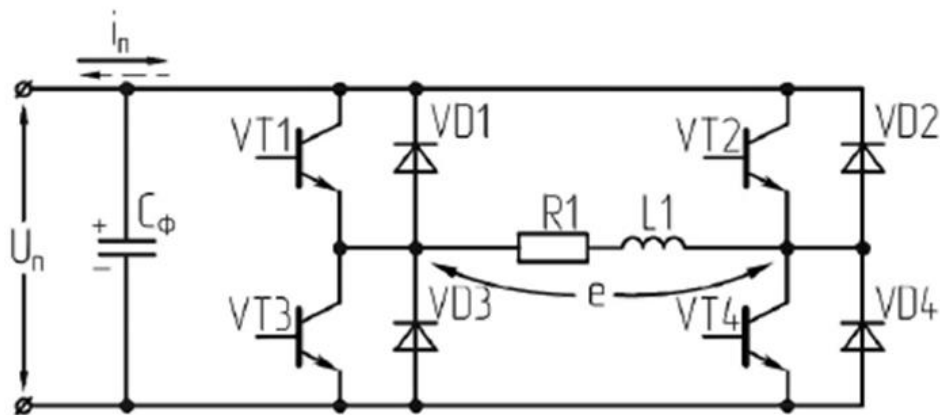


Рис. 32.1. Схема реверсивного мостового ПШИУ

Для протекания тока в положительном направлении постоянно открыт ключ $VT4$ и попеременно коммутируются в противофазе $VT1$ и $VT3$. Для обеспечения протекания тока в отрицательном направлении постоянно открыт транзистор $VT3$ и в противофазе коммутируются транзисторы $VT2$ и $VT4$.

При открывании транзистора $VT1$ ($VT4$ постоянно открыт) ток начинает протекать по нагрузке в положительном направлении. В момент времени $t=t_0$ ключ $VT1$ закрывается и подается открывающий импульс на ключ $VT3$, но под действием ЭДС самоиндукции ток продолжает протекать по нагрузке в том же направлении через открытый транзистор $VT4$ и открывающийся под действием e_L диод $VD3$, т.е. цепь протекания тока: $VT4$ $VD3$ R - L нагрузка– $VT4$. Таким образом, на интервале времени $0 < t < t_0$ справедливо выражение $U_n = L \frac{di}{dt} + iR$, а на интервале

$t_0 < t < T_k$ напряжение на нагрузке равно нулю: $0 = -L \frac{di}{dt} + iR$.

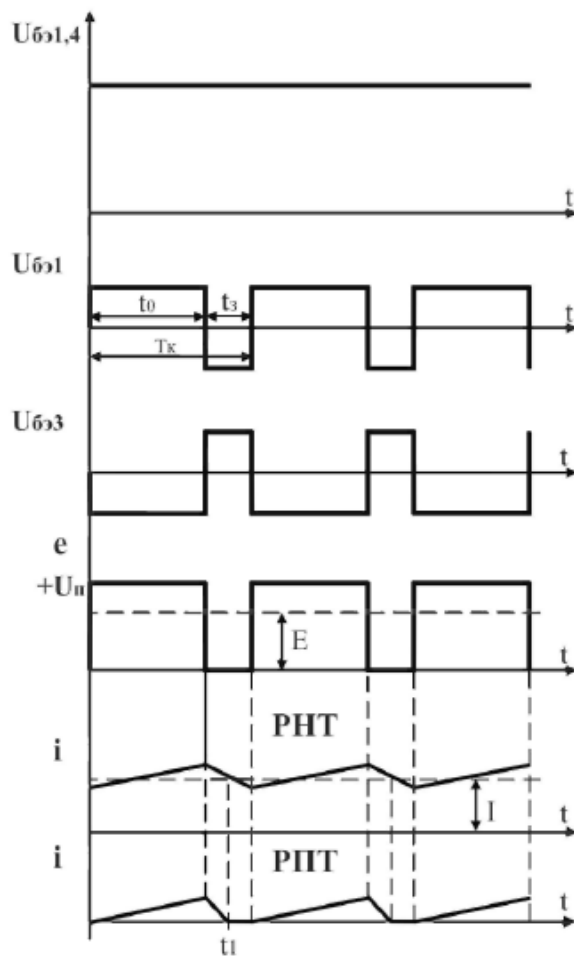


Рис. 32.3. Временные диаграммы работы ПШИУ при несимметричной коммутации

Занятие 28

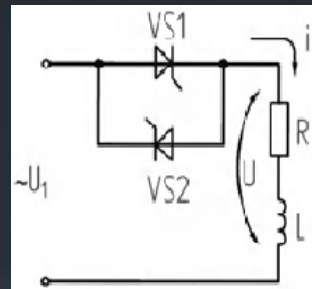
Раздел 5 Преобразователи частоты и напряжения. Тема 5.1 Преобразователь переменного напряжения.

Преобразователи переменного напряжения (ППН) предназначены для преобразования входного переменного напряжения U_1 с неизменной амплитудой и частотой в регулируемое переменное напряжение U на нагрузке с той же частотой



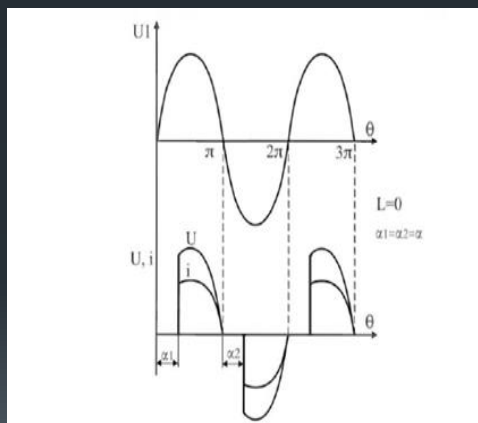
Однофазный ППН

Если в схеме однофазного однополупериодного выпрямителя встречно параллельно тиристор VS_1 включить другой тиристор VS_2 , то получим схему однофазного преобразователя переменного напряжения (ППН).



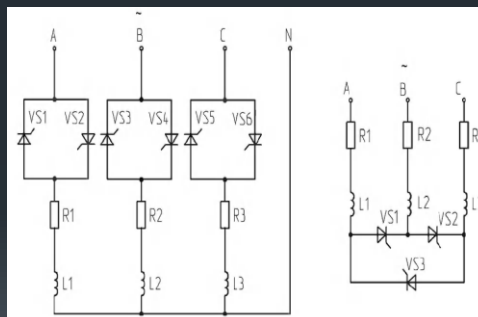
Пока тиристоры VS1 и VS2 закрыты, напряжение на нагрузке равно нулю. При открывании в момент времени $\theta = \alpha$, тиристора VS1 к нагрузке прикладывается положительный полупериод питающего напряжения U_1 , которое сохраняется до момента времени $\theta = \pi$. При $\theta = \pi$ U_1 меняет свой знак, под действием которого VS1 закрывается. В момент времени $\theta = \pi + \alpha/2$ открывается тиристор VS2 и к нагрузке прикладывается отрицательный полупериод напряжения U_1 , которое сохраняется до $\theta = 2\pi$. Для симметрии напряжения на нагрузке относительно оси 0 необходимо, чтобы $\alpha_1 = \alpha_2$.

Регулируя угол α , мы изменяем действующее значение выходного напряжения.

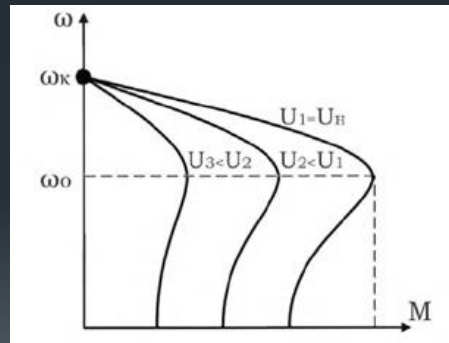
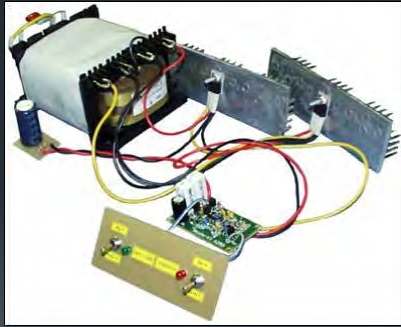


Трёхфазный ППН

ППН используются для регулирования освещения, регулирования мощности тепловых приборов и сварочных аппаратов, регулирования напряжения на первичной стороне трансформатора и высоковольтных выпрямителей, которые выполнены на диодах, для управления асинхронными двигателями.



Характеристики АД при регулировании питающего напряжения



Занятие 29 -30
Тема 5.2 Двухзвенные преобразователи частот.
Классификация преобразователей частоты.



Частотный преобразователь – это устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одной частоты в переменный ток другой частоты.

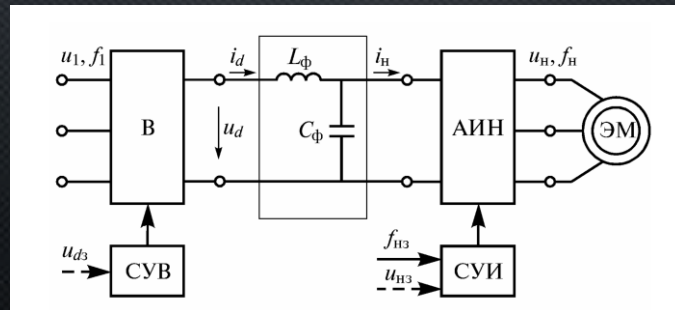
Частотные преобразователи разделяют на два основных типа:

- двухзвенные преобразователи частоты (ДПЧ);
- непосредственные преобразователи частоты (НПЧ).



В ДПЧ первое звено представляет собой выпрямитель (упр. или неуправляемый) с фильтром на выходе, а второе – автономный инвертор. Таким образом, нагрузка связана с сетью через два звена, и происходит двукратное преобразование энергии. Второе звено в ДПЧ может быть выполнено как на основе автономного инвертора напряжения (АИН), так и на основе автономного инвертора тока (АИТ).

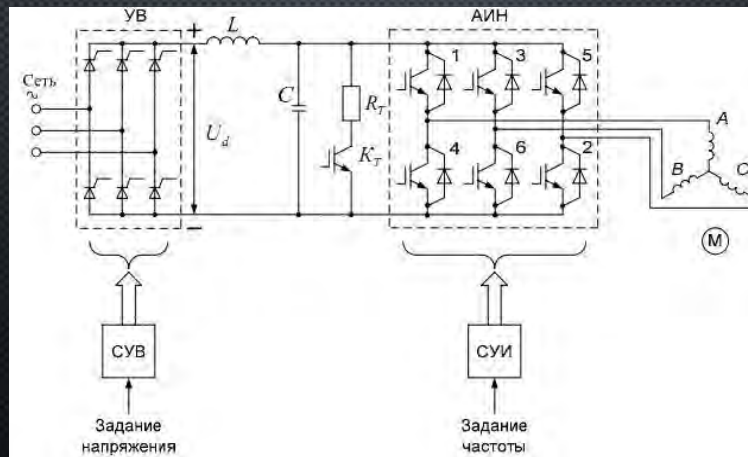
ДПЧ позволяют получить на выходе частоты как меньшие, так и большие входных.



Занятие 31

Схеме электрическая принципиальная двухзвенного ПЧ.

Принцип действия двухзвенного ПЧ заключается в том, что переменное напряжение сети вначале выпрямляется, а затем инвертируется, т.е. преобразуется в переменное напряжение требуемой, регулируемой частоты посредством инвертора. В системах электропривода применяются автономные инверторы. Они способны функционировать как при наличии, так и при отсутствии в цепи нагрузки источников активной энергии.



Достоинства двухзвенных ПЧ со звеном постоянного тока:

- возможность получения на выходе ПЧ широкого диапазона частот, независимого от частоты, в том числе высокоскоростных, среднескоростных и тихоходных, прецизионных приводов с широким и сверх широким диапазоном регулирования скорости;
- возможность использования относительно простых силовых схем и систем управление ПЧ для приводов с невысокими требованиями в области изменения, быстродействия и других показателей;
- возможность наращивания системы и системы управления ПЧ соразмерно повышению требований к приводу без чрезмерной избыточности системы;
- возможность реализации в сравнительно малоэлементной структуре ПЧ разнообразных алгоритмов управления, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к ЭП различного назначения;
- легкость трансформации ПЧ для работы в установках с питанием электрооборудования от автономных источников или локальной сети постоянного тока.

Основные **недостатки** двухзвенных ПЧ со звеном постоянного тока:

- двукратное преобразование энергии, что увеличивает потери энергии, ухудшает массогабаритные показатели преобразователя;
- наличие в звене постоянного тока силового фильтра, содержащего батарею конденсаторов большой емкости (в схемах с АИН) либо реактор большой индуктивности (в схемах с АИТ). Также приводит к ухудшению массогабаритных показателей, а наличие электролитических конденсаторов - к повышению надежности.

Занятие 32

Тема 5.3 Непосредственный преобразователь частоты.

- Помимо требований качества потребляемой электроэнергии преобразователи частоты должны обеспечивать возможность **рекуперации** энергии в питающую сеть.
- Рекуперация-это такой процесс, в котором возвращение части э.энергии для повторного использования в том же технологическом процессе.



В тиристорных преобразователях частоты эта задача решается включением в состав преобразователя дополнительного вентиляционного комплекта, работающего в режиме зависимого инвертора. Для маломощных ПЧ используется транзистор с рекуперативным резистором в звене постоянного тока. Однако такие подходы не решают отмеченных выше проблем потребления реактивной мощности и вносимых в сеть искажений.



- Однако сегодня наибольший интерес вызывает вторая группа преобразователей - непосредственные преобразователи частоты (НПЧ), в структуре которых отсутствует промежуточный фильтр. Как следствие, НПЧ обладает лучшими массогабаритными и динамическими показателями по сравнению с активными двухзвенными ПЧ и также как и они, представляет собой многомерный, многосвязный объект, который требует использования современных методов



Каждая фаза НПЧ состоит из двух встречно-параллельно включенных выпрямителей. Структурная схема однофазно-однофазного НПЧ представлена на рисунке 1.

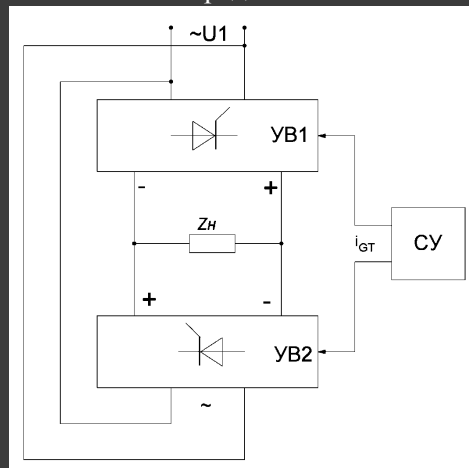


Рисунок 1 Структурная схема однофазно-однофазного НПЧ.

На рис. 2 а приведена схема трехфазно-однофазного НПЧ, выполненного на основе трехфазных нулевых схем, преобразующего трехфазное напряжение сети частотой 50 Гц в однофазное с регулируемой частотой. При переключении комплектов В и Н на выходе формируется двуполярное напряжение.

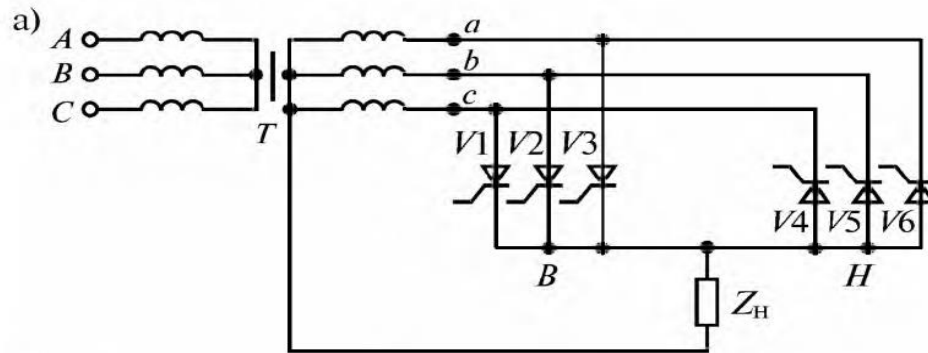


Рисунок 2 Структурная схема трехфазно-однофазного ННЧ.

Занятие 33-35

Раздел 6 Направление развития преобразовательной техники.

6.1 Современные СПП.

Тема 6.2 Развитие элементной базы управляющих устройств.

Тема 6.3 Промышленные преобразователи.



Тиристоры являются наиболее мощными электронными ключами, способными коммутировать цепи с напряжением до 5 кВ и токами до 5 кА при частоте не более 1 кГц.

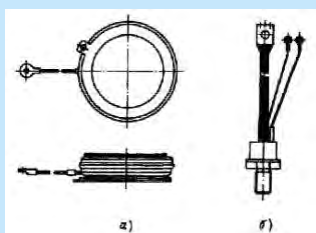
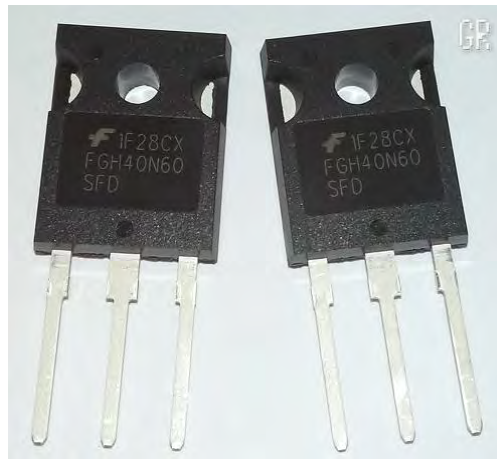


Рис. 2. Конструкция корпусов тиристоров: а) – таблеточная; б) – штыревая

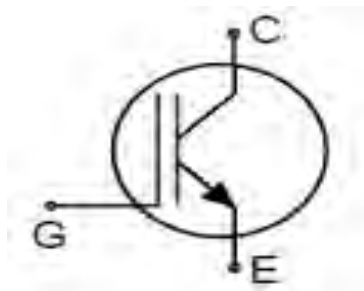




Современные IGBT транзисторы



Условное графическое обозначение
биполярного транзистора с
изолированным затвором



IGBT-транзисторы выпускаются не только в виде отдельных компонентов, но и в виде сборок и модулей.



СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания для проведения лабораторных и
практических работ по специальности
2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

Разработчик _____ П.В.Шорохова

Рецензент _____ О.А.Метлицкая

Методические указания рассмотрены и
рекомендованы для внедрения в
образовательный процесс на:
-заседании цикловой комиссии
специальных дисциплин
специальностей 2 - 37 01 05, 2 - 53 01 05
Протокол № _____ от «_____» _____ 201_ _
Председатель комиссии _____
А.Л.Седюкова
-заседании экспертного методического
совета
Заседание № _____ от «_____» _____ 201_ _

2016

Содержание

Наименование работы	2-53 01 05	Номер страницы
	Количество часов	
1	2	3
1 Лабораторная работа №1 Исследование однофазного двухполупериодного неуправляемого выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора.	2	4
2 Лабораторная работа №2 Исследование однофазного мостового управляемого выпрямителя.	2	9
3 Лабораторная работа №3 Исследование трехфазного выпрямителя с нулевой точкой.	2	17
4 Лабораторная работа №4 Исследование трехфазного мостового выпрямителя.	2	21
5 Практическая работа №1 Проектирование схемы СИФУ и выбор СПП по току нагрузки.	2	29
6 Практическая работа №2 Проверка СПП по току и перегрузочной способности. Выбор СПП по напряжению.	2	33
7 Практическая работа №3 Расчет питающего трансформатора (реактора). Выбор сглаживающего дросселя.	2	37
8 Практическая работа №4 Расчет внешней характеристики выпрямителя.	2	42
9 Лабораторная работа №5 Исследование аналоговой системы управления однофазного управляемого выпрямителя.	2	46
10 Практическая работа №5 Расчет и выбор защитных РС-цепочек.	2	52
11 Практическая работа № 6 Исследование работы трехфазного инвертора, ведомого сетью.	2	55

1	2	3
12 Лабораторная работа №6 Исследование работы трехфазного мостового инвертора на IGBT-транзисторах.	2	59
13 Лабораторная работа №7 Исследование трехфазного мостового ШИП с симметричным законом управления.	2	65
14 Лабораторная работа №8 Исследование трехфазного мостового ШИП с несимметричным законом управления .	2	72
15 Лабораторная работа №9 Исследование работы преобразователя частоты.	2	80

Лабораторная работа №1

Исследование однофазного двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора

1 Цель работы:

- сформировать умение анализировать принцип действия однофазного двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора
- приобрести практические навыки работы в программе моделирования электрических цепей ElectronicsWorkbenchv5.12

2 Оснащение рабочего места:

- методические указания по выполнению лабораторной работы, персональный компьютер, программа ElectronicsWorkbench.

3 Теоретические сведения

Однофазная схема с нулевым выводом приведена на рисунке 1.1.

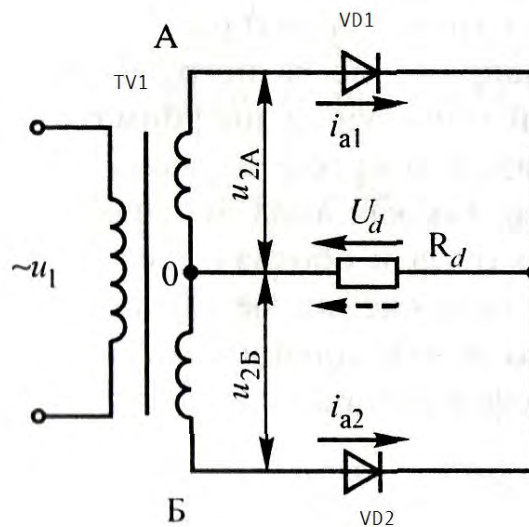


Рисунок 1.1 – Двухполупериодная схема выпрямления с нулевой точкой

Эта схема имеет трансформатор и два диода по которым попеременно протекает ток. Временные диаграммы приведены на рисунке 1.2.

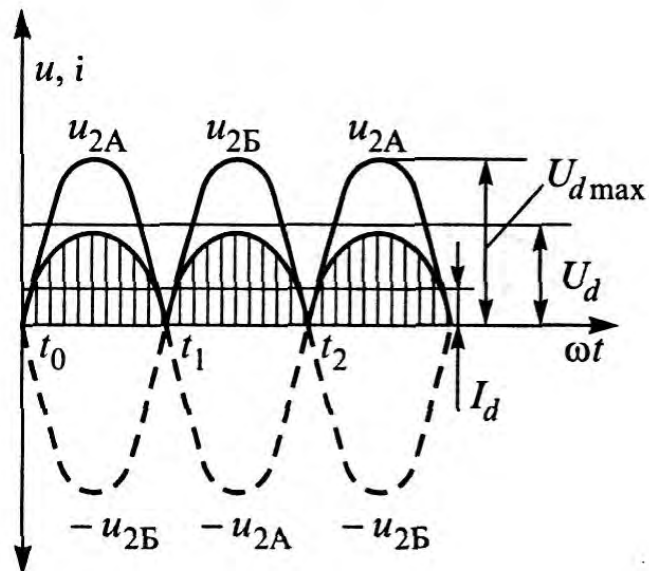


Рисунок 1.2 – Кривые изменения тока и напряжения

Средняя точка трансформатора соединяется с проводом нулевого потенциала. Работает схема следующим образом. Напряжение U_{2A} , U_{2B} , измеренные на концах А и В вторичной обмотки трансформатора относительно средней точки 0, являются противофазными. Во время положительного полупериода напряжение U_{2A} , диод VD1 открывается, а VD2 закрыт. Поэтому через нагрузку R_H протекает ток i_{a1} , создаваемый верхней половиной вторичной обмотки трансформатора. В следующий полупериод сетевого напряжения относительно точки 0 положительным оказывается напряжение U_{2B} , а U_{2A} – отрицательным. Открытым окажется диод VD2, а VD1 – закрыт. Через нагрузку будет протекать ток i_{a2} , создаваемый напряжением U_{2B} . Таким образом ток через нагрузку протекает в каждый полупериод сетевого напряжения в одном и том же направлении, создавая на ней пульсирующее напряжение.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить принцип работы схемы однофазного двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора.

4.2 Собрать схему однофазного двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора изображенную на рисунке 1.3. Для этого необходимо выбрать нужные элементы, расположенные на панели элементов в верхней части экрана: навести стрелку на нужный элемент, нажать левую клавишу мыши и вытащить элемент на свободное место на экране. После того, как на экране расположены все необходимые элементы, выполняют соединения между этими элементами. Подводят курсор к выводу элемента, появляется черная точка, нажимают левую клавишу мыши и подводят курсор к тому элементу, с которым необходимо осуществить соединение. Когда появится черная точка, отпускают левую клавишу мыши. Для того чтобы установить параметры элементов нужно два раза щелкнуть левой клавишей мыши по элементу и в раскрывшемся окне задать номинал.

4.3 Установить параметры элементов.

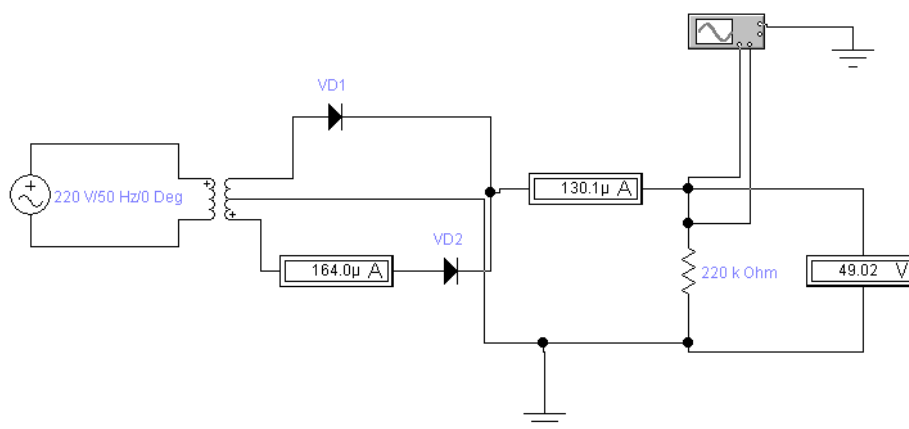
Для того чтобы установить параметры элементов нужно два раза щелкнуть левой клавишей мыши по элементу и в раскрывшемся окне задать номинал. В таблице 1.1 приведены варианты для выполнения работы.

Таблица 1.1 - Варианты для выполнения работы

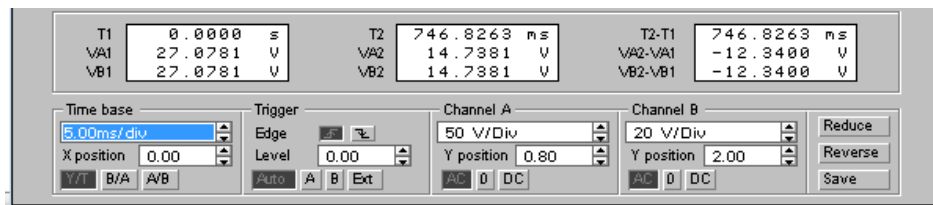
Вариант	U_1 , В	R_d , кОм	L_d , мГн
1	2	3	4
1	100	100	10
2	120	120	20
3	140	140	30
4	160	160	40
5	180	180	50
6	200	200	60
7	220	220	70
8	110	50	15
9	130	60	25
10	150	70	35
11	170	80	45
12	190	90	55
13	210	110	65
14	210	130	75
15	210	150	85

4.4 Исследовать работу однофазного двухполупериодного неуправляемого выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора при работе на активную нагрузку.

Для этого необходимо включить и выключить схему. Щелкнуть два раза по осциллографу, нажать Expand и выставить параметры для канала А и В, как изображено на рисунке 1.3. Зарисовать полученные осциллограммы. Сделать выводы.



a)

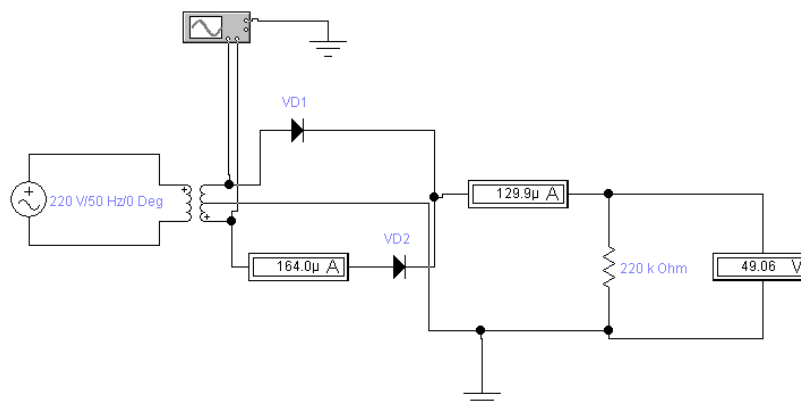


б)

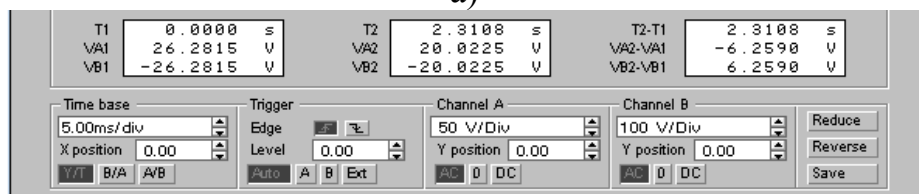
- а) моделируемая электрическая схема;
 б) настройка параметров осциллографа

Рисунок 1.3 - Работа однофазного двухполупериодного неуправляемого выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора при работе на активную нагрузку

4.5 Подключить осциллограф как изображено на рисунке 1.4. Выполните настройку осциллографа. Зарисуйте полученные осциллограммы. Сделайте выводы.



а)



б)

- а) моделируемая электрическая схема;
 б) настройка параметров осциллографа

Рисунок 1.4 – Ток и напряжение вторичной обмотки трансформатора

4.6 Получить осциллограммы тока и напряжения для одного диода. Зарисуйте полученные осциллограммы. Для этого подключите осциллограф после ключа. Сделайте выводы.

4.7 Исследовать работу однофазного двухполупериодного неуправляемого выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора при работе на активно-индуктивную нагрузку.

Добавьте индуктивность в нагрузку и выставьте номинал соответствующий вашему варианту. Полученные осциллограммы зарисовать и сделать вывод.

4.8 Включить параллельно нагрузке конденсатор и выставьте номинал конденсатора более 1 мФ. Зарисуйте полученные осциллограммы и сделайте вывод.

5 Содержание отчета

5.1 Название лабораторной работы и ее цели.

5.2 Схема двухполупериодного выпрямителя с нулевой точкой. Краткое описание работы данной схемы.

5.3 Исходные данные из таблицы 1.1 согласно своему варианту.

5.4 Полученные осциллограммы при работе схемы на активную, активно-индуктивную нагрузку, а также при подключении фильтра.

5.5 Выводы о проделанной работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Объясните почему исследуемый выпрямитель называется двухполупериодным.

6.2 Проанализируйте, что изменится если вместо диодов в схеме использовать тиристоры.

6.3 Объясните назначение трансформатора в схеме с отводом от средней точки.

6.4 Опишите принцип действия схемы, изображенной на рисунке 1.1.

Литература

1 Гельман, М.В. Преобразовательная техника. Полупроводниковые приборы и элементы микроэлектроники: Учебное пособие/М.В.Гельман.- Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2000.

2 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.-М.:Издательский дом МЭИ, 2007.

Лабораторная работа №2

Исследование однофазного мостового управляемого выпрямителя

1 Цель работы:

- сформировать умение анализировать принцип действия однофазного мостового управляемого выпрямителя
- изучить регулировочные характеристики однофазного управляемого выпрямителя
- экспериментально исследовать работу однофазного управляемого выпрямителя на активную и двигательную нагрузку
- приобрести навыки в сборке и настройке схемы однофазного мостового выпрямителя
- изучить безопасные методы работы на лабораторном стенде

2 Оснащение рабочего места:

- лабораторный стенд
- методические указания по выполнению лабораторной работы

3 Теоретические сведения

Выпрямителем называется статический преобразователь электрической энергии переменного тока в постоянный ток.

По числу фаз питающей сети переменного тока выпрямители бывают однофазные и трехфазные.

Основными элементами выпрямителей являются полупроводниковые приборы (диоды или тиристоры). В случае если выпрямитель собран на диодах, то его называют неуправляемым выпрямителем, а если на тиристорах, то управляемый.

Процесс выпрямления осуществляется непосредственно полупроводниковыми элементами (тиристорами) схемы выпрямления. Рассмотрим сущность процесса выпрямления на примере однофазной двухполупериодной схемы именуемой мостовой двухтактной (рисунок 2.1).

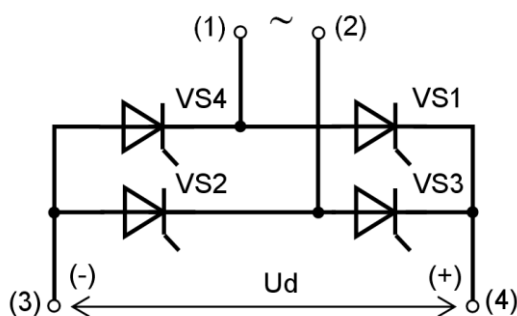


Рисунок 2.1 – Однофазная мостовая схема управляемого выпрямителя

Тиристоры управляемого выпрямителя соединены так, что тиристоры VS1 и VS3 имеют общий катод, а тиристоры VS2 и VS4 – общий анод, образуя мостовую схему. На выводы (1) и (2) подается переменное синусоидальное напряжение сети, а на выводах (3) и (4) получаем выпрямленное напряжение. На выводы (3) и (4) подключается нагрузка.

Итак, на вход выпрямителя подается переменное синусоидальное напряжение:

$$u_1 = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \sin \omega t, \quad (2.1)$$

где U_1 – действующее значение напряжения питающей сети,
 ω – угловая частота напряжения питающей сети.

В момент времени, когда потенциал точки (1) выше потенциала точки (2) (см. рисунок 2.1) напряжение u_1 – положительно, на анодах тиристоров VS1, VS2 положительное напряжение относительно катодов, и при наличии сигнала управления тиристоры VS1, VS2 будут находиться в проводящем состоянии до тех пор, пока проходящий через них ток не снизится до нуля.

В момент времени, когда потенциал точки (1) стане ниже потенциала точки (2) напряжение u_1 – отрицательно, при наличии сигнала управления, уже тиристоры VS3, VS4 будут находиться в проводящем состоянии.

Таким образом, при положительном напряжении между точками (1), (2) в процессе выпрямления участвуют тиристоры VS1, VS2, а при отрицательном – тиристоры VS3, VS4.

На рисунке 2.2 приведены графики напряжений при угле управления $\alpha = 0$, поясняющие принцип формирования выходного напряжения однофазного мостового выпрямителя.

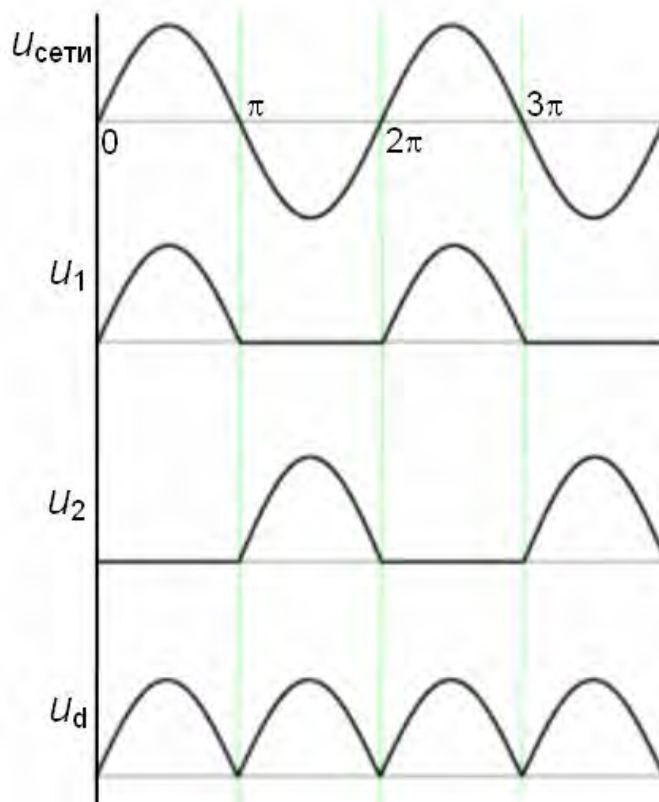
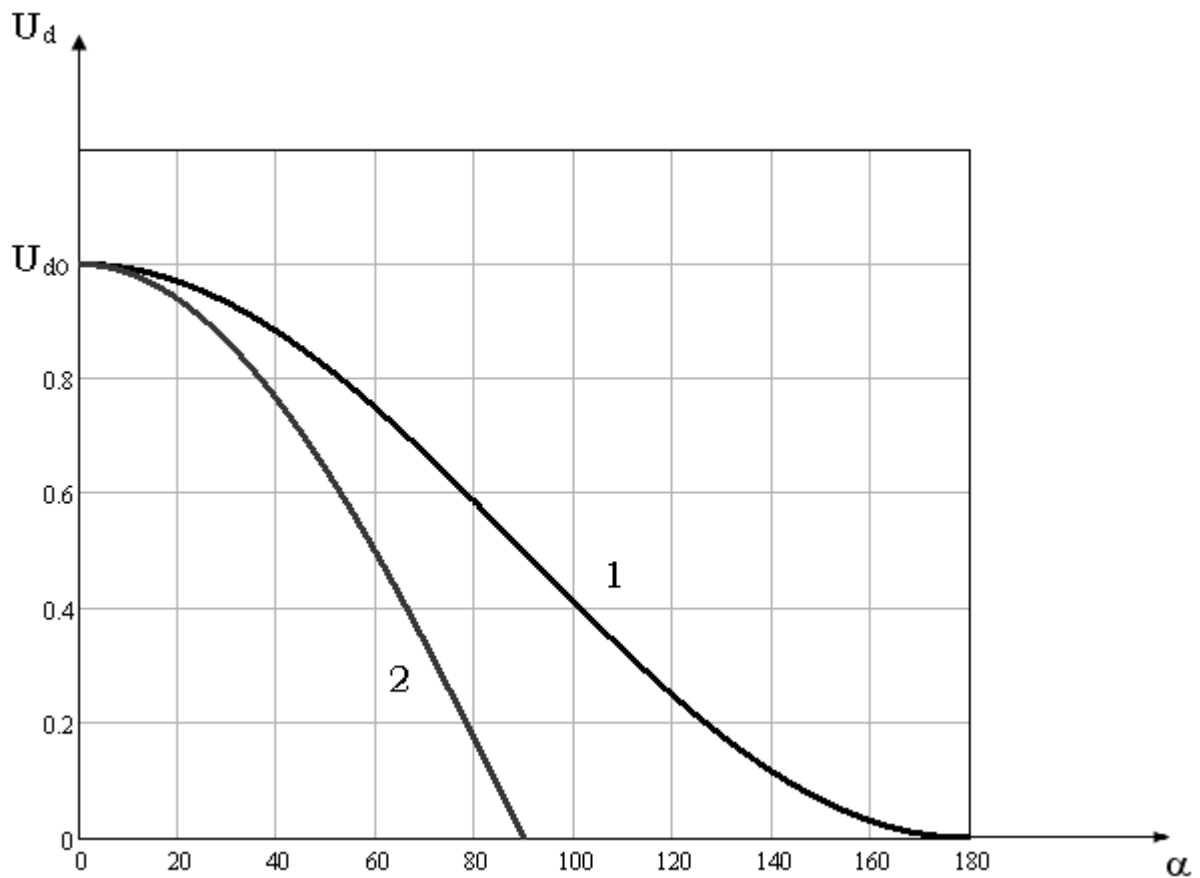


Рисунок 2.2 – Формирование выходного напряжения

Зависимость среднего значения выходного напряжения от угла управления тиристорами называют регулировочной характеристикой управляемого выпрямителя ($U_d = f(\alpha)$).

На рисунке 2.3 приведена регулировочная характеристика однофазного двухполупериодного (мостового) выпрямителя при его работе на активную и активно-индуктивную нагрузку.



- 1 – регулировочная характеристика при активной нагрузке;
- 2 – регулировочная характеристика при активно-индуктивной нагрузке

Рисунок 2.3 – Регулировочные характеристика однофазного мостового выпрямителя при активно-индуктивной нагрузке

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить краткие теоретические сведения об однофазных управляемых выпрямителях.

4.2 Собрать схему подключения однофазного управляемого выпрямителя к сети переменного тока (рисунок 2.3)

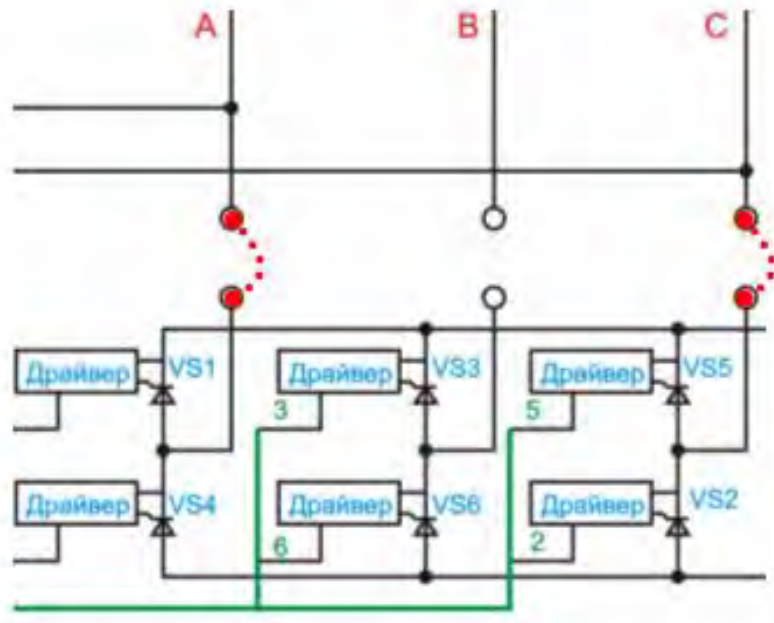


Рисунок 2.3 – Схема подключения управляемого однофазного выпрямителя к сети переменного тока

4.3 Собрать схему подключения напряжения задания для однофазного управляемого выпрямителя (рисунок 2.4)

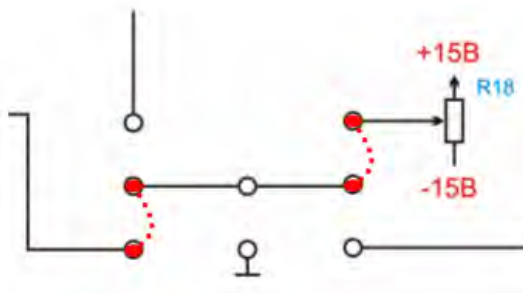


Рисунок 2.4 – Схема подключения напряжения задания для однофазного управляемого выпрямителя

4.4 Исследовать работу однофазного управляемого выпрямителя на активную нагрузку.

4.4.1 Собрать схему подключения активной нагрузки на выход однофазного управляемого выпрямителя (рисунок 2.5)

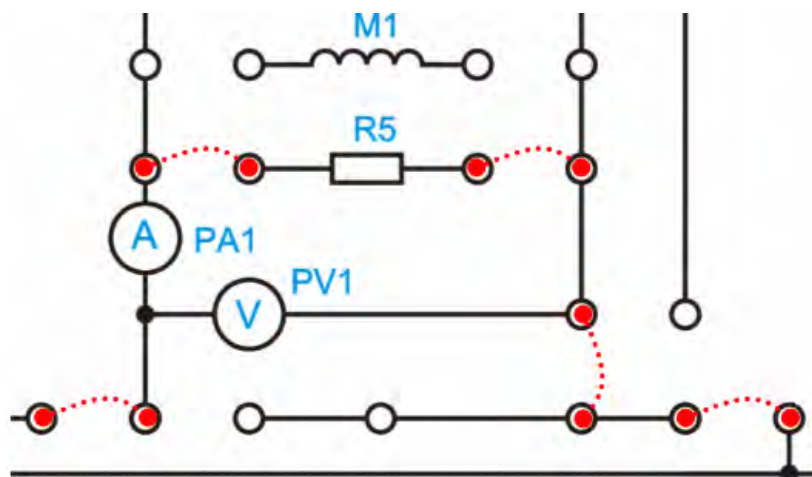


Рисунок 2.5 – Схема подключения активной нагрузки на выход однофазного управляемого выпрямителя

4.4.2 Подключить стенд к трехфазной сети. Включить три автоматических выключателя, расположенных в левой нижней части стенда – надпись «Сеть». Перед включением стенда необходимо убедиться, что все тумблеры, управляющие включением преобразователей, находятся в положении «выключено», а также на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта перемычки.

4.4.3 Задать однофазный режим работы управляемого выпрямителя, для этого установить тумблер в положение «Однофазный» (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.»).

4.4.4 Включить управляемый выпрямитель (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.» перевести в положение «Вкл.»).

4.4.5 Измерить среднее значение выпрямленного напряжения на выходе управляемого выпрямителя по вольтметру PV1, изменяя угол управления от 0 до 180 эл.град. (с помощью резистора задания R18 в окошке «Угол управления, град.») (данные занести в таблицу 2.1).

4.4.6 По завершении исследования вывести резистор R18 в начальное положение, отключить управляемый выпрямитель (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.» перевести в положение «Выкл.»), отключить автоматические выключатели, расположенные в левой нижней части стенда – надпись «Сеть»

4.5 Исследовать работу однофазного управляемого выпрямителя на двигательную нагрузку.

В качестве двигательной нагрузки используется двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, якорь которого включается на выход однофазного управляемого выпрямителя, а обмотка возбуждения получает питание от широтно-импульсного преобразователя (ШИП).

Паспортные данные ДПТ НВ

Тип – ПЛ-062

Номинальная мощность – 120 Вт

Номинальный ток якоря – 0,95 А

Номинальный КПД – 61 %

Номинальное напряжение – 220 В

Частота вращения – 3000 об/мин

Номинальный ток возбуждения – 0,18 А

4.5.1 Собрать схемы в соответствии с п. 4.2 и п. 4.3, или, при собранной схеме, убедиться в правильности подключения однофазного управляемого выпрямителя к питающей сети (см. рисунок 2.3) и напряжения задания (см. рисунок 2.4).

4.5.2 Собрать схему подключения ШИП к трехфазной сети переменного тока (рисунок 2.6).

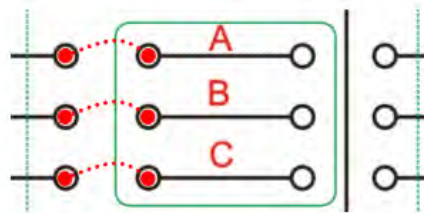


Рисунок 2.6 – Схема подключения ШИП к трехфазной сети переменного тока

4.5.3 Собрать схему подключения якоря двигателя на выход однофазного управляемого выпрямителя (рисунок 2.7).

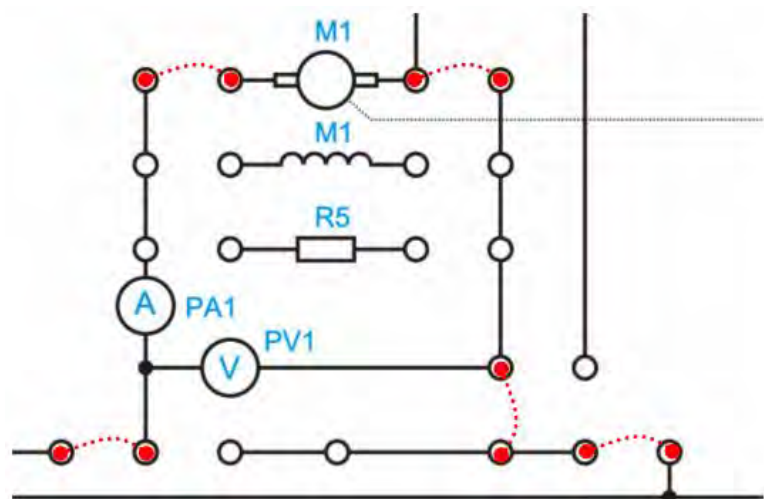


Рисунок 2.7 – Схема подключения якоря двигателя на выход однофазного управляемого выпрямителя

4.5.4 Собрать схему подключения обмотки возбуждения к ШИП (рисунок 2.8).

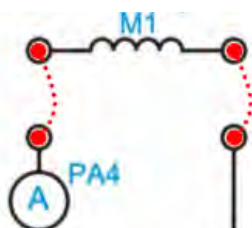


Рисунок 2.8 – Схема подключения обмотки возбуждения к ШИП

4.5.5 Собрать схему подключения напряжения задания для ШИП

обмотки возбуждения (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Схема подключения напряжения задания для ШИП обмотки возбуждения

4.5.6 Подключить стенд к трехфазной сети (включить три автоматических выключателя, расположенных в левой нижней части стенда – надпись «Сеть»). Перед включением стенда необходимо убедиться, что все тумблеры, управляющие включением преобразователей, находятся в положении «выключено», а также на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки.

4.5.7 Подключить релейно-контакторную схему управления (включить тумблер SA70).

4.5.8 С помощью магнитного пускателя К5 подключить ШИП, нажав кнопку SB74.

4.5.9 Включить ШИП возбуждения (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (возбуждение), %») и резистором R22 установить номинальный ток возбуждения ДПТ НВ равный 0,18 А по прибору РА4.

4.5.10 Задать однофазный режим работы управляемого выпрямителя (если он ранее не задан), для этого установить тумблер в положение «Однофазный» (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.»).

4.5.11 Включить управляемый выпрямитель (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.» перевести в положение «Вкл.»).

4.5.12 Измерить среднее значение выпрямленного напряжения на выходе управляемого выпрямителя по вольтметру PV1, изменяя угол управления от 0 до 180 эл.град. (с помощью резистора задания R18 в окошке «Угол управления, град.») (данные занести в таблицу 2.1).

4.5.13 По завершении исследования вывести резистор R18 в начальное положение, отключить управляемый выпрямитель (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.» перевести в положение «Выкл.»), отключить ШИП, отключить автоматические выключатели, расположенные в левой нижней части стенда – надпись «Сеть». Снять установленные переключки.

Таблица 2.1 – Результаты исследований регулировочных характеристик однофазного управляемого выпрямителя

Нагрузка	Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя											
активная	α											
	U_{CP}											
двигательная	α											
	U_{CP}											

После проведения экспериментальных исследований (см. п.4.2-4.5) по данным таблицы 2.1 построить регулировочные характеристики однофазного управляемого выпрямителя при его работе на активную и двигательную нагрузки $U_d = f(\alpha)$.

5 Содержание отчета

5.1 Название лабораторной работы и ее цели.

5.2 Схема однофазного мостового управляемого выпрямителя. Краткое описание работы данной схемы.

5.3 Таблица 2.1, заполненная по результатам опытов.

5.4 Регулировочная характеристика однофазного мостового выпрямителя при активной и двигательной нагрузке.

5.5 Выводы о проделанной работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Поясните в чем отличие двухполупериодной схемы выпрямления от однополупериодной?

6.2 Дайте определение, что такое регулировочная характеристика вентильного преобразователя?

6.3 Сформулируйте определение режима прерывистого тока нагрузки?

6.4 Сформулируйте определение режима непрерывного тока нагрузки?

Литература

1 Преображенский, В.И. Полупроводниковые выпрямители/В.И. Преображенский. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.: ил.

2 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.-М.:Издательский дом МЭИ, 2007.

3 Москаленко, В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов/ В.В.Москаленко – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.: ил.

4 Основы автоматизированного электропривода: Учеб. пособие для вузов/ М.Г. Чиликин[и др.]. – М.: Энергия, 1974. – 568с.: ил.

Лабораторная работа №3

Исследование трехфазного выпрямителя с нулевой точкой

1 Цель работы:

- сформировать умение анализировать принцип действия трехфазного выпрямителя с нулевой точкой

2 Оснащение рабочего места:

- методические указания по выполнению лабораторной работы, персональный компьютер, программа ElectronicsWorkbench.

3 Теоретические сведения

Силовая электрическая схема трехфазного нулевого выпрямителя представлена на рисунке 3.1. Содержит три тиристора VS1-VS3, с помощью которых осуществляется управление выпрямленным напряжением, и трансформатор TV1, который используется для согласования параметров сети с параметрами нагрузки, а также для создания нулевой точки для подключения нагрузки.

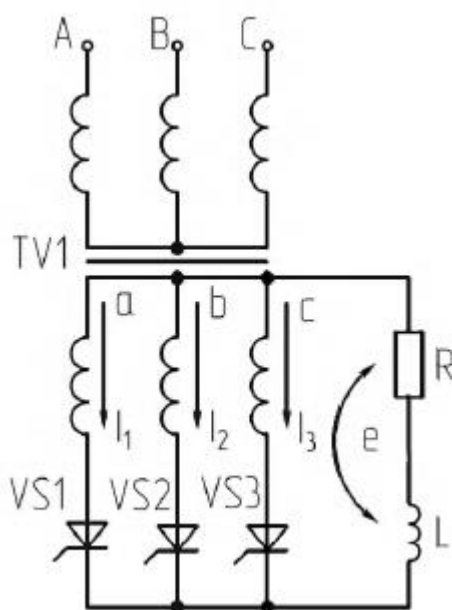


Рисунок 3.1– Трехфазный нулевой управляемый выпрямитель

Временные диаграммы работы схемы на активно-индуктивную нагрузку представлены на рисунке 3.2.

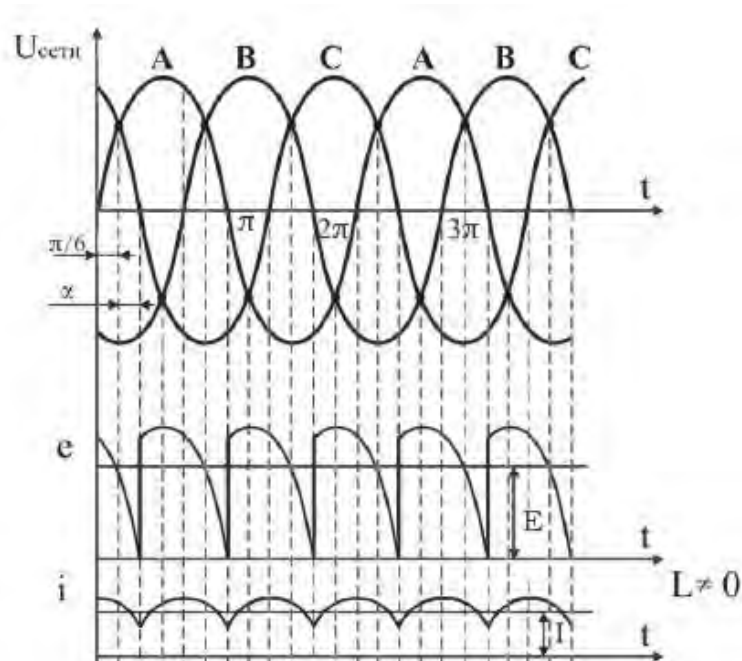


Рисунок 3.2– Временные диаграммы работы трехфазного нулевого выпрямителя

В данной схеме в каждый момент времени ток проводит только один тиристор, причем тот, который имеет наиболее высокий потенциал анода по отношению к катоду.

Точка естественного открывания тиристорov сдвинута для каждого из них на угол 30° по отношению к моменту перехода через 0 соответствующего фазного напряжения.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить краткие теоретические сведения

4.2 Собрать схему трехфазного нулевого выпрямителя изображенную на рисунке 3.3.

4.3 Установить параметры элементов согласно варианту. В таблице 3.1 приведены варианты для выполнения работы.

Таблица 3.1 - Варианты для выполнения работы

Вариант	R_d , кОм
1	2
1	100
2	110
3	120
4	130
5	140
6	150
7	160
8	170
9	180

Продолжение таблицы 3.1

1	2
10	190
11	200
12	210
13	220

4.4 Исследовать работу трехфазного нулевого выпрямителя. Зарисовать полученные осциллограммы. Сделать выводы.

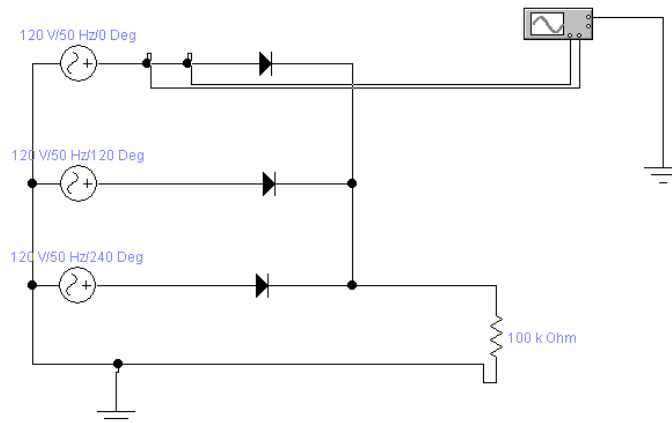


Рисунок 3.3 - Схема трехфазного нулевого выпрямителя

4.5 Исследовать работу трехфазного нулевого выпрямителя (рисунок 3.4). Зарисовать полученные осциллограммы. Сделать выводы.

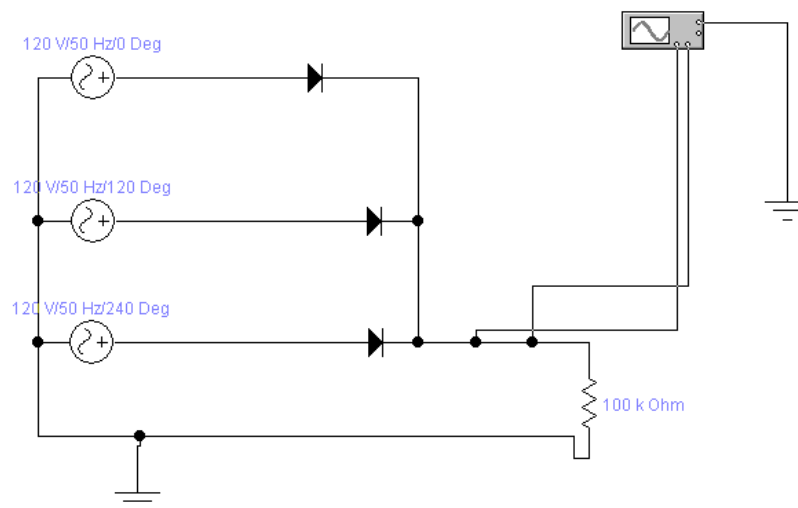


Рисунок 3.4 - Схема трехфазного нулевого выпрямителя при работе на активную нагрузку

4.6 Исследовать работу трехфазного нулевого выпрямителя при работе на активную нагрузку с использованием индуктивного фильтра (рисунок 3.5). Индуктивность фильтра подобрать такую, чтобы осциллограммы показывали цель использования фильтра. Зарисовать полученные осциллограммы. Сделать выводы.

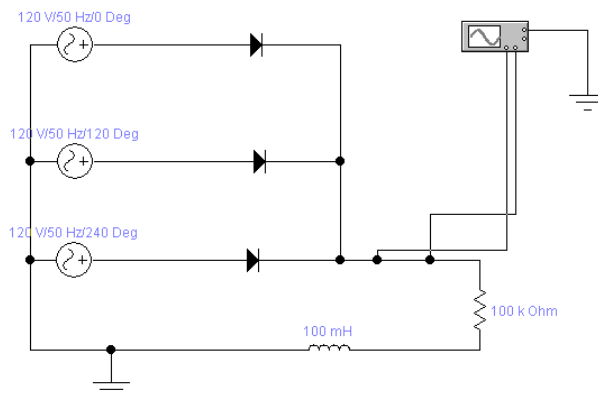


Рисунок 3.5 - Схема трехфазного нулевого выпрямителя при работе на активную нагрузку с использованием индуктивного фильтра

4.7 Исследовать трехфазный нулевой выпрямитель при работе на активную нагрузку с использованием Г – фильтра. Зарисовать полученные осциллограммы.

4.8 Имитировать работу схемы с обрывом цепи диода. Зарисовать полученные осциллограммы. Сделать выводы.

5 Содержание отчета

5.1 Название лабораторной работы и ее цели.

5.2 Схема трехфазного выпрямителя с нулевой точкой. Краткое описание работы данной схемы.

5.3 Исходные данные из таблицы 3.1 согласно своему варианту.

5.4 Полученные осциллограммы при работе схемы на активную, активно индуктивную нагрузку, а также при подключении фильтра.

5.5 Выводы о проделанной работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Покажите на схеме трехфазного нулевого неуправляемого выпрямителя путь протекания тока через нагрузку.

6.2 Сформулируйте назначение трансформатора в схеме трехфазного нулевого выпрямителя.

6.3 Перечислите достоинства и недостатки трехфазной нулевой схемы выпрямления.

Литература

1 Гельман, М.В. Преобразовательная техника. Полупроводниковые приборы и элементы микроэлектроники: Учебное пособие/М.В.Гельман.-Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2000.

2 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.-М.:Издательский дом МЭИ, 2007.

Лабораторная работа №4

Исследование трехфазного мостового выпрямителя

1 Цель работы:

- сформировать умение анализировать принцип действия трёхфазного мостового выпрямителя
- изучить регулировочные характеристики трехфазного управляемого выпрямителя
- экспериментально исследовать работу трехфазного управляемого выпрямителя на активную и двигательную нагрузку
- приобрести навыки в сборке и настройке схемы
- изучить безопасные методы работы на лабораторном стенде

2 Оснащение рабочего места:

- лабораторный стенд
- методические указания по выполнению лабораторной работы

3 Теоретические сведения

Выпрямителем называется статический преобразователь электрической энергии переменного тока в постоянный ток. По числу фаз питающей сети переменного тока выпрямители бывают однофазные и трехфазные. Для согласования трехфазного выпрямителя с сетью обычно применяют силовые трансформаторы.

Схема трехфазного мостового выпрямителя изображена на рисунке 4.1. Данный выпрямитель содержит мост из шести диодов. Диоды VD1, VD3, VD5 катодную группу, а диоды VD2, VD4, VD6 – анодную.

В этом выпрямителе в каждый момент времени ток в нагрузочном резисторе идвух диодах появляется тогда, когда к этим диодам приложено наибольшеенапряжение. В интервале времени $t_1 - t_2$ ток возникает в цепи: диод VD1 -нагрузочный резистор R_h - диод VD4, так как к этим диодам приложено линейное напряжение U_{ab} , которое в этот интервал времени больше других линейныхнапряжений. В интервале времени $t_2 - t_3$ открыты диоды VD1, VD6 так как в это время к ним приложено наибольшее линейное напряжение U_{ac} . Во все интервалы времени токи в нагрузке имеют одно и тоже направление.

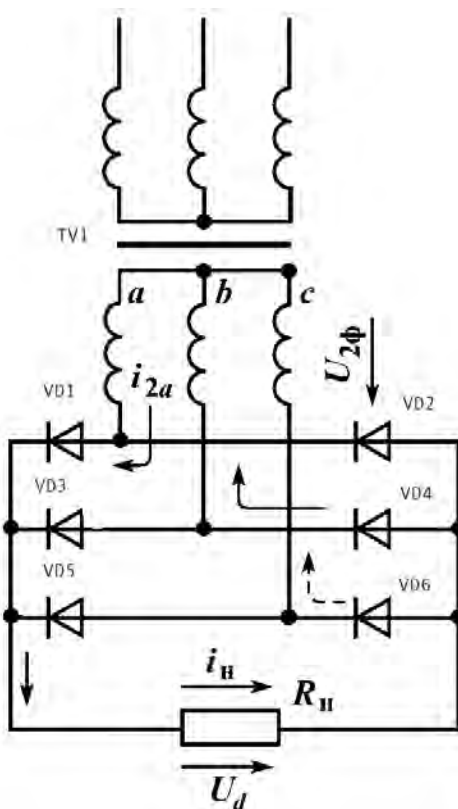


Рисунок 4.1 – Схема трехфазного мостового выпрямителя

На рисунке 4.2 изображены временные диаграммы напряжений и токов рассматриваемого выпрямителя.

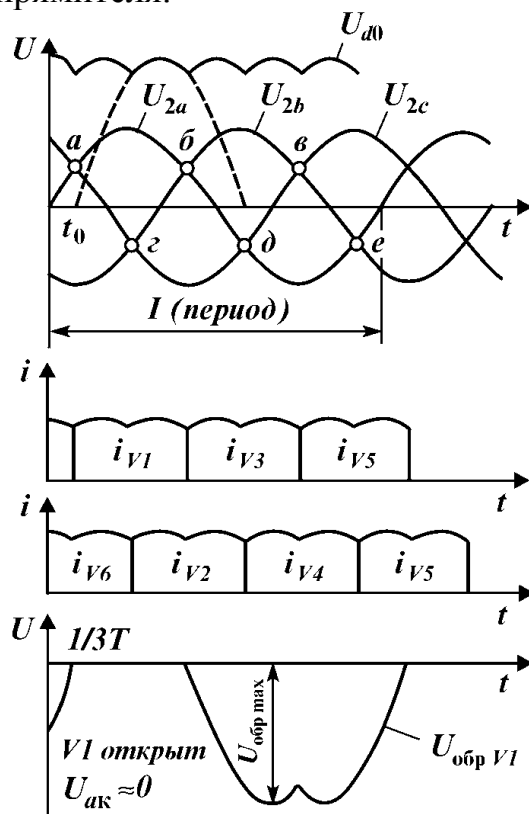


Рисунок 4.2 – Временные диаграммы напряжений и токов в схеме трехфазного мостового выпрямителя

Среднее значение выпрямленного напряжения в рассматриваемом выпрямителе в 2 раза больше, чем в выпрямителе с нейтральным выводом.

Среднее значение выпрямленного напряжения U_d , В рассчитывается по формуле

$$U_d = 2,34U_2, \quad (4.1)$$

где U_2 - напряжение вторичной обмотки трансформатора, В.

Среднее значение выпрямленного тока $I_{в.ср}$, А рассчитывается по формуле

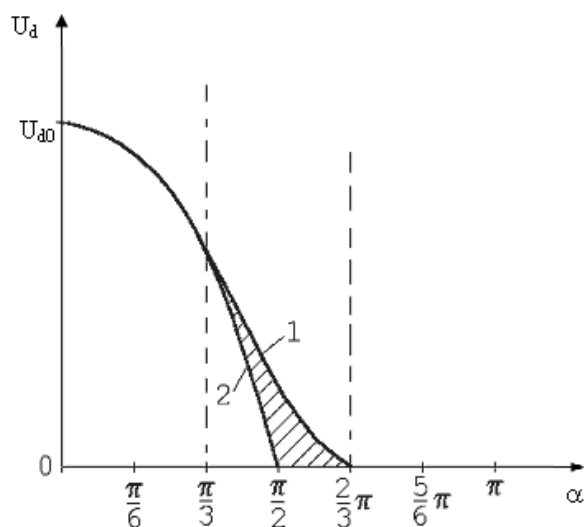
$$I_{в.ср} = \frac{I}{3}, \quad (4.2)$$

Максимально обратное напряжение на каждом закрытом диоде $U_{обр.м}$, В определяется по формуле

$$U_{обр.м} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3}U_2 = \sqrt{6}U_2 \quad (4.3)$$

Данная схема выпрямителя обладает наилучшим коэффициентом использования мощности трансформатора, наименьшим обратным напряжением на диоде и высокой частотой пульсации выпрямленного напряжения, отсутствием подмагничивания сердечника трансформатора постоянным током. К недостаткам относится большое количество используемых диодов.

На рисунке 4.3 приведена регулировочная характеристика трехфазного мостового выпрямителя при его работе на активную и активно-индуктивную нагрузку.



- 1 – регулировочная характеристика при активной нагрузке;
- 2 – регулировочная характеристика при активно-индуктивной нагрузке

Рисунок 4.3 – Регулировочные характеристика трехфазного мостового управляемого выпрямителя

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить краткие теоретические сведения об однофазных управляемых выпрямителях.

4.2 Собрать схему подключения однофазного управляемого выпрямителя к сети переменного тока (рисунок 4.4)

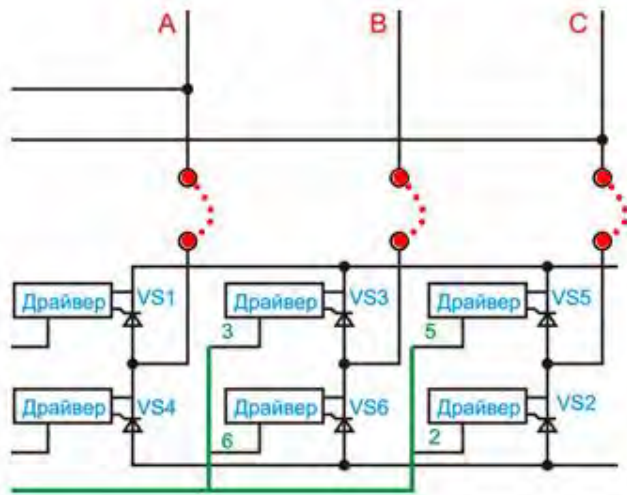


Рисунок 4.4 – Схема подключения трехфазного управляемого выпрямителя к сети переменного тока

4.3 Собрать схему подключения напряжения задания для трехфазного управляемого выпрямителя (рисунок 4.5)

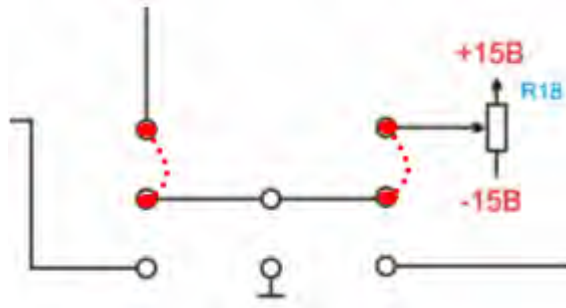


Рисунок 4.5 – Схема подключения напряжения задания для трехфазного управляемого выпрямителя

4.4 Исследовать работу трехфазного управляемого выпрямителя на активную нагрузку.

4.4.1 Собрать схему подключения активной нагрузки на выход трехфазного управляемого выпрямителя (рисунок 4.6)

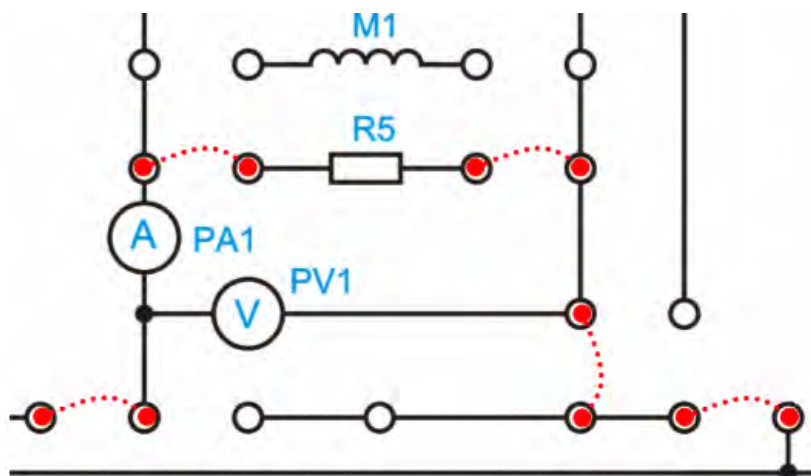


Рисунок 4.6 – Схема подключения активной нагрузки на выход трехфазного управляемого выпрямителя

4.4.2 Подключить стенд к трехфазной сети (включить три автоматических выключателя, расположенных в левой нижней части стенда – надпись «Сеть»). Перед включением стенда необходимо убедиться, что все тумблеры, управляющие включением преобразователей, находятся в положении «выключено», а также на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки.

4.4.3 Задать трехфазный режим работы управляемого выпрямителя, для этого установить тумблер в положение «Трехфазный» (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.»).

4.4.4 Включить управляемый выпрямитель (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.» перевести в положение «Вкл.»).

4.4.5 Измерить среднее значение выпрямленного напряжения на выходе управляемого выпрямителя по вольтметру PV1, изменяя угол управления от 0 до 180 эл.град. (с помощью резистора задания R18 в окошке «Угол управления, град.») (данные занести в таблицу 4.1).

4.4.6 По завершении исследования вывести резистор R18 в начальное положение, отключить управляемый выпрямитель (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.» перевести в положение «Выкл.»), отключить автоматические выключатели, расположенные в левой нижней части стенда – надпись «Сеть»

4.5 Исследовать работу трехфазного управляемого выпрямителя на двигательную нагрузку.

В качестве двигательной нагрузки используется двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, якорь которого включается на выход однофазного управляемого выпрямителя, а обмотка возбуждения получает питание от широтно-импульсного преобразователя (ШИП).

Паспортные данные ДПТ НВ

Тип – ПЛ-062

Номинальная мощность – 120 Вт

Номинальный ток якоря – 0,95 А

Номинальный ток возбуждения – 0,18 А

Номинальный КПД – 61 %

Номинальное напряжение – 220 В

Частота вращения – 3000 об/мин

4.5.1 Собрать схемы в соответствии с п. 4.2 и п. 4.3, или, при собранной схеме, убедиться в правильности подключения трехфазного управляемого выпрямителя к питающей сети (см. рисунок 4.4) и напряжения задания (см. рисунок 4.5).

4.5.2 Собрать схему подключения ШИП к трехфазной сети переменного тока (рисунок 4.7).

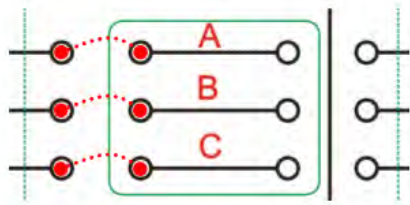


Рисунок 4.7 – Схема подключения ШИП к трехфазной сети переменного тока

4.5.3 Собрать схему подключения якоря двигателя на выход трехфазного управляемого выпрямителя (рисунок 4.8).

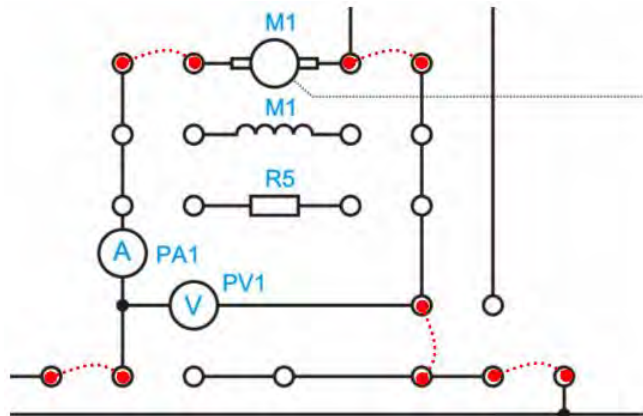


Рисунок 4.8– Схема подключения якоря двигателя на выход трехфазного управляемого выпрямителя

4.5.4 Собрать схему подключения обмотки возбуждения к ШИП (рисунок 4.9).

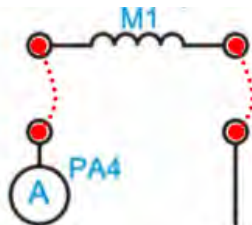


Рисунок 4.9 – Схема подключения обмотки возбуждения к ШИП

4.5.5 Собрать схему подключения напряжения задания для ШИП обмотки возбуждения (рисунок 4.10).



Рисунок 4.10 – Схема подключения напряжения задания для ШИП обмотки возбуждения

4.5.6 Подключить стенд к трехфазной сети (включить три автоматических выключателя, расположенных в левой нижней части стенда – надпись «Сеть»). Перед включением стенда необходимо убедиться, что все тумблеры, управляющие включением преобразователей, находятся в положении «выключено», а также на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки.

4.5.7 Подключить релейно-контакторную схему управления (включить тумблер SA70).

4.5.8 С помощью магнитного пускателя К5 подключить ШИП, нажав кнопку SB74.

4.5.9 Включить ШИП возбуждения (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (возбуждение), %») и резистором R22 установить номинальный ток возбуждения ДПТ НВ равный 0,18 А по прибору РА4.

4.5.10 Задать трехфазный режим работы управляемого выпрямителя (если он ранее не задан), для этого установить тумблер в положение «Трехфазный» (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.»).

4.5.11 Включить управляемый выпрямитель (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.» перевести в положение «Вкл.»).

4.5.12 Измерить среднее значение выпрямленного напряжения на выходе управляемого выпрямителя по вольтметру PV1, изменяя угол управления от 0 до 180 эл.град. (с помощью резистора задания R18 в окошке «Угол управления, град.») (данные занести в таблицу 4.1).

4.5.13 По завершении исследования вывести резистор R18 в начальное положение, отключить управляемый выпрямитель (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.» перевести в положение «Выкл.»), отключить ШИП, отключить автоматические выключатели, расположенные в левой нижней части стенда – надпись «Сеть». Снять установленные переключки.

Таблица 4.1 – Результаты исследований регулировочных характеристик трехфазного управляемого выпрямителя

Нагрузка	Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя											
	α											
активная	U_{CP}											
	α											
двигательная	U_{CP}											
	α											

После проведения экспериментальных исследований (см. п. 4.2-4.5) по

данным таблицы 4.1 построить регулировочные характеристики трехфазного управляемого выпрямителя при его работе на активную и двигательную нагрузки $U_d = f(\alpha)$.

5 Содержание отчета

5.1 Название лабораторной работы и ее цели.

5.2 Схема трехфазного мостового управляемого выпрямителя. Краткое описание работы данной схемы.

5.3 Таблица 4.1, заполненная по результатам опытов.

5.4 Регулировочные характеристика трехфазного мостового выпрямителя при активной и двигательной нагрузках.

5.6 Выводы о проделанной работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Приведите формулу определения среднего значения выпрямленного напряжения для трехфазного мостового выпрямителя.

6.2 Перечислите достоинства и недостатки рассматриваемого выпрямителя.

6.3 Объясните принцип действия схемы трехфазного мостового выпрямителя.

6.4 Назовите область применения трехфазных выпрямителей.

Литература

1 Преображенский, В.И. Полупроводниковые выпрямители/В.И. Преображенский. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.: ил.

2 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.-М.:Издательский дом МЭИ, 2007.

3 Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов/ В.В.Москаленко – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.: ил.

4 Основы автоматизированного электропривода: Учеб. пособие для вузов/ М.Г. Чиликин [и др.]. – М.: Энергия, 1974. – 568с.: ил.

Практическая работа №1

Проектирование схемы СИФУ и выбор СПП по току нагрузки

1 Цель работы:

- спроектировать структурную схему СИФУ
- рассчитать и выбрать СПП по току нагрузки для питания двигателя постоянного тока

2 Оснащение рабочего места:

- методические указания по выполнению практической работы, справочная литература

3 Теоретические сведения

3.1 Структурная схема СИФУ

Система импульсно-фазового управления (СИФУ) называется так, поскольку управляющий сигнал имеет форму импульса, а фаза этого импульса может регулироваться. Рассмотрим в качестве примера проектирование структурной схемы СИФУ с однофазным мостовым управляемым выпрямителем, представленной на рисунке 1.1.

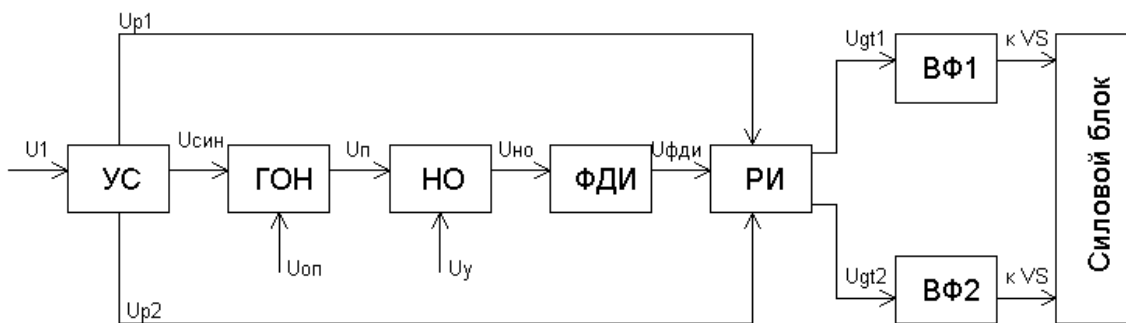


Рисунок 1.1 – Структурная схема СИФУ

Типовыми блоками СИФУ являются:

УС - устройство синхронизации обеспечивает связь с питающей сетью и согласование напряжений, их фильтрацию. УС отмечает переходы через ноль сетевого напряжения и формирует разрешающие сигналы, соответствующие положительным и отрицательным полупериодам сетевого напряжения.

ГОН - генератор развертываемого напряжения формирует, в данном случае пилообразное опорное напряжение на основании входного сигнала, возвращаясь в исходное состояние в момент подачи импульсов.

НО - ноль-орган (компаратор) сравнивает на входе пилообразное напряжение с напряжением управления и в момент их равенства меняет свое выходное состояние. Компаратор K преобразует в фазовый сдвиг, т.е. угол α .

ФДИ - формирователь длительности импульсов по переднему фронту сигнала формирует прямоугольные импульсы с длительностью, достаточной для надежного открывания тиристоров силового блока.

РИ - распределитель импульсов управляется сигналами выхода УС и служит для распределения импульсов по тиристорам.

ВФ1, ВФ2 выходные формирователи формируют открывающие импульсы по мощности, необходимой для надежного включения тиристоров, и обеспечиваю! потенциальную развязку СУ с силовым блоком.

3.2 Выбор силовых полупроводниковых приборов по току нагрузки

Силовые полупроводниковые приборы (СПП) характеризуются широким рядом параметров, которые определяют их статические и динамические свойства. Основными из этих параметров, которые позволяют осуществить обоснованный выбор СПП для проектируемого преобразователя, являются коммутационные параметры (токи и напряжения).

Выбор силовых вентилях заключается в сопоставлении параметров режима работы преобразователя с параметрами силового вентиля, которые назначены ему заводом-изготовителем и эти параметры носят название номинальных.

Порядок выбора СПП по току для режима работы и условий охлаждения соответствующих номинальным заключается в следующем.

Для выбора СПП рассчитывается номинальный ток нагрузки I_H , А по формуле

$$I_H = \frac{P_H}{U_H \eta}, \quad (1.1)$$

где P_H – номинальная мощность двигателя, Вт (по заданию);

U_H – номинальное напряжение на якоре двигателя, В
(по заданию);

η_H – номинальный КПД двигателя (по заданию).

Зная величину номинального тока якоря, можно рассчитать среднее $I_{B.CP}$, А

$$I_{B.CP} = \frac{I_H}{K_{\phi i}^2}, \quad (1.2)$$

где $K_{\phi i}$ коэффициент формы тока, принимаем $K_{\phi i} = 1,57$.

также действующее $I_{B.д}$, А значение тока через вентили по формуле

$$I_{B.д} = \frac{I_H}{K_{\phi i}} \quad (1.3)$$

Тиристоры выбираются по среднему значению тока через вентиль I_{TAVm} ,

А по формуле

$$I_{TAVm} \approx K_{3.P.I} \cdot K_{3.O} \cdot I_{B.CP}, \quad (1.4)$$

где $K_{3.P.I}$ – коэффициент запаса по рабочему току. Принимаем

$$K_{3.P.I} = 1,1;$$

$K_{3.O}$ – коэффициент запаса, учитывающий отклонение условий охлаждения и режима работы вентиля от нормальных.

Принимаем $K_{3.O} = 1,1$.

По справочнику [1] предварительно выбираем необходимый тиристор с нужным охладителем.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить теоретические сведения.

4.2 Спроектировать структурную схему СИФУ для выпрямителя (тип выпрямителя указывается преподавателем).

4.3 Выписать исходные данные из таблицы 1.1 согласно варианту.

4.4 Выполнить расчет и выбор СПП по току нагрузки.

4.5 Составить отчет о проделанной работе

4.6 Ответить на контрольные вопросы

Таблица 1.1 – Варианты заданий

№ п/п	Тип двигателя	$P_{ном},$ кВт	$U_{ном},$ В	$n_{ном}$	$\eta_{ном},$ %	Сопротивления обмотки при 15°C, Ом		λ	$J_{\sigma},$ кгм ²
						$R_{я}$	$R_{д.т.}$		
1	2ПО132МУХЛ4	1,3	110	800	65,5	0,472	0,308	3	0,038
2	2ПО132МУХЛ4	1,3	220	800	66,5	1,88	1,39	3	0,038
3	2ПО132МУХЛ4	1,8	110	1000	70	0,346	0,224	3	0,038
4	2ПО132МУХЛ4	1,8	220	1000	64,5	1,38	1	3	0,038
5	2ПО132МУХЛ4	2,8	110	1500	75,5	0,14	0,094	2,5	0,038
6	2ПО132МУХЛ4	2,8	220	1500	76,5	0,601	0,454	2,5	0,038
7	2ПО132МУХЛ4	4,5	110	2200	75,5	0,067	0,049	2,5	0,038
8	2ПО132МУХЛ4	4,5	220	2240	76,5	0,271	0,204	3	0,038
9	2ПО132ЛУХЛ4	1,6	110	800	71	0,322	0,27	3	0,048
10	2ПО132ЛУХЛ4	1,6	220	750	71	1,57	1,06	3	0,048
11	2ПО132ЛУХЛ4	2,2	110	1000	74	0,22	0,196	3	0,048
12	2ПО132ЛУХЛ4	2,2	220	1000	75,5	0,88	0,64	3	0,048
13	2ПО132ЛУХЛ4	3,4	110	1500	79	0,12	0,089	2,5	0,048
14	2ПО132ЛУХЛ4	3,4	220	1600	81	0,412	0,296	2,5	0,048
15	2ПО160МУХЛ4	2,5	110	750	75	0,235	0,151	3	0,083

5 Содержание отчета

5.1 Название и цель практической работы.

5.2 Структурная схема СИФУ для выпрямителя согласно варианту.

5.3 Исходные данные в таблице 1.1 согласно своему варианту.

5.4 Расчет и результат выбора СПП по току.

5.5 Выводы о выполненной работе

6 Контрольные вопросы

6.1 Перечислите основные функции СИФУ.

6.2 Перечислите и опишите назначение блоков, входящих в состав структурной схемы СИФУ.

6.3 Опишите условия выбора СПП по току нагрузки.

6.4 Перечислите основные параметры СПП.

Литература

1 Чебовский, О. Г. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник / О. Г. Чебовский, Л. Г. Моисеев, Р. П. Недошивин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985.

2 Гельман, М.В. Преобразовательная техника. Полупроводниковые приборы и элементы микроэлектроники: Учебное пособие/М.В.Гельман.- Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2000.

3 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.-М.:Издательский дом МЭИ, 2007.

Практическая работа №2

Проверка СПП по току и перегрузочной способности. Выбор СПП по напряжению

1 Цель работы:

- сформировать умение выполнять проверку СПП по току
- сформировать умение выполнять расчет и проверку по перегрузочной способности
- сформировать умение выполнять расчет и выбор СПП по напряжению

2 Оснащение рабочего места:

- методические указания по выполнению практической работы, справочная литература

3 Теоретическая часть

3.1 Проверка СПП по максимальному току

Для проверки правильности выбора тиристора производится перерасчет максимального тока в прямом направлении I_{TAVm}^* , А по формуле 2.1

$$I_{TAVm}^* = \frac{\sqrt{U_{T(TO)}^2 + 4k_{\phi i}^2 r_T \frac{T_{jm} - T_a}{R_{thja}}} - U_{T(TO)}}{2k_{\phi i}^2 r_T}, \quad (2.1)$$

где $U_{T(TO)}$ - пороговое напряжение открывания тиристора, В;
 r_T - динамическое сопротивление в открытом состоянии, Ом;
 T_{jm} - максимальная температура перехода, °С;
 T_a - температура окружающей среды, °С;
 R_{thja} - установившееся тепловое сопротивление переход-среда, °С/Вт.

Установившееся тепловое сопротивление переход-среда R_{thja} , °С/Вт определяем по формуле

$$R_{thja} = R_{thjc} + R_{thch} + R_{thha}, \quad (2.2)$$

где R_{thjc} - тепловое сопротивление переход-корпус, °С/Вт [1];
 R_{thch} - тепловое сопротивление корпус-контактная поверхность охладителя, °С/Вт [1];

R_{thha} - тепловое сопротивление контактная поверхность охладителя

охлаждающая среда, °C/Вт. Принимаем $R_{thha} = 2,1^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

При выполнении условия для тиристора считается, что прибор по току выбран правильно.

$$k_{з.р.и} I_{TAVm} \leq I_{TAVm}^*$$

где $K_{з.р.и}$ – коэффициент запаса по рабочему току. Принимаем $K_{з.р.и} = 1,1$;
 I_{TAVm} – средний ток через вентиль (значение из практической работы №1).

4.2 Проверка СПП по перегрузочной способности

Для обеспечения нормальной работы преобразователя в режимах рабочей перегрузки необходимо для выбранных по току СПП осуществить их проверку по перегрузочной способности.

Критерием нормальной работы СПП при перегрузке по току является выполнения условия

$$t_m \geq t_{пер} \quad (2.3)$$

где t_m – максимально допустимое время перегрузки, за которое температура перехода достигнет максимально допустимого значения, с;
 $t_{пер}$ – требуемое (реальное) время перегрузки, с.

Время t_m , с, определяется по графику зависимости переходного теплового сопротивления переход-среда $Z_{(th)tja} = f(t)$ для конкретных типов прибора, охладителя и интенсивности охлаждения [1]. Переходное тепловое сопротивление $Z_{(th)tja}$, °C/Вт, для тиристора и диода определяется по формуле

$$Z_{(th)tja} = \frac{T_{jm} - T_a - P_T R_{thja}}{P_{T(OV)} - P_T} \quad (2.4)$$

где $P_{T(OV)}$ – средние потери мощности при перегрузке, Вт;
 P_T – потери мощности предшествующей перегрузке, Вт.

Определим потери мощности на тиристоре при токе, предшествующем перегрузке

$$P_T = U_{T(TO)} \cdot I_{TAVm} + K_{\phi i}^2 \cdot r_T \cdot I_{TAVm}^2 \quad (2.5)$$

где $K_{\phi i}$ коэффициент формы тока, принимаем $K_{\phi i} = 1,57$.

Определим потери мощности на тиристоре для тока, соответствующего перегрузке

$$P_{T(OV)} = U_{T(TO)} \cdot I_{TAVпер} + k_{\phi i}^2 \cdot r_T I_{TAVпер}^2 \quad (2.6)$$

где $I_{TAVпер}$ – ток перегрузки тиристора, А. Принимаем $I_{TAVпер} = \lambda I_{TAVm}$.

При известных потерях мощности, определяется тепловое сопротивление переход-среда для тиристора по формуле (2.4).

По графику функции $Z_{(th)tja} = f(t)$ определяется время перегрузки допустимое для данного диода и тиристора.

При известном максимальном допустимом времени перегрузки,

определяем реальное время перегрузки по формуле

$$t_{nep} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_n}{M_{пуск} - M_c}, \quad (2.7)$$

где J_{Σ} - суммарный, приведенный момент инерции электропривода, кг·м². Выбираем из $J_{\Sigma} = (1, 2 \dots 1, 3) J_{дв.}$;

ω_n – номинальная угловая скорость двигателя, с⁻¹;

$M_{пуск}$ – пусковой момент двигателя, Н·м. Выбираем из $M_{пуск} = \lambda M_n$;

M_c – статический момент, Н·м. Принимаем $M_c = M_n$.

Номинальная угловая скорость двигателя рассчитывается по формуле

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}, \quad (2.8)$$

где n_n – номинальная частота вращения, об/мин (по заданию).

Номинальный момент двигателя определяется по формуле

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} \quad (2.9)$$

Если условие (2.3) выполняется, то тиристор удовлетворяет режиму перегрузки.

4.3 Выбор СПП по напряжению

СПП должны выдерживать определенные напряжения, прикладываемые к ним как в прямом, так и в обратном направлениях. В полупроводниковом преобразователе СПП подвергаются воздействию рабочего напряжения и перенапряжений. Выбор СПП по напряжению осуществляется по формуле

$$k_{з.у} \cdot U_m \leq U_{DRM}, \quad (2.10)$$

где $k_{з.у}$ – коэффициент запаса по рабочему напряжению. Выбираем из

$$k_{з.у} = 1,65 \div 2;$$

U_m -максимальное значение рабочего напряжения, прикладываемого к СПП в схеме, В;

U_{DRM} - повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии, В.

Максимальное значение напряжения, прикладываемого к тиристор (диоду) в схеме определяется по формуле

$$U_m = U_{mn} \cdot K_c, \quad (2.11)$$

где U_{mn} – амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора, В;

K_c – коэффициент схемы учитывающий возможность повышения напряжения сети. Принимаем $K_c = 1,1$.

Номинальное значение максимального обратного напряжения, прикладываемого к вентилю для однофазных схем рассчитывается по формуле

$$U_{mn} = \sqrt{2} \cdot U_H \quad (2.12)$$

Номинальное значение максимального обратного напряжения, прикладываемого к вентилю для трехфазных схем рассчитывается по формуле

$$U_{mn} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_H \quad (2.13)$$

По неравенству (2.10) выбирается тиристор соответствующего класса по напряжению. Число сотен вольт U_{DRM} определяет цифру класса по напряжению.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить теоретические сведения.

4.2 Выполнить проверку СПП по току. Исходные данные брать из практической работы №1 согласно варианту.

4.3 Выполнить проверку СПП по перегрузочной способности.

4.4 Выполнить выбор СПП по напряжению.

4.5 Составить отчет о проделанной работе.

4.6 Ответить на контрольные вопросы.

5 Содержание отчета

5.1 Название практической работы и цель практической работы

5.2 Расчет и результат выбора СПП по току, перегрузочной способности и напряжению

5.3 Параметры выбранных СПП, сведенные в таблицу

5.4 Выводы о выполненной работе

6 Контрольные вопросы

6.1 Опишите методику проверочного расчета проверка СПП по току.

6.2 Объясните необходимость проверки СПП по перегрузочной способности.

6.3 Поясните, что необходимо сделать, если выбранный СПП, не подошел проверку по току.

6.4 Перечислите классификацию СПП по классам напряжения.

Литература

1 Чебовский, О. Г Силовые полупроводниковые приборы: Справочник / О. Г. Чебовский, Л. Г. Моисеев, Р. П. Недошивин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985

2 Гельман, М.В. Преобразовательная техника. Полупроводниковые приборы и элементы микроэлектроники: Учебное пособие/М.В.Гельман. - Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2000.

Практическая работа №3

Расчет питающего трансформатора (реактора). Выбор сглаживающего дросселя

1 Цель работы:

- сформировать умение выполнять расчет питающего трансформатора (анодного реактора) и сглаживающего дросселя, а также производить их выбор

2 Оснащение рабочего места:

- методические указания по выполнению практической работы, справочная литература

3 Теоретическая часть

3.1 Расчет и выбор силового трансформатора (анодного реактора)

В случае, когда напряжение на двигателе не соответствует напряжению питающей сети, устанавливают силовой трансформатор. В случае, когда напряжение на двигателе совпадает с напряжением питающей сети, устанавливают анодный реактор для защиты от аварийных токов.

а) расчет и выбор трансформатора;

Силовой трансформатор применяется для согласования номинального напряжения двигателя с напряжением сети.

Силовой трансформатор рассчитывается в следующей последовательности.

Определим фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора $U_{2\phi}$, В по формуле

$$U_{2\phi} = E_2 \cdot k_c \cdot k_R \cdot k_\alpha, \quad (3.1)$$

где E_2 - ЭДС вторичной обмотки трансформатора, В;

k_c - коэффициент, учитывающий возможность снижения напряжения в сети. Принимаем $k_c=1,1$;

k_R - коэффициент, учитывающий напряжения на активных сопротивлениях трансформатора, падение напряжения на вентиллях и падение

напряжения из-за коммутации вентилях. Принимаем $k_R=1,05$;

k_α - коэффициент, учитывающий неполное открывание вентилях.

Принимаем $k_\alpha=1,1$.

ЭДС вторичной обмотки трансформатора рассчитывается по формуле

$$E_2 = \frac{U_H}{K_{CX}}, \quad (3.2)$$

где K_{CX} – коэффициент схемы выпрямителя.

Определим типовую мощность трансформатора $S_T, B \cdot A$ по формуле

$$S_T = k_p \cdot P, \quad (3.3)$$

где k_p - коэффициент, учитывающий превышение типовой мощности;

P - мощность постоянных составляющих напряжения и тока выпрямителя, Вт.

Мощность постоянных составляющих напряжения и тока выпрямителя рассчитывается по формуле

$$P = \frac{P_H}{\eta_H} \quad (3.4)$$

Полная мощность трансформатора $S, B \cdot A$, рассчитывается по формуле

$$S = k_c^2 \cdot k_R \cdot k_i \cdot S_T, \quad (3.5)$$

где K_i - коэффициент непрямоугольности тока, учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной. Выбираем из

$k_i=1,05 \div 1,1$.

По справочнику выбираем трансформатор по соотношениям

$$S_{H \text{ кат.}} \geq S_{\text{расч.}}, \quad (3.6)$$

Индуктивное сопротивление фазы трансформатора $X_{TP}, \text{ Ом}$ определяем по формуле

$$X_{TP} = \sqrt{Z_k^2 - R_{TP}^2}, \quad (3.7)$$

где Z_k - полное сопротивление короткого замыкания трансформатора, Ом;

R_{TP} – активное сопротивление фазы трансформатора, Ом.

Полное сопротивление короткого замыкания трансформатора определяем по формуле

$$Z_k = \frac{e_k^* \cdot U_{2\phi}}{I_{2H} \cdot 100\%}, \quad (3.8)$$

где e_k^* - относительное напряжение короткого замыкания

трансформатора, %. Выбираем из $\epsilon_k^* = 4 \div 5,5\%$;

I_{2H} – номинальный ток фазы вторичной обмотки трансформатора, А.

Номинальный ток фазы вторичной обмотки трансформатора определяем по формуле

$$I_{2H} = \frac{S}{U_{2\phi}} \quad (3.9)$$

Активное сопротивление фазы трансформатора рассчитываем по формуле

$$R_{TP} = \frac{\Delta P_{кз}}{m \cdot I_{2H}^2}, \quad (3.10)$$

где $\Delta P_{кз}$ - потери короткого замыкания, Вт. Выбираем из $\Delta P_{кз} = (0,02 \div 0,035) \cdot P$;

m - количество фаз вторичной обмотки трансформатора.

б) расчет и выбор анодного реактора.

Расчет анодного реактора производим по его индуктивности и ударному току.

Требуемое значение индуктивности анодного реактора L_{AP} , Гн для ограничения тока короткого замыкания на уровне ударного определяется по формуле

$$L_{AP} = \frac{K_{\Pi} \cdot \sqrt{2} \cdot U_C}{n \cdot \omega_C \cdot I_{уд}}, \quad (3.11)$$

где K_{Π} - коэффициент, учитывающий наличие свободной составляющей в токе короткого замыкания. Выбираем из $K_{\Pi} = 1,6 \div 2,0$;

U_C – фазное напряжение питающей сети, В. Принимаем $U_C = 220$ В;

n - количество реакторов, ограничивающих ток короткого замыкания;

ω_C – угловая частота питающей сети, Гц ($\omega_C = 2\pi f$);

$I_{уд}$ - ударный ток, который может протекать по прибору в течение 10 мс, А

Анодный реактор выбирается из каталога по соотношениям

$$\begin{aligned} L_{н.кат} &\geq L_{AP}, \\ U_{н.кат} &\geq U_C, \\ I_{н.кат} &\geq I_{уд} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Если в результате расчета получили требуемое значение индуктивности анодного реактора, значительно превышающее каталожное, то требуется последовательное соединение нескольких реакторов. Однако это нецелесообразно и в этом случае поступают следующим образом. По выбранной (имеющейся в каталоге) индуктивности одного реактора рассчитывают значение ударного тока

$$I_{уд} = \frac{K_{II} \cdot \sqrt{2} \cdot U_C}{n \cdot \omega_C \cdot L_{AP}} \quad (3.13)$$

По этому значению $I_{уд}$ по справочнику выбирают новый СПП.

Активное сопротивление анодного реактора R_{AP} , Ом определяется по формуле

$$R_{AP} = \frac{\Delta P_{нагр.AP}}{I_{н.AP}^2}, \quad (3.14)$$

где $\Delta P_{нагр.AP}$ – потери мощности анодного реактора, Вт;

$I_{н.AP}$ – номинальный ток анодного реактора, А

4.2 Расчет и выбор сглаживающего дросселя

Для уменьшения пульсаций тока и ограничения зоны прерывистых токов в главной цепи двигателя применяют дополнительный сглаживающий дроссель.

Индуктивность якорной цепи $L_{яц}$, Гн определяется по формуле

$$L_{яц} = \frac{E_0}{m_n \cdot 2\pi f \cdot I_{ГР.МАХ}} \left(1 - \frac{\pi}{m_n} \operatorname{ctg}\left(\frac{180^\circ}{m_n}\right)\right), \quad (3.15)$$

где E_0 – максимально возможное напряжение на выходе выпрямителя, В;

$I_{ГР.МАХ}$ – абсолютное наибольшее значение граничного тока, А. Выбираем из $I_{ГР.МАХ} = (0,05 \dots 0,15) I_H$;

f – частота питающей сети, Гц;

m_n – пульсность схемы.

Максимально возможное напряжение на выходе выпрямителя рассчитывается по формуле

$$E_0 = U_{2\phi} \cdot k_{cx} \quad (3.16)$$

Индуктивность сглаживающего дросселя определяется из выражения

$$L_{др} = L_{яц} - L_{дв}, \quad (3.17)$$

где $L_{дв}$ – индуктивность двигателя, Гн.

Индуктивность двигателя рассчитывается по формуле

$$L_{дв} = k \cdot \frac{60 \cdot U_H}{2 \cdot \pi \cdot p \cdot n_H \cdot I_H}, \quad (3.18)$$

где k – коэффициент пропорциональности, учитывающий исполнение

двигателя. Принимаем $k = 0,6$;
 p - число пар полюсов.

Число пар полюсов рассчитывается по формуле

$$p = \frac{2\pi f}{\omega_H} \quad (3.19)$$

После расчета индуктивности якоря определяем необходимость установки сглаживающего дросселя:

а) если $L_{ДВ} > L_{ЯЦ}$, то сглаживающий дроссель не требуется;

б) если $L_{ДВ} < L_{ЯЦ}$, то сглаживающий дроссель необходим.

По справочной литературе выбираем необходимый сглаживающий дроссель.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить теоретические сведения.

4.2 Произвести расчет и выбор силового трансформатора (анодного реактора). Исходные данные брать из практической работы №1.

4.3 Произвести расчет и выбор сглаживающего дросселя. Исходные данные брать из практической работы №1.

4.4 Составить отчет о проделанной работе

4.5 Ответить на контрольные вопросы

5 Содержание отчета

5.1 Название и цель практической работы.

5.2 Расчет и результат выбора трансформатора (анодного реактора) и сглаживающего дросселя.

5.3 Таблица с параметрами выбранного трансформатора (анодного реактора).

5.4 Таблица с параметрами выбранного дросселя.

5.5 Выводы о выполненной работе .

6 Контрольные вопросы

6.1 Сформулируйте назначение трансформатора в схемах преобразователей

6.2 Перечислите условия когда возможно использовать анодный реактор.

6.3 Опишите назначение дросселя в схеме

6.4 Назовите условие, по которому определяется необходимость установки сглаживающего дросселя

Литература

- 1 Резисторы. Конденсаторы. Трансформаторы. Коммутационные устройства. РЭА. Справочник/Н.Н. Акимов [и др.]- Минск: Беларусь.1994
- 2 Кисаримов, Р.А. Справочник электрика/Р.А.Кисаримов- Патриот, 1991
- 3 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.-М.:Издательский дом МЭИ, 2007.

Практическая работа №4

Расчет внешней характеристики выпрямителя

1 Цель работы:

- сформировать умение выполнять расчет и построение внешней характеристики выпрямителя для различных значений угла открывания вентилей

2 Оснащение рабочего места:

- методические указания по выполнению практической работы, справочная литература

3 Теоретические сведения

Внешней характеристикой преобразователя называется зависимость выходной ЭДС выпрямителя E_d от тока нагрузки I_H при постоянном угле открывания тиристоров α , или $E_d = f(I)$ при $\alpha = \text{const}$.

В общем случае, внешняя характеристика представляет собой семейство прямых, наклоненных к оси абсцисс, описываемых уравнениями:

а) для однофазных и трехфазных мостовых

$$U = \frac{E_0 \cdot (1 + \cos \alpha)}{2} - I_H \cdot \sum R_{яц} - \sum \Delta U_B, \quad (4.1)$$

где α - угол открывания тиристоров, град;

$\sum R_{яц}$ - суммарное активное сопротивление якорной цепи, Ом;

$\sum \Delta U_B$ - суммарное падение напряжения на СПП, В.

Принимаем $\sum \Delta U_B = 2B$.

б) для трёхфазных нулевых

$$U = E_0 \cdot \cos \alpha - I_H \cdot \sum R_{яц} - \sum \Delta U_B \quad (4.2)$$

Напряжение на якоре двигателя определяется выражением

$$U = c_e \cdot \omega_H + I_H \cdot \sum R_{яц}, \quad (4.3)$$

где c_e - конструктивная постоянная электродвигателя при номинальном потоке возбуждения, В·с (здесь и далее считаем, что поток возбуждения соответствует номинальному значению).

Напряжение на якоре двигателя является выходным напряжением выпрямителя $E_{B,B}$, и определяется

а) для однофазных и трехфазных мостовых схем по формуле

$$E_B = \frac{E_0 \cdot (1 + \cos \alpha)}{2} \quad (4.4)$$

б) для трёхфазных нулевых схем по формуле

$$E_B = E_0 \cdot \cos \alpha \quad (4.5)$$

Исходи из предыдущей формулы, можно записать:

а) для однофазных и трехфазных мостовых

$$\frac{E_0 \cdot (1 + \cos \alpha)}{2} = C_e \cdot \omega_H + I_H \cdot \sum R_{яц} \quad (4.6)$$

б) для трёхфазных нулевых

$$E_0 \cdot \cos \alpha = C_e \cdot \omega_H + I_H \cdot \sum R_{яц} \quad (4.7)$$

Воспользовавшись номинальными значениями скорости двигателя, тока якоря, напряжения на якоре и сопротивления якоря можно найти коэффициент C_e

$$C_e = \frac{U_H - I_H \sum R_{яц}}{\omega_H} \quad (4.8)$$

Суммарное активное сопротивление якорной цепи двигателя рассчитывается по формуле

$$\sum R_{яц} = R_{я} + R_{дп} + R_{тр(ар)} + R_{др} + R_{п}, \quad (4.9)$$

где $R_{я}$ - сопротивление якоря двигателя, Ом (по заданию);

$R_{дп}$ - сопротивление дополнительных полюсов, Ом (по заданию);

$R_{тр(ар)}$ - активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора (анодного реактора), Ом;

$R_{др}$ - активное сопротивление сглаживающего дросселя, Ом;

$R_{п}$ - сопротивление перекрытия анодов вентиляей, Ом.

Активное сопротивление сглаживающего дросселя определяем по формуле

$$R_{др} = \frac{\Delta P_{кз}}{I_H^2} \quad (4.10)$$

Сопротивление перекрытия анодов вентиляей рассчитывается по формуле

$$R_{п} = \frac{m_n \cdot L_{яц}}{2\pi} \quad (4.11)$$

Выразив значения $\cos \alpha$ можно рассчитать углы открывания вентиляей:

а) для однофазных и трехфазных мостовых

$$\alpha = \arccos \left[\frac{2 \cdot (C_e \cdot W_H + I_H \cdot \sum R_{яц})}{E_0} - 1 \right] \quad (4.12)$$

б) для трёхфазных нулевых

$$\alpha = \arccos \left[\frac{(C_e \cdot W_H + I_H \cdot \sum R_{яц})}{E_0} \right] \quad (4.13)$$

Зная значения угла открывания α по формуле (4.1), (4.2) рассчитывается значение напряжения на якоре двигателя для токов равных номинальному току и $0,5I_H$, т.е. по двум точкам построим внешнюю характеристику выпрямителя для каждого из значений угла открывания α . Рассчитанные значения представляются в виде таблицы и строятся внешние характеристики.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить теоретические сведения.

4.2 Произвести расчет внешней характеристики выпрямителя для значений угла открывания вентилей α , соответствующих скорости двигателя ω_H , $0,5 \omega_H$ и $0,1 \omega_H$. Исходные данные брать из практической работы №1.

4.3 Построить внешнюю характеристику выпрямителя по полученным данным.

4.4 Составить отчет о проделанной работе.

4.5 Ответить на контрольные вопросы.

5 Содержание отчета

5.1 Название и цель практической работы.

5.2 Расчет внешней характеристики выпрямителя .

5.3 Таблица расчетов для построения внешней характеристики выпрямителя.

5.4 График зависимости $E_d = f(I)$ при $\alpha = \text{const}$ для расчетных данных.

5.5 Выводы о выполненной работе .

6 Контрольные вопросы

6.1 Дайте определение внешней характеристики преобразователя.

6.2 Опишите порядок построения внешней характеристике преобразователя.

6.3 Проанализируйте вид внешних характеристик преобразователя в непрерывном режиме.

6.4 Объясните как определяются углы α_{max} и α_{min} .

Литература

1 Гельман, М.В. Преобразовательная техника. Полупроводниковые приборы и элементы микроэлектроники: Учебное пособие/М.В.Гельман. - Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2000.

2 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк. -М.:Издательский дом МЭИ, 2007.

Лабораторная работа №5

Исследование аналоговой системы управления однофазного управляемого выпрямителя

1 Цель работы:

- сформулировать умение анализировать принцип действия основных узлов системы импульсно-фазового управления однофазного управляемого выпрямителя
- изучить принципы построения аналоговых систем импульсно-фазового управления управляемых выпрямителей
- практически исследовать работу основных узлов системы импульсно-фазового управления однофазного управляемого выпрямителя
- приобрести навыки в сборке и настройке схемы
- изучить безопасные методы работы на лабораторном стенде

2 Оснащение рабочего места:

- лабораторный стенд
- методические указания по выполнению лабораторной работы

3 Теоретические сведения

Система импульсно-фазового управления (СИФУ) предназначена для формирования управляющих импульсов на тиристоры управляемого выпрямителя в функции входного управляющего сигнала.

Для экспериментального исследования работы аналоговой системы импульсно-фазового управления необходим осциллограф (желательно с памятью).

На передней панели универсального лабораторного стенда представлена мнемосхема аналоговой СИФУ (см. рисунок 5.1), каждый элемент которой оснащен выводами для подключения осциллографа.

В данной лабораторной установке реализована одноканальная синхронная аналоговая СИФУ вертикального действия.

Синхронизация с сетью осуществляется по линейному напряжению U_{AC} . Напряжение от сети через понижающий трансформатор TV1 поступает на вход компаратора микроконтроллера, который формирует синхронизирующие импульсы в момент перехода синусоиды линейного напряжения через ноль. Ввиду того, что сдвиг фазы импульсов управления для тиристоров управляемого выпрямителя производится в одном канале, то синхронизирующие импульсы должны быть узкими. Таким образом, микроконтроллер в аналоговой СИФУ выполняет роль устройства синхронизации.

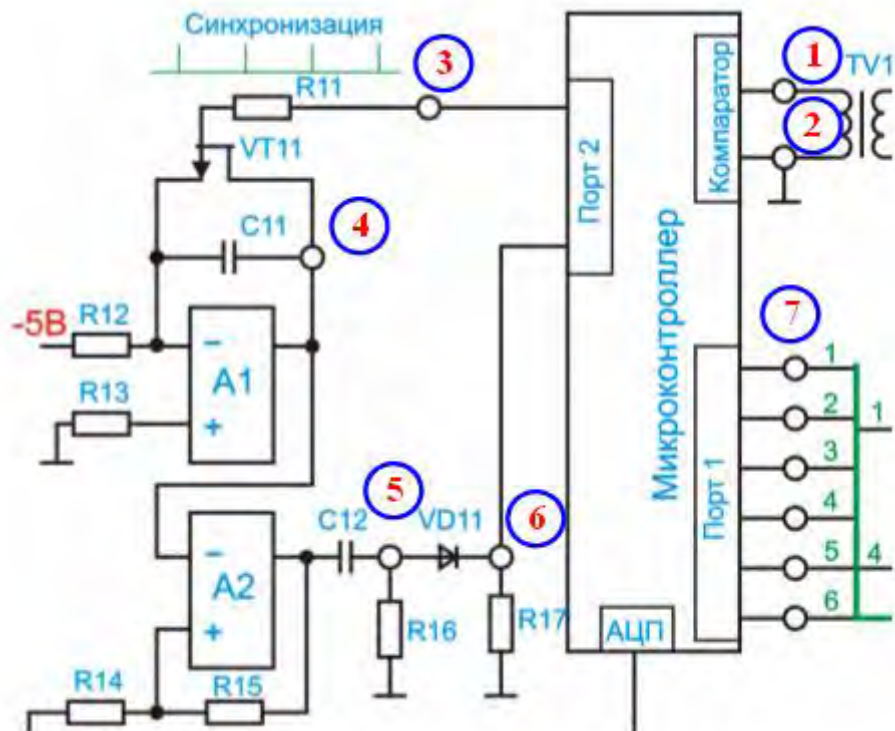


Рисунок 5.1 – Схема аналоговой системы импульсно-фазового управления

Синхронизирующие импульсы с выхода микроконтроллера (порт 2) поступают на транзистор VT11, который шунтирует конденсатор C11 в цепи обратной связи операционного усилителя A1. Операционный усилитель A1 собран по интегрирующей схеме, благодаря чему на выходе формируется сигнал пилообразного напряжения. Сброс интегратора в исходное состояние осуществляется в момент подачи импульса синхронизации от устройства синхронизации. Таким образом, операционный усилитель A11, собранный по интегрирующей схеме с конденсатором C11 в цепи обратной связи и шунтирующим транзистором VT11, на вход которого подается опорное напряжение, в аналоговой СИФУ выполняет роль генератора пилообразного напряжения. Генератор пилообразного напряжения формирует на выходе развертку опорного напряжения.

Далее сигнал с выхода генератора пилообразного напряжения поступает на вход операционного усилителя A2. На вход этого усилителя поступает и сигнал напряжения задания, величина которого регулируется резистором R14. Операционный усилитель A2 формирует на своем выходе сигнал в момент равенства сигналов на входе (напряжение пилообразного напряжения и напряжение задания). Таким образом, на операционном усилителе A2 реализовано фазосдвигающее устройство, основная задача которого осуществить задержку импульсов управления тиристорами относительно импульсов синхронизации. Чтобы сформировать узкие импульсы управления положительной полярности, на выходе операционного усилителя включены конденсатор C12 и диод VD11.

Импульсы управления с выхода фазосдвигающего устройства поступают на вход микроконтроллера, который выполняет роль

формирователя и распределителя импульсов. Далее управляющие импульсы через драйвер подаются на соответствующие управляющие электроды тиристоров.

Микроконтроллер вместе с драйверами обеспечивает получение импульсов тока управления в цепи управляющих электродов тиристоров с требуемой крутизной переднего фронта и требуемой длительности, для обеспечения надежного включения тиристоров в заданные моменты времени. Кроме этого обеспечивается гальваническое разделение цепей управления и силовых цепей.

На рисунке 5.2 представлены временные диаграммы, поясняющие работу элементов аналоговой СИФУ вертикального действия.

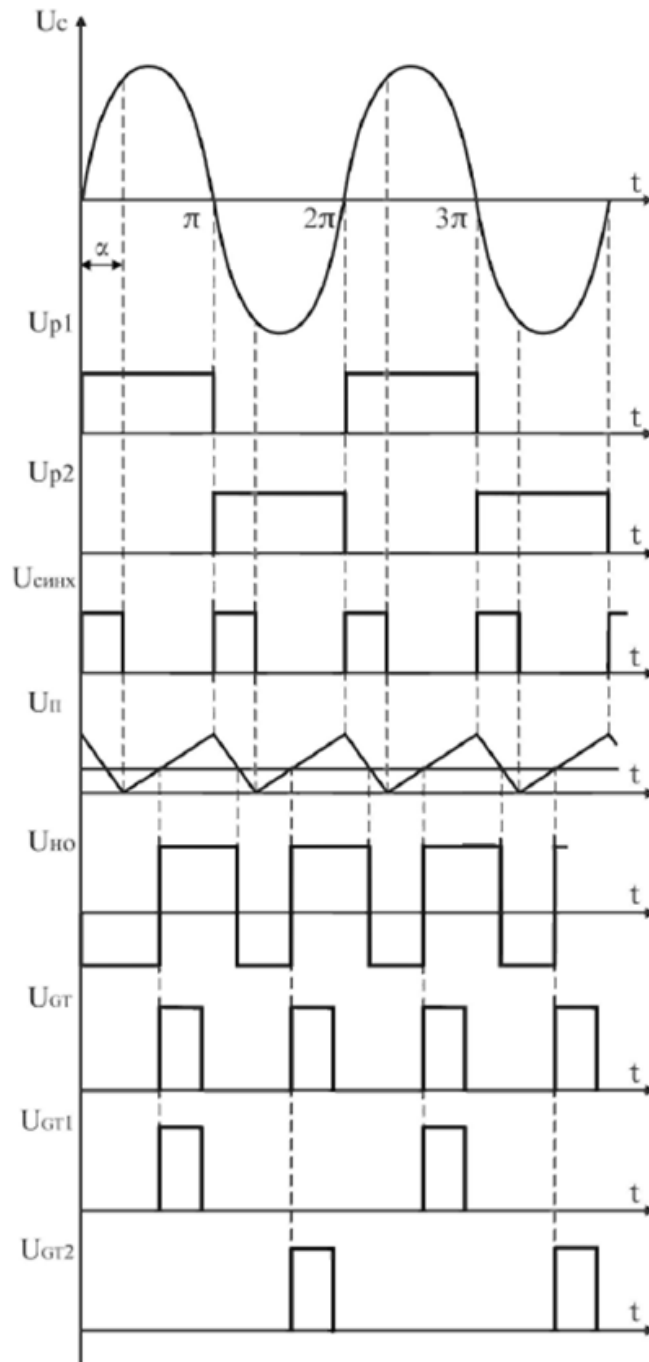


Рисунок 5.2 – Временные диаграммы работы вертикальной СИФУ

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить схему аналоговой системы импульсно-фазового управления представленной на рисунке 5.1.

4.2 Исследовать работу устройства синхронизации СИФУ

4.2.1 Собрать схему подключения напряжения задания для однофазного управляемого выпрямителя (рисунок 5.3)

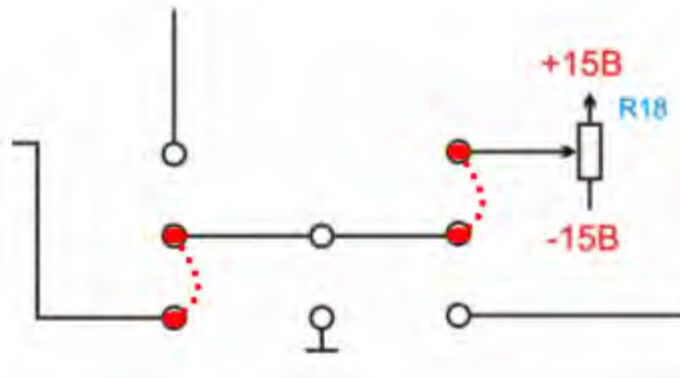


Рисунок 5.3 – Схема подключения напряжения задания для однофазного управляемого выпрямителя

4.2.2 Подключить стенд к трехфазной сети. Включить три автоматических выключателя, расположенных в левой нижней части стенда – надпись «Сеть». Перед включением стенда необходимо убедиться, что все тумблеры, управляющие включением преобразователей, находятся в положении «выключено», а также на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта перемычки.

4.2.3 Задать однофазный режим работы управляемого выпрямителя, для этого установить тумблер в положение «Однофазный» (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.»).

4.2.4 Включить управляемый выпрямитель (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.» перевести в положение «Вкл.»).

4.2.5 Записать мгновенное напряжение на вторичной обмотке трансформатора TV1 ($u_2=f(\omega t)$), для этого подключить осциллограф на вывод 1 относительно общего вывода 2 (см. рисунок 5.3). При этом целесообразно на осциллографе включить режим синхронизации с сетью и настроить временную развертку, таким образом, чтобы на экране помещалось несколько периодов питающего напряжения.

4.2.6 Записать сигнал на выходе порта 2 микроконтроллера, для этого подключить осциллограф на вывод 3 относительно общего вывода 2 (см. рисунок 5.3).

4.3 Исследовать работу генератора пилообразного напряжения СИФУ

4.3.1 Записать сигнал на выходе генератора пилообразного напряжения, для этого подключить осциллограф на вывод 4 относительно общего вывода 2 (см. рисунок 5.3).

4.4 Исследовать работу фазосдвигающего устройства СИФУ

4.4.1 Задать угол управления равный заданному значению (резистором R18), например 30 эл. град. прибор «Угол управления, град.»

4.4.2 Записать сигнал на выходе фазосдвигающего устройства для заданного угла управления, для этого подключить осциллограф на вывод 5 относительно общего вывода 2 (см. рисунок 5.3).

4.4.3 Увеличивать плавно угол управления с помощью резистора R18 на экране осциллографа наблюдать за изменением сигнала на выходе фазосдвигающего устройства.

4.4.5 Записать сигнал на выходе фазосдвигающего устройства для другого заданного угла управления.

4.4.6 Записать сигналы после диода VD11, для этого подключить осциллограф на вывод 6 относительно общего вывода 2 (см. рисунок 5.3).

4.5 Исследовать работу формирователя и распределителя импульсов СИФУ

4.5.1 Записать сигнал на выходе порта 1 микроконтроллера, для этого подключить осциллограф на один из выводов 7 относительно общего вывода 2 (см. рисунок 5.3).

4.5.2 Записать сигнал на других выводах порта 1 микроконтроллера.

По завершении экспериментального исследования отключить стенд от сети (выключить автоматические выключатели, расположенные в левой нижней части стенда – надпись «Сеть»), все тумблеры, управляющие включением преобразователей, поставить в положении «выключено» и снять установленные переключки.

После проведения экспериментальных исследований (см. п. 4.2-4.5) на миллиметровой бумаге построить временные диаграммы сетевого питающего напряжения, сигнала на выходе устройства синхронизации, сигнала на выходе генератора пилообразного напряжения, сигнала на выходе фазосдвигающего устройства и сигналы управления на все четыре тиристора однофазного управляемого выпрямителя.

5 Содержание отчета

5.1 Название лабораторной работы и ее цели.

5.2 Схема аналоговой системы импульсно-фазового управления. Краткое описание работы данной схемы.

5.3 Временные диаграммы сетевого питающего напряжения, сигнала на выходе устройства синхронизации, сигнала на выходе генератора пилообразного напряжения, сигнала на выходе фазосдвигающего устройства и сигнала управления.

5.4 Выводы о проделанной работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Опишите назначение системы импульсно-фазового управления.

6.2 Перечислите основные элементы аналоговой СИФУ. Поясните назначение этих элементов.

6.3 Поясните в чем отличие многоканальных СИФУ от одноканальных? Сравните эти типы СИФУ, проанализируйте их достоинства и недостатки.

6.4 Поясните в чем отличие между синхронной СИФУ и асинхронной?

Литература

1 Преображенский, В.И. Полупроводниковые выпрямители/В.И. Преображенский. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.: ил.

2 Москаленко, В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов/ В.В.Москаленко – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.: ил.

3 Основы автоматизированного электропривода: Учеб. пособие для вузов/ М.Г. Чиликин[и др.]. – М.: Энергия, 1974. – 568с.: ил.

Практическая работа №5

Расчет и выбор защитных RC-цепочек

1 Цель работы:

- сформулировать умение выполнять расчет RC-цепочек
- изучить методы расчета защитных RC-цепочек

2 Оснащение рабочего места:

- методические указания по выполнению практической работы, справочная литература

3 Теоретические сведения

Переходные процессы в цепях преобразователей электрической энергии часто сопровождаются перенапряжениями, основными из которых являются: перенапряжения, обусловленные внутренними процессами в полупроводниковых приборах в моменты коммутации тока; коммутационные перенапряжения, возникающие в моменты отключения внешних цепей с индуктивностями; перенапряжения, вызванные резонансными явлениями в преобразователях; внешние перенапряжения, поступающие из питающей сети. Перенапряжения могут привести к электрическому пробоем приборов, вызывающему, как правило, возникновение коротких замыканий.

Защитные RC-цепи предназначены для ограничения скорости нарастания напряжения и снижения перенапряжений на вентилях схемы. Для защиты СПП от аварийных токов используют анодные реакторы, которые ограничивают ток короткого замыкания на уровне, не превышающем ударный ток $I_{уд.}$ прибора.

Точный расчет RC-цепей достаточно сложен и требует учета ряда факторов и применения вычислительной техники. Параметры RC-цепи определяется компромиссным решением с учетом достаточного ограничения уровня напряжения и скорости изменения напряжения на вентиле, а также ограничения амплитуды разрядного тока защитного конденсатора в момент включения вентиля при максимальном угле регулирования.

Параметры RC-цепей, защищающих полупроводниковые приборы от внутренних перенапряжений, можно определить ориентировочно.

Емкость конденсатора C , Ф определяется по формуле

$$C = \frac{e^*_K}{100} \cdot \frac{I_{ОБ.МАХ}^2}{2\pi f \cdot I_{ПР.МАХ} \cdot U_{ОБ.МАХ}}, \quad (5.1)$$

где $I_{ОБ.МАХ}$ - максимальный обратный ток тиристор, А (таблица 5.1);
 $I_{ПР.МАХ}$ - максимальный ток через тиристор в прямом направлении, А (таблица

5.1);

$U_{OБР.МАХ}$ - максимальное обратное напряжение, прикладываемое к тиристоры в схеме, В .

По формуле (5.1) определяется и емкость конденсаторов, предназначенных для защиты диодов. Класс конденсатора должен соответствовать классу тиристора.

Сопротивление резистора R, Ом RC-цепи определяется по формуле

$$R = \frac{U_{OБР.МАХ}}{I_{OБР.МАХ}} \quad (5.2)$$

Мощность резистора P, Вт, RC-цепи определяется по формуле

$$P = U_{OБР.МАХ} \cdot I_{OБР.МАХ} \quad (5.3)$$

Исходя из значений емкости защитных конденсаторов и значений сопротивления и мощности резисторов, выбираются RC-цепи.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить теоретические сведения.

4.2 Выписать исходные данные из таблицы 5.1 согласно варианту.

4.3 Согласно варианту заданному преподавателем рассчитать параметры RC-цепочек.

4.4 Из справочной литературы выбрать марки RC-цепочек для силовой цепи.

4.5 Составить отчет о проделанной работе

4.6 Ответить на контрольные вопросы

Таблица 5.1 – Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
Марка тиристора	T112-10	T112-16	T112-20	T112-25	T112-40	T112-50	T112-63	T112-80
$I_{ПР.МАХ}$, кА	0,16	0,22	0,33	0,38	0,82	0,90	1,3	1,5
$I_{OБР.МАХ}$, МА	2,5	3	3	3	5	6	6	6
$U_{OБР.МАХ}$, В	100	200	300	400	500	600	700	800

5 Содержание отчета

5.1 Название и цель практической работы.

5.2 Исходные данные из таблицы 5.1 согласно своему варианту.

5.3 Расчет и результат выбора RC-цепочек.

5.4 Выводы о выполненной работе .

6 Контрольные вопросы

- 6.1 Опишите назначение RC-цепей в схеме выпрямителя.
- 6.2 Сформулируйте назначение анодного реактора
- 6.3 Перечислите виды перенапряжений, возникающих в процесс работы вентиляей.
- 6.4 Опишите порядок выбора RC-цепочек.

Литература

- 1 Резисторы. Конденсаторы. Трансформаторы. Коммутационные устройства. РЭА. Справочник/Н.Н. Акимов [и др.].- Минск: Беларусь.1994
- 2 Кисаримов, Р.А. Справочник электрика/Р.А.Кисаримов- Патриот, 1991
- 3 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.-М.:Издательский дом МЭИ, 2007.

Практическая работа №6

Исследование работы трехфазного инвертора, ведомого сетью

1 Цель работы:

- сформировать умение анализировать принцип работы трехфазного инвертора, ведомого сетью

2 Оснащение рабочего места:

- методические указания по выполнению практической работы, справочная литература

3 Теоретические сведения

Инвертирование - это преобразование постоянного тока в переменный. Существует два типа инверторов: ведомые и автономные.

Ведомые инверторы (ВИ) работают на сеть, в которой есть другие источники электроэнергии. Коммутации вентилях в них осуществляются за счет энергии этой сети. Частота на выходе ВИ равна частоте сети, а напряжение - напряжению сети.

Автономные инверторы (АИ) - это инверторы, которые работают на сеть, в которой нет других источников электроэнергии. Коммутации вентилях в них осуществляются благодаря применению полностью управляемых вентилях или устройств искусственной коммутации. При этом частота на выходе АИ определяется частотой управления, а напряжение - параметрами нагрузки и системой регулирования.

Зависимым инвертором называется инвертор, частота, форма и величина выходного напряжения которого определены внешней сетью. Назначение зависимого инвертора сводится к поставке дополнительной активной мощности в существующую систему переменного напряжения.

В случаях, когда требуется быстро и эффективно вывести накопленную энергию из обмоток путем сброса с них тока, полярность напряжения на обмотке необходимо изменить на обратную, что также обеспечивает вентильном преобразователе увеличением угла регулирования α за 90° . В момент спада тока до нуля режим зависимого инвертирования естественно прекратится, так как исчезнет источник временной энергии в звене постоянного тока.

Таким образом, выпрямители и зависимые инверторы имеют одинаковые принципиальные схемы преобразования, но зависимые инверторы не могут быть выполнены на неуправляемых вентилях.

На рисунке 6.1 изображена схема трехфазного мостового зависимого инвертора.

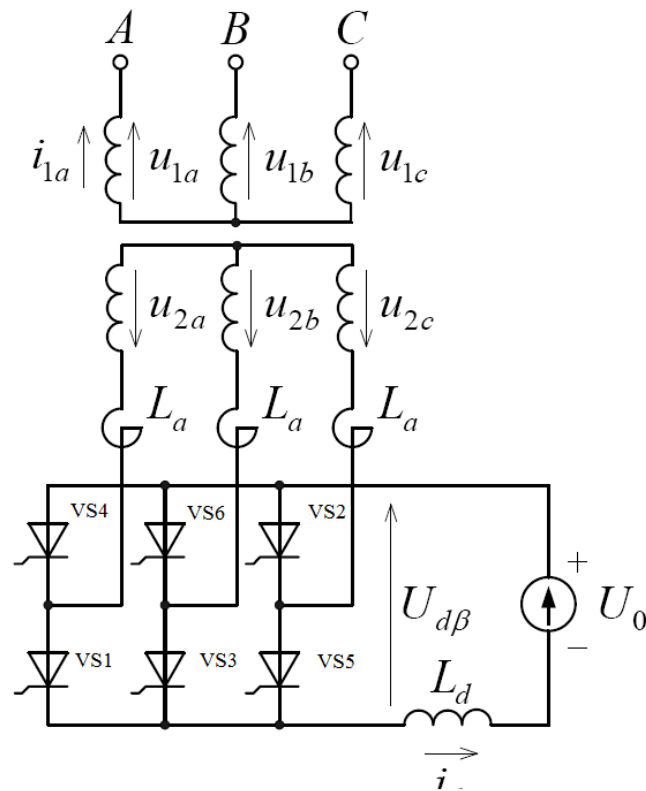


Рисунок 6.1 - Схема трехфазного мостового зависимого инвертора

Для расчета характеристик зависимого инвертора удобнее вместо угла α пользоваться углом регулирования β , дополняющим угол α до 180° :

$$\alpha + \beta = 180^\circ.$$

Это делает все зависимости характеристик от угла β в инверторе подобными зависимостям соответствующим характеристик от угла α в выпрямителе.

Методика построения временных диаграмм та же, что и при выпрямительном режиме работы. Для инверторного режима характерны две особенности временных диаграмм.

Во-первых, значительно меньшая длительность интервала приложения к вентилю обратного напряжения:

$$\delta = \beta - \gamma \geq \delta_{в}$$

которая должна быть больше паспортного времени восстановления управляющих свойств вентиля с неполным управлением (тиристоров) $\delta_{в}$. Эта особенность ограничивает минимально возможное значение угла регулирования β в инверторном режиме величиной:

$$\beta_{min} = \gamma_{max} + \delta_{в}$$

На рисунке 6.2 изображены временные диаграммы работы трехфазного мостового инвертора, ведомого сетью.

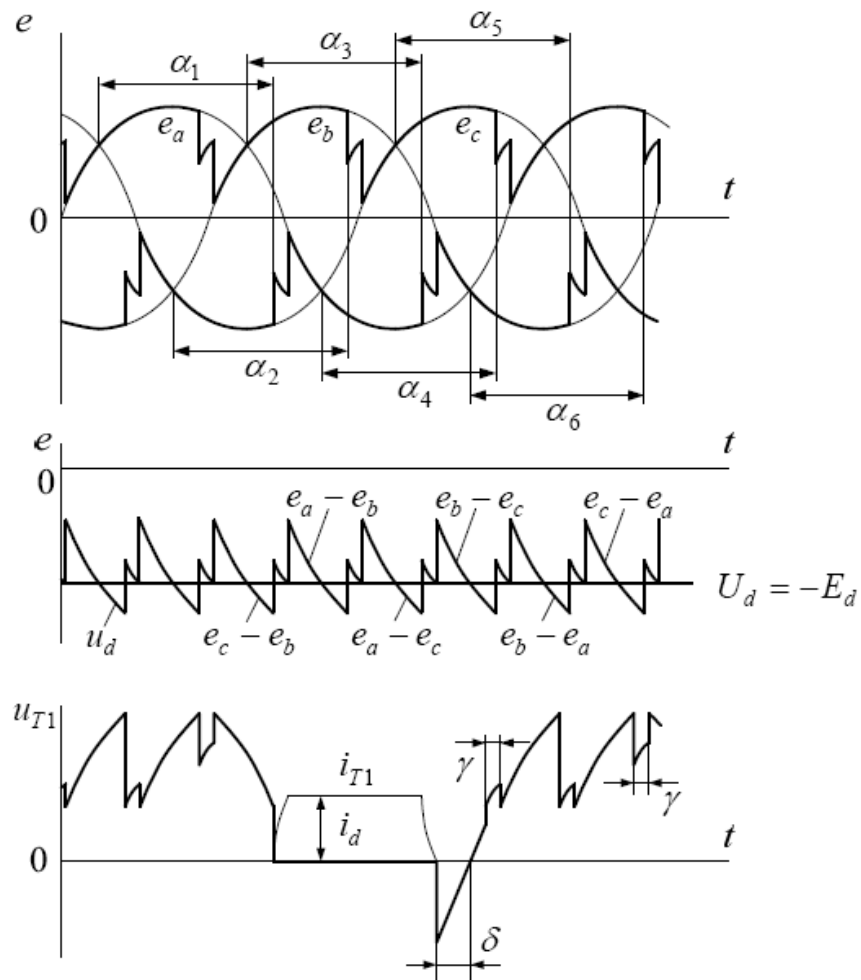


Рисунок 6.2 - Временные диаграммы работы трехфазного мостового инвертора, ведомого сетью

Характерной особенностью работы зависимого инвертора является то, что в течении времени, большего половины непроводящей части периода, напряжение на тиристоре положительно и он удерживается в запертом состоянии лишь управляющим импульсом, поскольку отрицательная постоянная составляющая напряжения U_d может уравниваться лишь положительной постоянной составляющей напряжения на тиристоре.

Тиристор должен успеть восстановить свои запирающие свойства за время, в течении которого напряжение на тиристоре, вышедшем из работы, остается отрицательным. В противном случае тиристор вступает в работу, т.е. начинает проводить ток. ЭДС вентильной обмотки при этом не препятствует, как это должно быть при инвертировании, а содействует протеканию тока. Поэтому ток под действием двух согласно направленных ЭДС – ЭДС вентильной обмотки трансформатора и ЭДС внешнего источника цепи постоянного тока – резко возрастает. Этот режим является аварийным и называется опрокидыванием инвертора. Таким образом для устойчивой работы инвертора необходимо, чтобы угол δ превышал угол восстановления запирающих свойств тиристора.

Возможна и другая причина опрокидывания инвертора, связанная с неполадкой в управлении тиристором – пропуск отпирания очередного тиристора.

Развитие этого процесса зависит от величины индуктивности сглаживающего реактора в цепи выпрямленного тока. В случае одиночного пропуска отпирания или

одиночного повторного вступления тиристора в работу инвертор может восстановить нормальный режим без отключения. Из-за достаточно большой индуктивности сглаживающего реактора аварийный ток нарастает медленно, и через период после пропуска может произойти коммутация тока в тиристоре T2, после чего втягивается в нормальную работу.

При небольшой индуктивности сглаживающего реактора аварийный ток нарастает быстро и через период после пропуска коммутации на тиристор T2 не может завершиться – ток слишком велик. После этого ток продолжает нарастать до отключения инвертора. Опрокидывание инвертора может произойти и вследствие уменьшения напряжения сети.

Учитывая отмеченные особенности, индуктивность сглаживающего реактора при инвертировании тока следует выбирать гораздо больше, чем при выпрямлении.

4 Порядок выполнения работы

- 4.1 Ознакомиться с методическими указаниями.
- 4.2 Составить отчет о проделанной работе.
- 4.3 Ответить на контрольные вопросы.

5 Содержание отчета

- 5.1 Название и цель практической работы.
- 5.2 Схема трехфазного зависимого инвертора. Краткое описание работы схемы.
- 5.3 Диаграммы работы трехфазного инвертора.
- 5.4 Выводы о выполненной работе.

6 Контрольные вопросы

- 6.1 Сформулируйте в чем отличие ведомого и автономного инвертора?
- 6.2 Назовите схемы по которым могут быть выполнены автономные инверторы?
- 6.3 Назовите область применения ведомых инверторов
- 6.4 Перечислите вентили на котрых могут выполняться ведомые инверторы?

Литература

1 Гельман, М.В. Преобразовательная техника. Полупроводниковые приборы и элементы микроэлектроники: Учебное пособие/М.В.Гельман.- Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2000.

2 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.-М.:Издательский дом МЭИ, 2007.

Лабораторная работа №6

Исследование работы трехфазного мостового инвертора на IGBT-транзисторах

1 Цель работы:

- сформулировать умение анализировать принцип действия трехфазного мостового инвертора на IGBT-транзисторах
- практически изучить принцип работы схемы трехфазного мостового инвертора на IGBT-транзисторах
- приобрести навыки в сборке и настройке схемы
- изучить безопасные методы работы на лабораторном стенде

2 Оснащение рабочего места:

- лабораторный стенд
- методические указания по выполнению лабораторной работы

3 Теоретические сведения

Инвертирование - это преобразование постоянного тока в переменный. Существует два типа инверторов: ведомые и автономные.

Ведомые инверторы (ВИ) работают на сеть, в которой есть другие источники электроэнергии. Коммутации вентилях в них осуществляются за счет энергии этой сети. Частота на выходе ВИ равна частоте сети, а напряжение - напряжению сети.

Автономные инверторы (АИ) - это инверторы, которые работают на сеть, в которой нет других источников электроэнергии. Коммутации вентилях в них осуществляются благодаря применению полностью управляемых вентилях или устройств искусственной коммутации. При этом частота на выходе АИ определяется частотой управления, а напряжение - параметрами нагрузки и системой регулирования.

Автономные инверторы (АИ) классифицируются по виду входного тока или напряжения АИ делятся:

а) на автономные инверторы тока (АИТ). На входе АИТ действует источник тока, образованный источником ЭДС и большой индуктивностью, форма тока на выходе вентилях группы прямоугольная, а форма напряжения определяется характером нагрузки

б) на автономные инверторы напряжения (АИН). На входе АИН действует источник ЭДС, напряжение на выходе вентилях группы прямоугольное, а форма тока определяется характером нагрузки.

в) на резонансные (колебательные) автономные инверторы. Это инвертор, на входе и на выходе вентилях группы которого ток прерывистый, а форма напряжения на выходе определяется нагрузкой.

В электроприводе в настоящее время наибольшее применение находят АИН на IGBT транзисторах.

Автономный инвертор напряжения преобразовывает постояннонапряжение, подаваемое на его вход, в пропорциональное по величине переменное напряжение. Существует много схем АИН. Однако, наибольшее применение в электроприводе переменного тока получила трехфазная мостовая схема на полностью управляемых вентилях (транзисторах или запираемых тиристорах), приведенная на рисунке 6.1.

В этой схеме управляемые вентили могут работать с длительностью открытого состояния $\lambda = 120^\circ$ и $\lambda = 180^\circ$. При угле проводимости вентилей $\lambda = 180^\circ$ обеспечивается непрерывная связь фаз нагрузки с источником питания и лучшая форма напряжений на выходе, независимая от параметров нагрузки. Это обусловило более широкое применение такого управления.

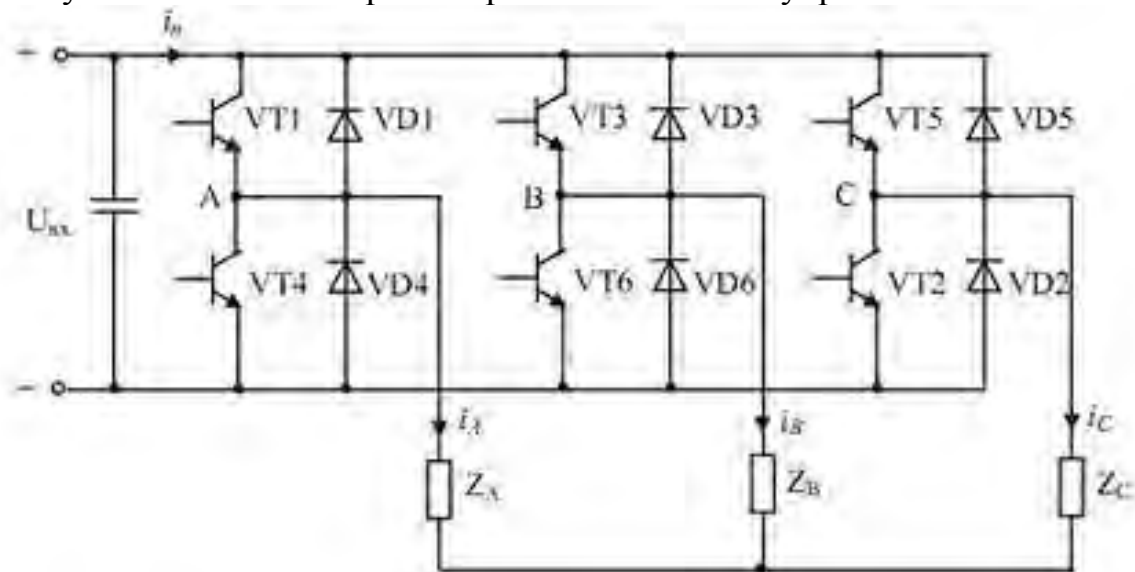


Рисунок 6.1 - Транзисторный трехфазный мостовой автономный инвертор напряжения

Рассмотрим работу схемы при угле проводимости $\lambda = 180^\circ$. В схеме всегда одновременно открыты три управляемых вентиля разных фаз, что обеспечивает независимость формы выходного напряжения на нагрузке от ее параметров. Из алгоритма переключения транзисторов (рисунок 6.2) видно, что возможны шесть независимых сочетаний открытых и закрытых состояний управляемых вентилей. Каждому сочетанию соответствует своя эквивалентная схема. Поэтому к каждой фазе прикладывается напряжение равное $U_d/3$ или $2U_d/3$ (при симметричной нагрузке), и фазное напряжение на нагрузке имеет двухступенчатую форму.

При соединении нагрузки треугольником к каждой фазе нагрузки либо прикладывается напряжение источника питания, либо в течение $1/6$ периода фаза оказывается замкнутой на себя, т.е. фазное напряжение прямоугольное с паузой длительностью $1/6$ периода (рисунок 6.2). Линейное напряжение при соединении нагрузки звездой имеет такую же форму.

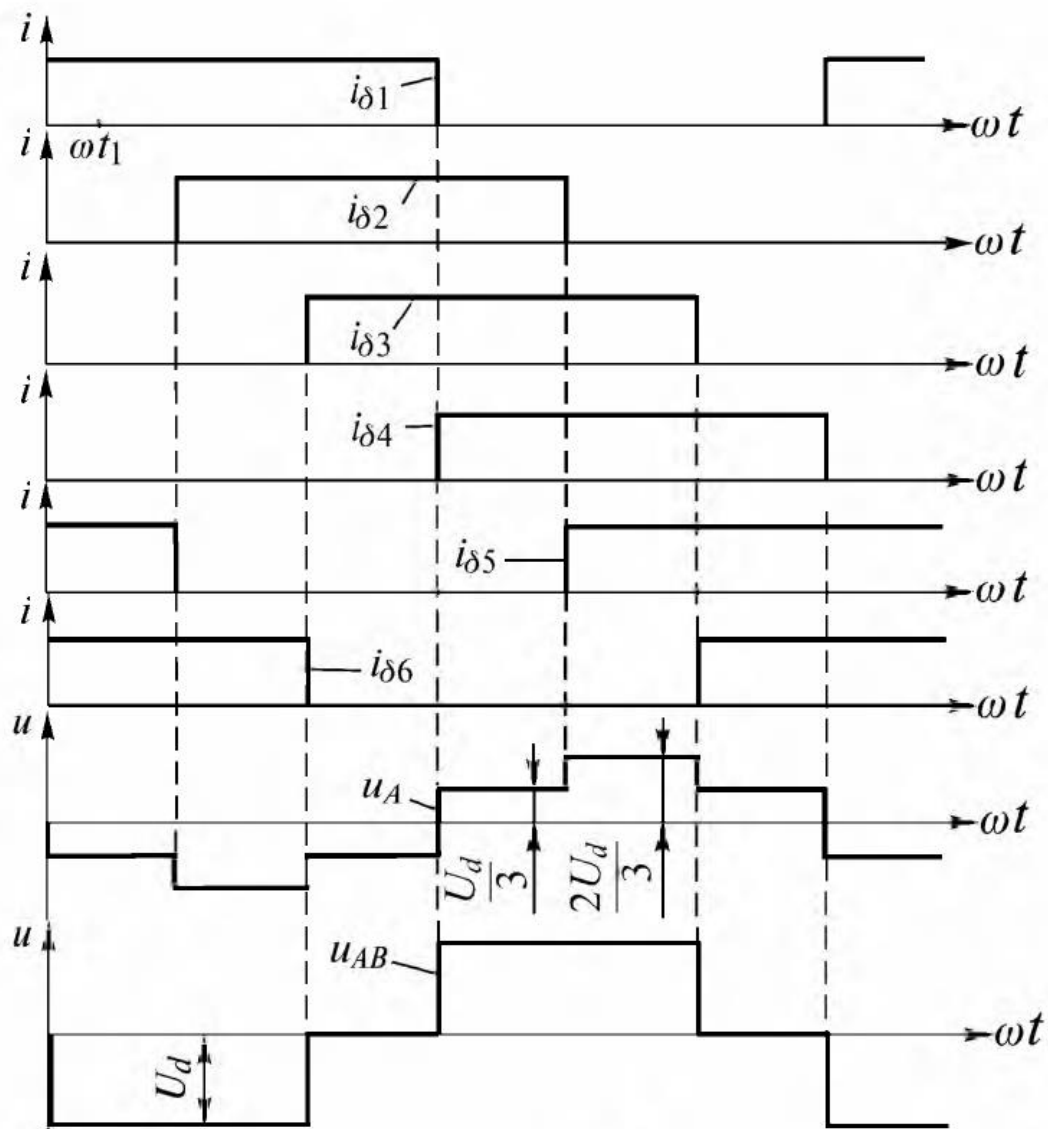


Рисунок 6.2 - Диаграммы токов и напряжений в трёхфазном мостовом АИН

4 Порядок выполнения работы

4.1 Собрать схему подключения инвертора к сети переменного тока (рисунок 6.3).

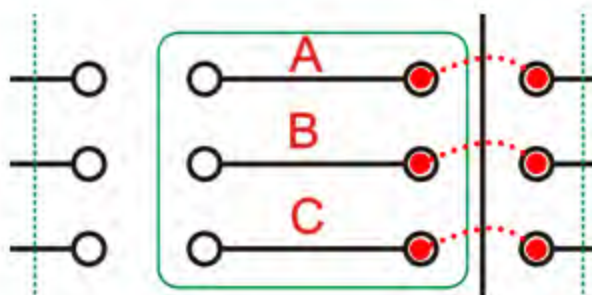


Рисунок 6.3 – Схема подключения инвертора к трехфазному источнику переменного тока

4.2 Собрать схему подключения напряжения задания для инвертора (рисунок 6.4).

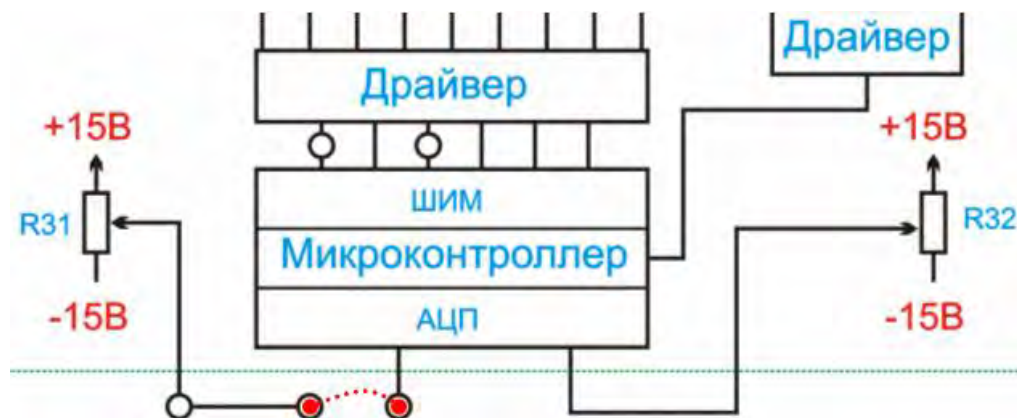


Рисунок 6.4 – Схема подключения задания для инвертора

4.3 Подключить стенд к трехфазной сети. Включить три автоматических выключателя, расположенных в левой нижней части стенда – надпись «Сеть». Перед включением стенда необходимо убедиться, что все тумблеры, управляющие включением преобразователей, находятся в положении «выключено», а также на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта перемишки.

4.4 Подключить релейно-контакторную схему управления (включить тумблер SA70).

4.5 С помощью магнитного пускателя К1 подключить АД К3 к инвертору, нажав кнопку SB70 «Вперед».

4.6 Выбрать режим работы инвертора $(U-IR)/f = \text{Const}$. Задать частоту инвертор равную нулю.

Плавно увеличивая частоту инвертора (прибор «Частота, Гц») с помощью резистора R31 замерить угловую скорость АД К3 по прибору BR1, рад/с., ток статора по прибору PA3, А, напряжение по прибору PV3, В. Показания приборов BR1 (угловая скорость, рад/с), PV3 (напряжение статора, В), PA3 (ток статора, А) заносят в таблицу 6.1.

Примечание:

- 1) При выбранном режиме работы инвертора $(U-IR)/f = \text{Const}$ установив по прибору «Частота, Гц» частоту 50 Гц, на приборе «PV3, В» будет отображаться номинальное напряжение на выходе инвертора.
- 2) Следует учесть, что прибор «PV3, В» измеряет действующее значение линейного напряжения на выходе инвертора.
- 3) Так же следует учесть, что в лабораторном стенде в качестве исследуемого асинхронного двигателя используется АД с номинальным фазным напряжением 220 В (при соединении обмоток статора в «звезду»), а используемый инвертор вырабатывает номинальное напряжение 127 В.

4.7 Выбрать режим работы инвертора «Независимое управление» и резистором R31 задать номинальную частоту – 50 Гц (по прибору «Частота,

Гц») Плавно изменяя напряжение на статоре резистором R32, измерить угловую скорость АД КЗ по прибору BR1, рад/с., ток статора по прибору PA3, А, напряжение по прибору PV3, В. Показания приборов BR1 (угловая скорость, рад/с), PV3 (напряжение статора, В), PA3 (ток статора, А) заносят в таблицу 6.1.

Для отключения инвертора нажать кнопку SB72 «Стоп».

По завершении экспериментального исследования работы инвертора отключить стенд от сети (выключить автоматические выключатели, расположенные в левой нижней части стенда – надпись «Сеть») и снять установленные перемычки.

4.8 Постройте графики зависимостей $f = f(U_1)$ для расчетных данных

Таблица 6.1 – Результаты исследований регулировочных характеристик инвертора

Режим работы инвертора	Регулировочная характеристика инвертора							
	«Независимое управление»	f, Гц						
U_1 , В								
I_1 , А								
ω , рад/с								
$\frac{U}{f} = const$	f, Гц							
	U_1 , В							
	I_1 , А							
	ω , рад/с							

5 Содержание отчета

5.1 Название лабораторной работы и ее цели.

5.2 Схема электрическая принципиальная пуска трехфазного мостового инвертора. Краткое описание работы данной схемы.

5.3 Таблица 6.1, заполненная по результатам опытов.

5.4 Графики зависимостей $f = f(U_1)$ для опытных данных.

5.5 Выводы о проделанной работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Поясните в чем отличие ведомого и автономного инвертора?

6.2 Перечислите по каким признакам классифицируются автономные инверторы?

6.3 Объясните чем отличается автономный инвертор напряжения от автономного инвертора тока?

6.4 Объясните на каких вентилях могут выполняться автономные инверторы?

6.5 Поясните сколько составляет угол проводимости транзисторов в трехфазных АИН?

Литература

- 1 Преображенский, В.И. Полупроводниковые выпрямители/В.И. Преображенский. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.: ил.
- 2 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.-М.:Издательский дом МЭИ, 2007.
- 3 Москаленко, В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов/ В.В.Москаленко – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.: ил.

Лабораторная работа №7

Исследование трехфазного мостового ШИП с симметричным законом управления

1 Цель работы:

- сформировать умение анализировать принцип действия трехфазного мостового ШИП с симметричным законом управления
- изучить регулировочные характеристики трехфазного ШИП с симметричным законом управления
- приобрести навыки в сборке и настройке схемы
- изучить безопасные методы работы на лабораторном стенде

2 Оснащение рабочего места:

- лабораторный стенд
- методические указания по выполнению лабораторной работы

3 Теоретические сведения

Широтно-импульсный преобразователь (ШИП) является полупроводниковым статическим преобразователем электрической энергии. ШИП преобразует входное постоянное напряжение питания ($U_{ВХср} = \text{Const}$, $f_{ВХ} = 0$) в постоянное регулируемое напряжение на выходе ($U_{ВЫХср} = \text{Var}$, $f_{ВЫХ} = 0$). Основное назначение широтно-импульсного преобразователя – связать источник постоянного тока с двигателем постоянного тока для регулирования скорости и момента последнего.

Основным назначением полупроводникового преобразователя является регулирование скорости исполнительного двигателя электропривода. В электроприводах постоянного тока это достигается регулированием напряжения на выходе преобразователя.

Упрощенная схема ШИП представлена на рисунке 7.1. Она содержит четыре транзисторных ключа ТК1-ТК4. В диагональ моста, образованного транзисторными ключами, включена нагрузка.

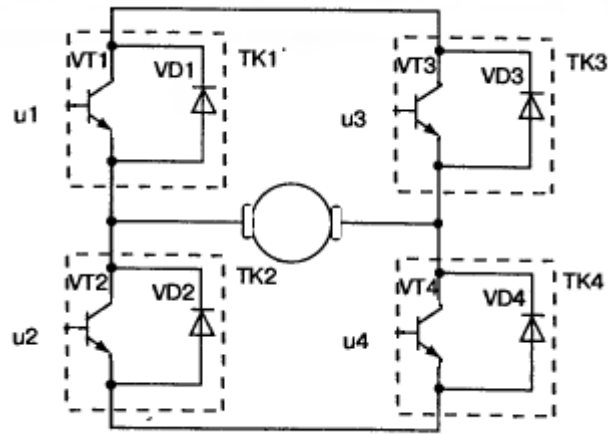


Рисунок 7.1 – Схема транзисторного ШИП

Нагрузкой в приводах постоянного тока является двигатель постоянного тока. Питание ШИП осуществляется от источника постоянного тока, шунтированного конденсатором.

Наиболее простой способ управления ШИП по цепи якоря симметричный. При симметричном способе управления в состоянии переключения находятся все четыре транзисторных ключа моста, а напряжение на выходе ШИП представляет собой знаки переменные импульсы, длительность которых регулируется входным сигналом. В ШИП с симметричным управлением среднее напряжение $U_{я}$ на выходе ШИП равно нулю, когда относительная продолжительность включения $\gamma=0,5$. Временные диаграммы ШИП при симметричном способе управления приведены на рисунке 7.2. Симметричный способ управления обычно используется в маломощных приводах постоянного тока. Его преимуществом является простота реализации и отсутствие зоны нечувствительности в регулировочной характеристике. Недостатком ШИП с симметричным управлением является двухполярное напряжение на нагрузке и, в связи с этим, повышенные пульсации тока в якоре исполнительного двигателя.

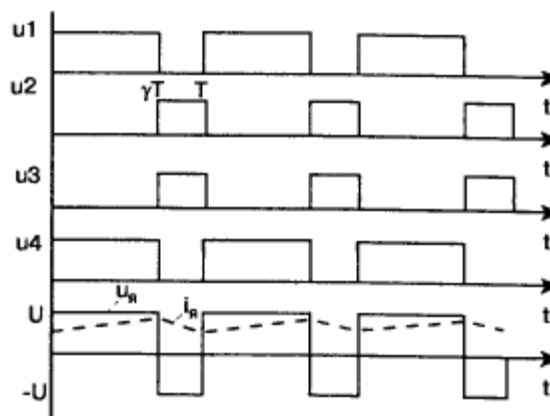


Рисунок 7.2 – Диаграммы поясняющие работу ШИП при симметричном управлении

В настоящее время основными приборами силовой электроники в области

коммутируемых токов до 50 А являются биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT); полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET).

В области коммутируемых токов более 50 А основными приборами силовой электроники являются: силовые модули на базе биполярных транзисторов; силовые модули на базе IGBT.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить принцип работы схемы (рисунок 7.3).

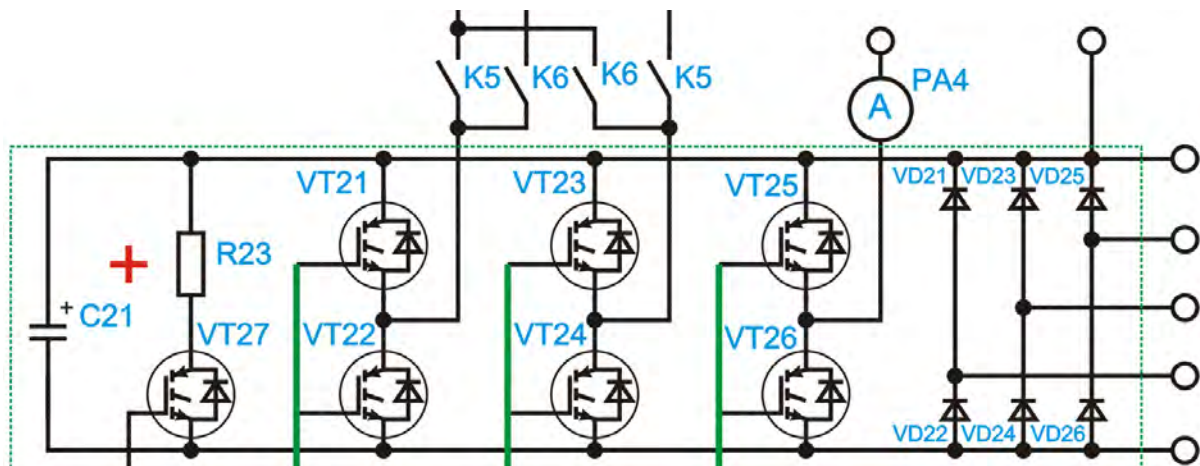


Рисунок 7.3 – Схема силовой части трехфазного ШИП

Симметричный режим:

- выходное нулевое напряжение соответствует скважности 127 при диапазоне скважности 0..255, соответствует изменению напряжения – $U_{max}..+U_{max}$;

- большие пульсации выходного тока, однако, при этом ток носит непрерывный характер;

- возможность работы в режиме рекуперативного торможения во всем диапазоне скоростей. Рекуперация тока осуществляется за счет ЭДС самоиндукции.

4.2 Исследовать работу трехфазного широтно-импульсного преобразователя на активную нагрузку.

4.2.1 Собрать схему подключения трехфазного широтно-импульсного преобразователя к сети переменного тока (рисунок 7.4)

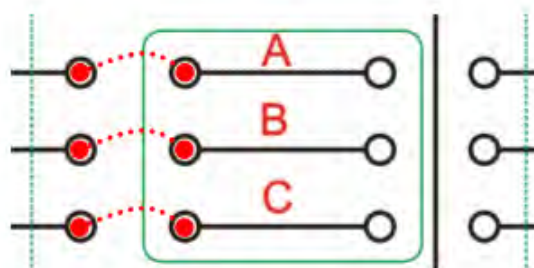


Рисунок 7.4 – Схема подключения трехфазного широтно-импульсного

преобразователя к сети переменного тока

4.2.2 Собрать схему подключения напряжения задания для ШИП (рисунок 7.5)

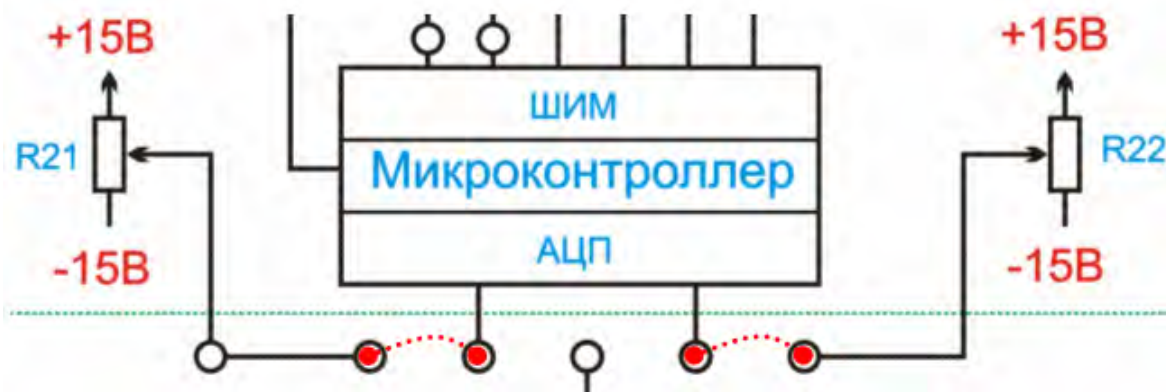


Рисунок 7.5 – Схема подключения задания для ШИП

4.2.3 Собрать схему подключения активной нагрузки на выход трехфазного широтно-импульсного преобразователя (рисунок 7.6).

4.2.4 Подключить стенд к трехфазной сети. Включить три автоматических выключателя, расположенных в левой нижней части стенда – надпись «Сеть». Перед включением стенда необходимо убедиться, что все тумблеры, управляющие включением преобразователей, находятся в положении «выключено», а также на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта перемычки.

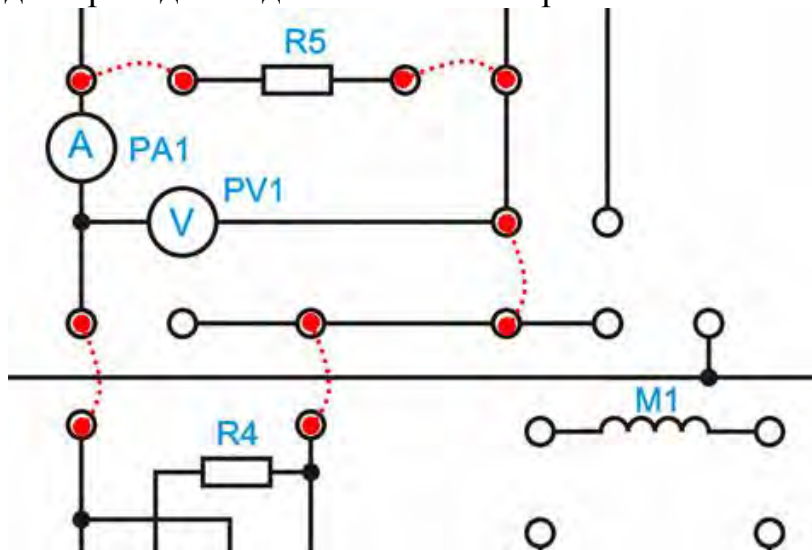


Рисунок 7.6 – Схема подключения активной нагрузки на выход трехфазного широтно-импульсного преобразователя

4.2.5 Подключить релейно-контакторную схему управления (включить тумблер SA70).

4.2.6 С помощью магнитного пускателя K5 подключить ШИП, нажав кнопку SB74.

4.2.7 Задать режим работы широтно-импульсного преобразователя

симметричный, для этого установить тумблер в положение «Симметр.» (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (якорь), %.»).

4.2.8 Включить широтно-импульсный преобразователь (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (якорь), %.» перевести в положение «Вкл.»).

4.2.9 Измерить среднее значение выпрямленного напряжения на выходе широтно-импульсного преобразователя (по вольтметру PV1), изменяя скважность ШИПа от 0 до 100 % (с помощью резистора задания R21 в окошке «Скважность (якорь), %.»). Данные занести в таблицу 7.1.

4.2.10 По завершении исследования вывести резистор R21 в начальное положение, выключить ШИП (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (якорь), %.» перевести в положение «Выкл.»), отключить автоматические выключатели, расположенные в левой нижней части стенда – надпись «Сеть».

4.3 Исследовать работу трехфазного широтно-импульсного преобразователя на двигательную нагрузку.

4.3.1 Собрать схемы в соответствии с п. 4.2.1 и п. 4.2.2, или, при собранной схеме, убедиться в правильности подключения трехфазного широтно-импульсного преобразователя к питающей сети (см. рисунок 7.4) и напряжения задания (см. рисунок 7.5).

3.3.2 Собрать схему подключения якоря двигателя и обмотки возбуждения к ШИП (рисунок 7.7).

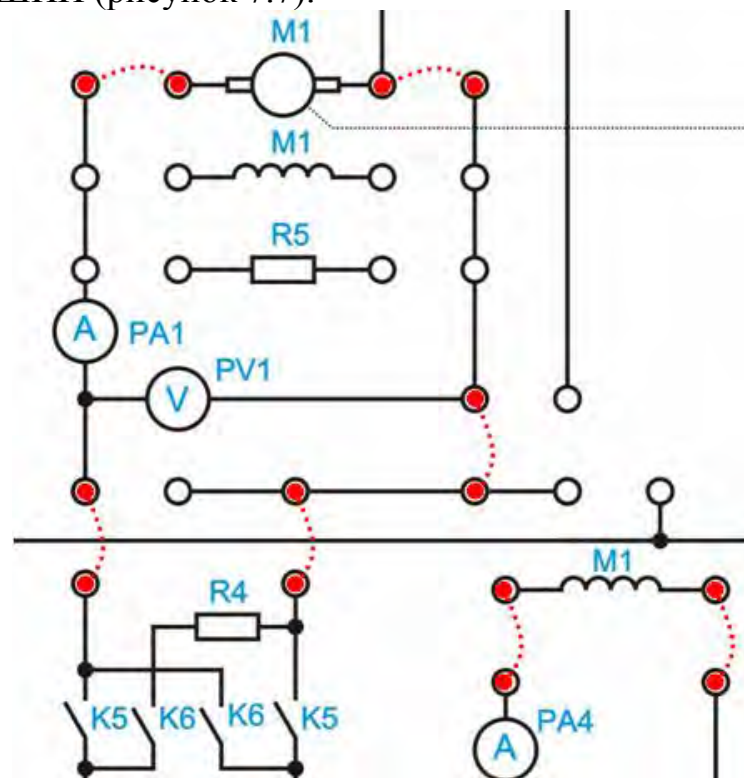


Рисунок 7.7 – Схема подключения якоря и обмотки возбуждения ДПТ НВ к ШИП

4.3.3 Подключить стенд к трехфазной сети (включить три автоматических выключателя, расположенных в левой нижней части стенда –

надпись «Сеть»). Перед включением стенда необходимо убедиться, что все тумблеры, управляющие включением преобразователей, находятся в положении «выключено», а также на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки.

4.3.4 Подключить релейно-контакторную схему управления (включить тумблер SA70).

4.3.5 С помощью магнитного пускателя К5 подключить ШИП, нажав кнопку SB74.

4.3.6 Включить ШИП возбуждения (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (возбуждение), %») и резистором R22 установить номинальный ток возбуждения ДПТ НВ равный 0,18 А по прибору РА4.

4.3.7 Задать режим работы широтно-импульсного преобразователя несимметричный, для этого установить тумблер в положение «Симметр.» (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (якорь), %.»).

4.3.8 Включить широтно-импульсный преобразователь (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (якорь), %.» перевести в положение «Вкл.»).

4.3.9 Измерить среднее значение выпрямленного напряжения на выходе широтно-импульсного преобразователя (по вольтметру PV1), изменяя скважность ШИПа от 0 до 100 % (с помощью резистора задания R21 в окошке «Скважность (якорь), %.»). Данные занести в таблицу 7.1.

4.3.10 По завершении исследования вывести резистор R21 в начальное положение, выключить ШИП (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (якорь), %.» перевести в положение «Выкл.»), отключить автоматические выключатели, расположенные в левой нижней части стенда – надпись «Сеть»

4.4 После проведения экспериментальных исследований (см. п.4.2 и 4.3) по данным таблицы 7.1 построить регулировочные характеристики трехфазного широтно-импульсного преобразователя при его работе на активную нагрузку и двигательную для симметричного режима работы ШИП.

Таблица 7.1 – Результаты исследований регулировочных характеристик ШИПа

Нагрузка	Регулировочная характеристика ШИПа						
	Активная	$\gamma, \%$					
U_{CP}, B							
I_{CP}, A							
Двигательная	$\gamma, \%$						
	U_{CP}, B						
	I_{CP}, A						

5 Содержание отчета

5.1 Название лабораторной работы и ее цели.

5.2 Схема силовой части трехфазного ШИП .

5.3 Таблица 7.1, заполненная по результатам опытов.

5.4 Регулировочные характеристики трехфазного ШИП при его работе на активную нагрузку и двигательную нагрузку при симметричном режиме работы.

5.5 Выводы о проделанной работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Сформулировать определение регулировочной характеристики вентильного преобразователя.

6.2 Дайте определение скважности. В каких пределах изменяется скважность при симметричном и несимметричном управлении ШИП?

6.3 Поясните принцип работы широтно-импульсного преобразователя при симметричном управлении транзисторами.

6.4 Приведите достоинства и недостатки широтно-импульсного преобразователя, как силового статического преобразователя энергии для привода постоянного тока.

Литература

1 Преображенский, В.И. Полупроводниковые выпрямители/В.И. Преображенский. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.: ил.

2 Москаленко, В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов/ В.В.Москаленко – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.: ил.

3 Основы автоматизированного электропривода: Учеб. пособие для вузов/ М.Г. Чиликин[и др.]. – М.: Энергия, 1974. – 568с.: ил.

4 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.-М.:Издательский дом МЭИ, 2007.

Лабораторная работа №8

Исследование трехфазного мостового ШИП с несимметричным законом управления

1 Цель работы:

- сформировать умение анализировать принцип действия трехфазного мостового ШИП с несимметричным законом управления
- изучить регулировочные характеристики трехфазного ШИП с несимметричным законом управления
- приобрести навыки в сборке и настройке схемы
- изучить безопасные методы работы на лабораторном стенде

2 Оснащение рабочего места:

- лабораторный стенд
- методические указания по выполнению лабораторной работы

3 Теоретические сведения

Широтно-импульсный преобразователь (ШИП) является полупроводниковым статическим преобразователем электрической энергии. ШИП преобразует входное постоянное напряжение питания ($U_{ВХср} = \text{Const}$, $f_{ВХ} = 0$) в постоянное регулируемое напряжение на выходе ($U_{ВЫХср} = \text{Var}$, $f_{ВЫХ} = 0$). Основное назначение широтно-импульсного преобразователя – связать источник постоянного тока с двигателем постоянного тока для регулирования скорости и момента последнего.

Основным назначением полупроводникового преобразователя является регулирование скорости исполнительного двигателя электропривода. В электроприводах постоянного тока это достигается регулированием напряжения на выходе преобразователя.

Упрощённая схема ШИП представлена на рисунке 8.1. Она содержит четыре транзисторных ключа ТК1-ТК4. В диагональ моста, образованного транзисторными ключами, включена нагрузка.

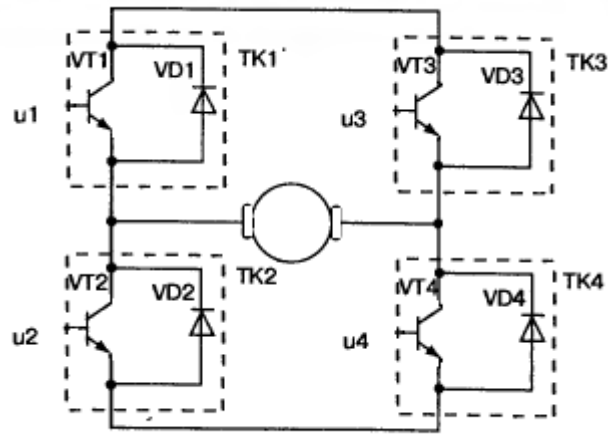


Рисунок 8.1 – Схема транзисторного ШИП

Нагрузкой в приводах постоянного тока является двигатель постоянного тока. Питание ШИП осуществляется от источника постоянного тока, шунтированного конденсатором.

Несимметричное управление представлено на рисунке 8.2. В этом случае переключаются транзисторные ключи фазной группы ТК3 и ТК4 (ключи ТК1 и ТК2 при противоположной полярности входного сигнала), транзисторный ключ ТК1 постоянно открыт и насыщен, а ключ ТК2 постоянно закрыт. Транзисторные ключи ТК3 и ТК4 переключаются в противофазе, обеспечивая протекание тока якоря от противо-эдс двигателя. При этом на выходе ШИП формируются однополярные импульсы и среднее напряжение на выходе равно нулю, когда относительная продолжительность включения одного из нижних по схеме транзисторов $\gamma = 0$.

Недостатком рассмотренного способа управления является то, что верхние по схеме транзисторные ключи (ТК1, ТК3) по току загружены больше, чем нижние. Этот недостаток устранён при поочерёдном управлении, временные диаграммы которого изображены на рисунке 8.2 б.

Здесь при любом знаке входного сигнала в состоянии переключения находятся все четыре транзисторных ключа моста, при этом частота переключения каждого из них в два раза меньше частоты напряжения на выходе. Управляющие напряжения транзисторных ключей одной фазы моста ТК1, ТК2 и ТК3, ТК4 постоянно находятся в противофазе; при этом ключи переключаются через период выходного напряжения T . Этим достигаются одинаковые условия работы полупроводниковых приборов в мостовой схеме.

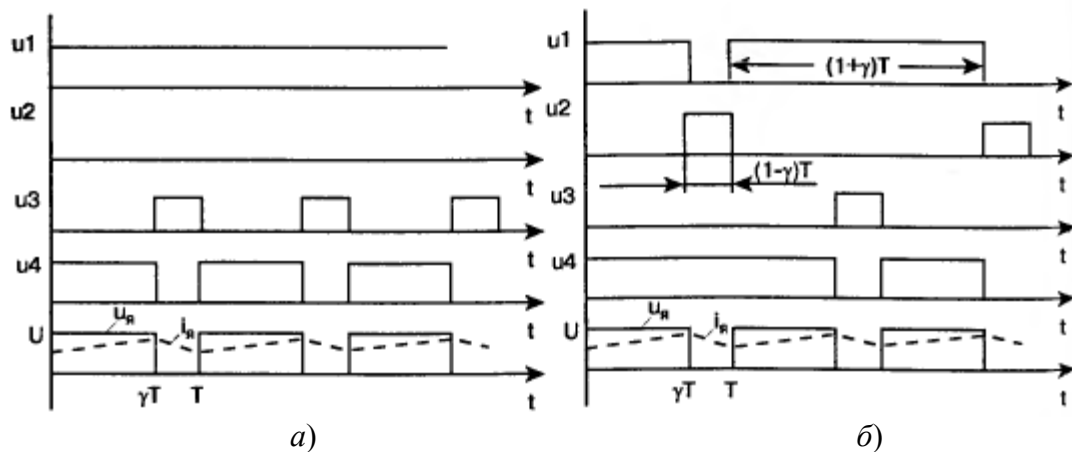


Рисунок 8.2 – Диаграммы поясняющие работу ШИП при несимметричном управлении

При некотором знаке входного сигнала управляющие импульсы u_1, u_4 длительностью $t = (1+\gamma)T$ подаются на диагонально расположенные транзисторные ключи (рисунок 8.2) со сдвигом на полпериода, а управляющие импульсы u_2, u_3 длительностью $t = (1-\gamma)T$, также со сдвигом на полпериода, подаются на транзисторы противоположной диагонали (ТК2, ТК3). В этом случае на интервале нагрузка подключена к источнику питания с помощью диагонально расположенных ключей, а на интервале $(1-\gamma)T$ нагрузка закорочена с помощью верхних или нижних транзисторных ключей. При изменении знака входного сигнала порядок управления диагональными ключами изменяется на противоположный. При поочерёдном управлении на нагрузке формируются однополярные импульсы длительностью T , пропорциональной сигналу на входе.

В настоящее время основными приборами силовой электроники в области коммутируемых токов до 50 А являются биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT); полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET).

В области коммутируемых токов более 50 А основными приборами силовой электроники являются: силовые модули на базе биполярных транзисторов; силовые модули на базе IGBT.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить принцип работы схемы (рисунок 8.3.).

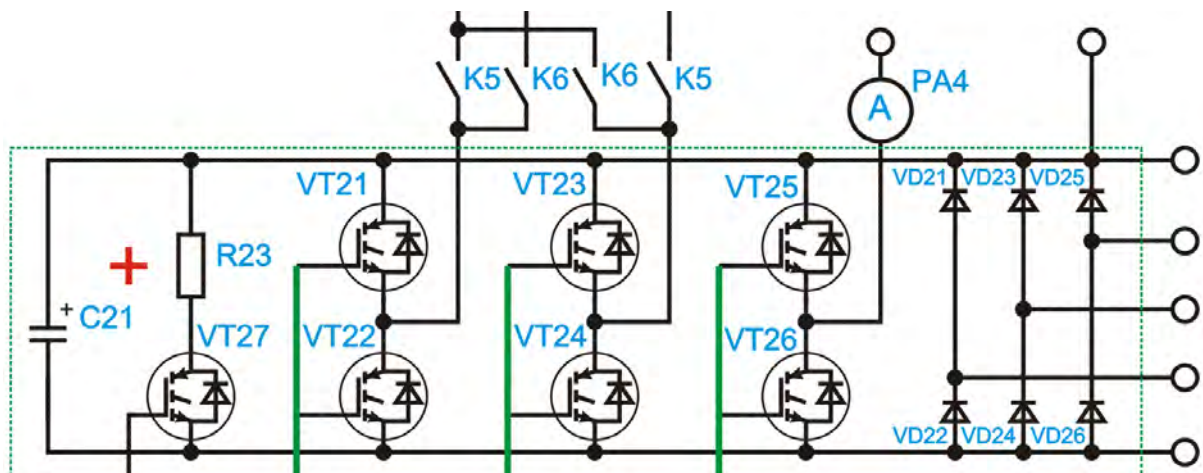


Рисунок 8.3 – Схема силовой части трехфазного ШИП

Несимметричный режим:

- меньшие пульсации выходного тока, однако, при этом возможен режим прерывистого тока;

- режим рекуперативного торможения наступает только при значении противо-ЭДС двигателя больше напряжения в цепи постоянного тока.

Пример алгоритма идеальной работы пары транзисторов “левый верхний – правый нижний”:

- Верхний правый – всегда закрыт.
- Нижний правый – включается в соответствии со скважностью.
- Верхний левый – всегда открыт.
- Нижний левый – всегда закрыт.

Однако, для управления IGBT-транзистором нужно напряжение. Верхний транзистор включается от конденсатора, который нужно периодически заряжать. Поэтому реальная работа левой пары транзисторов имеет следующий вид:

- Нижний левый – открывается на короткие промежутки времени для заряда конденсатора.

- Верхний левый – закрывается на время «открыт нижний транзистор плюс паузы для защиты от токов короткого замыкания»

4.2 Исследовать работу трехфазного широтно-импульсного преобразователя на активную нагрузку.

4.2.1 Собрать схему подключения трехфазного широтно-импульсного преобразователя к сети переменного тока (рисунок 8.4)

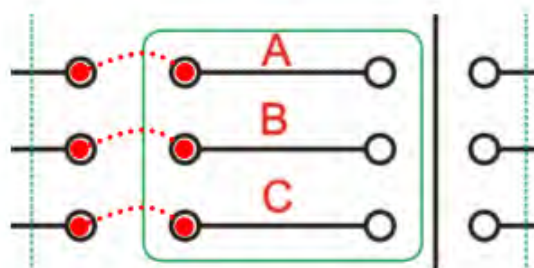


Рисунок 8.4 – Схема подключения трехфазного широтно-импульсного преобразователя к сети переменного тока

4.2.2 Собрать схему подключения напряжения задания для ШИП (рисунок 8.5)



Рисунок 8.5 – Схема подключения задания для ШИП

4.2.3 Собрать схему подключения активной нагрузки на выход трехфазного широтно-импульсного преобразователя (рисунок 8.6).

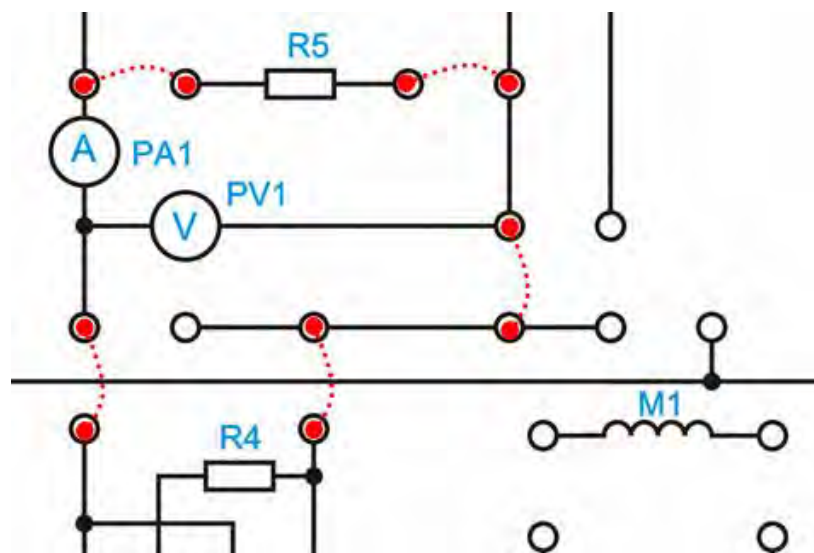


Рисунок 8.6 – Схема подключения активной нагрузки на выход

4.2.4 Подключить стенд к трехфазной сети. Включить три автоматических выключателя, расположенных в левой нижней части стенда – надпись «Сеть». Перед включением стенда необходимо убедиться, что все тумблеры, управляющие включением преобразователей, находятся в положении «выключено», а также на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта перемычки.

4.2.5 Подключить релейно-контакторную схему управления (включить тумблер SA70).

4.2.6 С помощью магнитного пускателя К5 подключить ШИП, нажав кнопку SB74.

4.2.7 Задать режим работы широтно-импульсного преобразователя

несимметричный, для этого установить тумблер в положение «Независ.» (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (якорь), %.»).

4.2.8 Включить широтно-импульсный преобразователь (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (якорь), %.» перевести в положение «Вкл.»).

4.2.9 Измерить среднее значение выпрямленного напряжения на выходе широтно-импульсного преобразователя (по вольтметру PV1), изменяя скважность ШИПа от 0 до 100 % (с помощью резистора задания R21 в окошке «Скважность (якорь), %.»). Данные занести в таблицу 8.1.

4.2.10 По завершении исследования вывести резистор R21 в начальное положение, выключить ШИП (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (якорь), %.» перевести в положение «Выкл.»), отключить автоматические выключатели, расположенные в левой нижней части стенда – надпись «Сеть».

4.3 Исследовать работу трехфазного широтно-импульсного преобразователя на двигательную нагрузку

4.3.1 Собрать схемы в соответствии с п. 4.2.1 и п. 4.2.2, или, при собранной схеме, убедиться в правильности подключения трехфазного широтно-импульсного преобразователя к питающей сети (см. рисунок 8.4) и напряжения задания (см. рисунок 8.5).

4.3.2 Собрать схему подключения якоря двигателя и обмотки возбуждения к ШИП (рисунок 8.7).

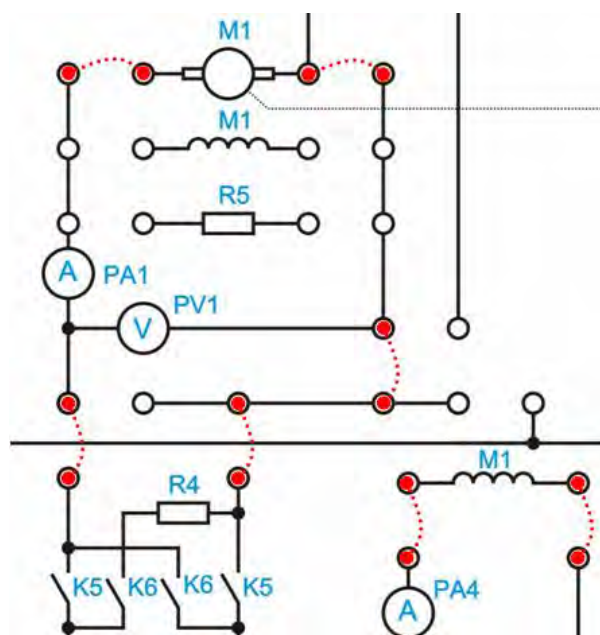


Рисунок 8.7 – Схема подключения якоря и обмотки возбуждения ДПТ НВ к ШИП

4.3.3 Подключить стенд к трехфазной сети (включить три автоматических выключателя, расположенных в левой нижней части стенда – надпись «Сеть»). Перед включением стенда необходимо убедиться, что все тумблеры, управляющие включением преобразователей, находятся в положении «выключено», а также на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки.

4.3.4 Подключить релейно-контакторную схему управления (включить тумблер SA70).

4.3.5 С помощью магнитного пускателя К5 подключить ШИП, нажав кнопку SB74.

4.3.6 Включить ШИП возбуждения (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (возбуждение), %») и резистором R22 установить номинальный ток возбуждения ДПТ НВ равный 0,18 А по прибору РА4.

4.3.7 Задать режим работы широтно-импульсного преобразователя несимметричный, для этого установить тумблер в положение «Независ.» (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (якорь), %.»).

4.3.8 Включить широтно-импульсный преобразователь (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (якорь), %.» перевести в положение «Вкл.»).

4.3.9 Измерить среднее значение выпрямленного напряжения на выходе широтно-импульсного преобразователя (по вольтметру PV1), изменяя скважность ШИПа от 0 до 100 % (с помощью резистора задания R21 в окошке «Скважность (якорь), %.»). Данные занести в таблицу 8.1.

4.3.10 По завершении исследования вывести резистор R21 в начальное положение, выключить ШИП (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (якорь), %.» перевести в положение «Выкл.»), отключить автоматические выключатели, расположенные в левой нижней части стенда – надпись «Сеть»

4.4 После проведения экспериментальных исследований (см. п.4.2 и 4.3) по данным таблицы 8.1 построить регулировочные характеристики трехфазного широтно-импульсного преобразователя при его работе на активную нагрузку и двигательную для симметричного режима работы ШИП.

Таблица 8.1 – Результаты исследований регулировочных характеристик ШИПа

Нагрузка	Регулировочная характеристика ШИПа							
	Активная	$\gamma, \%$						
$U_{CP}, В$								
$I_{CP}, А$								
Двигательная	$\gamma, \%$							
	$U_{CP}, В$							
	$I_{CP}, А$							

5 Содержание отчета

5.1 Название лабораторной работы и ее цели.

5.2 Схема силовой части трехфазного ШИП

5.3 Таблица 8.1, заполненная по результатам опытов.

5.4 Регулировочные характеристики трехфазного ШИП при его работе на активную нагрузку и двигательную нагрузку при несимметричном режиме

работы.

5.5 Выводы о проделанной работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Дайте определение регулировочной характеристике вентильного преобразователя?

6.2 Дайте определение скважности. В каких пределах изменяется скважность при симметричном и несимметричном управлении ШИП?

6.3 Поясните принцип работы широтно-импульсного преобразователя при несимметричном управлении транзисторами.

6.4 Приведите достоинства и недостатки широтно-импульсного преобразователя, как силового статического преобразователя энергии для привода постоянного тока.

Литература

1 Преображенский, В.И. Полупроводниковые выпрямители/В.И. Преображенский. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.: ил.

2 Москаленко, В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов/ В.В.Москаленко – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.: ил.

3 Основы автоматизированного электропривода: Учеб. пособие для вузов/ М.Г. Чиликин[и др.]. – М.: Энергия, 1974. – 568с.: ил.

4 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.-М.:Издательский дом МЭИ, 2007.

Лабораторная работа № 9

Исследование работы преобразователя частоты

1 Цель работы:

- сформулировать умение анализировать принцип действия преобразователя частоты

- приобрести практические навыки работы в программе моделирования электрических цепей ElectronicsWorkbenchv5.12

- исследовать работу преобразователя частоты

2 Оснащение рабочего места:

- методические указания по выполнению лабораторной работы, персональный компьютер, программа ElectronicsWorkbench.

3 Теоретические сведения

Преобразователи частоты используются для преобразования сигнала одной частоты в сигнал другой частоты (промежуточной).

Принцип преобразования частоты сигналов заключается в перемножении двух гармонических колебаний $Y(t) = Y_m \cos \Omega t$ и $X(t) = X_m \cos \omega t$. Результирующее колебание описывается выражением

$$Z(t) = 0,5Y_m X_m (\cos(\Omega - \omega) t + \cos(\Omega + \omega) t) \quad (9.1)$$

Это колебание представляет собой сумму двух колебаний с частотами $(\Omega + \omega)$ и $(\Omega - \omega)$. Выделяя с помощью фильтра ту или иную составляющую выражения (9.1) получим колебание с другой, более низкой или более высокой частотой. Схема преобразователя частоты, реализующая такой алгоритм, показана на рисунке 9.1.

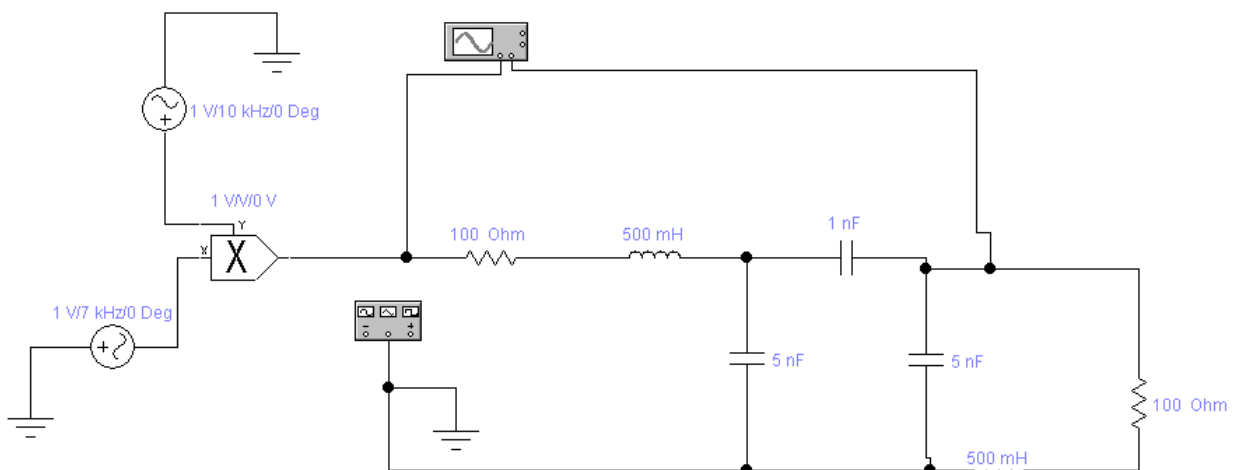


Рисунок 9.1 – Схема преобразователя частоты на библиотечном перемножителе

Схема преобразователя частоты содержит два источника гармонических колебаний $X(t)$ и $Y(t)$, перемножитель с коэффициентом передачи 1, осциллограф, фильтр с резонансной частотой около 3,18 кГц. Поскольку фильтр настроен на 3,18 кГц, то на выходе должна выделяться комбинационная составляющая с такой же частотой. На рисунке 9.2 приведены осциллограммы входного и выходного сигналов.

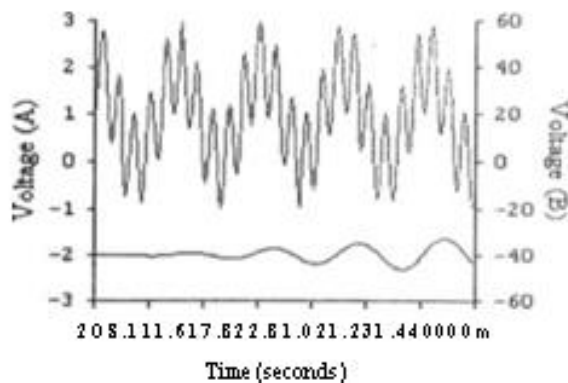


Рисунок 9.2 - Осциллограммы входного и выходного сигналов

4 Порядок выполнения работы

4.1 Собрать схему представленную на рисунке 9.1.

4.2 Установить на осциллографе следующие параметры:

- TIME BASE = 0,1 ms/div;
- CHANNEL A = 1 V/div;
- CHANNEL B = 50 V/div.

Исходные данные необходимые для выполнения работы представлены на схеме (рисунок 9.1).

4.3 Зарисовать полученные осциллограммы входного и выходного сигналов.

4.4 Измерить период сигнала $T_2 - T_1$.

4.5 Определить частоту по формуле

$$f = \frac{1}{T_2 - T_1} \quad (9.2)$$

3.6 Сравнить результаты эксперимента и расчета с исходными данными.

5 Содержание отчета

5.1 Тема и цель лабораторной работы.

5.2 Схема преобразователя частоты на библиотечном перемножителе.

Описание схемы.

5.3 Осциллограммы полученные по результатам эксперимента.

5.4 Расчет частоты по формуле 9.2.

5.3 Выводы по результатам исследований.

6 Контрольные вопросы

- 6.1 Сформулируйте назначения преобразователя частоты.
- 6.2 Опишите принцип действия преобразователя частоты.
- 6.3 Объясните назначение фильтра в схеме.

Литература

1 Гельман, М.В. Преобразовательная техника. Полупроводниковые приборы и элементы микроэлектроники: Учебное пособие/М.В.Гельман.- Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2000.

2 Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.-М.:Издательский дом МЭИ, 2007.

Министерство образования Республики Беларусь
Филиал БНТУ
«Минский государственный политехнический колледж»

СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания для выполнения курсового проекта
по специальности
2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

Разработчик _____ П.В.Шорохова

Рецензент _____ О.А.Метлицкая

Методические указания рассмотрены и
рекомендованы для внедрения в
образовательный процесс на:
-заседании цикловой комиссии спецдисциплин
специальностей 2 - 37 01 05, 2 - 53 01 05
Протокол № _____ от «_____» _____ 201_ _
Председатель комиссии _____ А.Л.Седюкова
-заседании экспертного методического совета
Заседание № _____ от «_____» _____ 201_ _

2016

Содержание

- 1 Цели и задачи курсового проектирования
- 2 Общие положения по выполнению курсового проекта
- 3 Тематика курсового проекта
- 4 Структура курсового проекта
- 5 Организация работы над курсовым проектом

Введение

- 1 Расчет и выбор силовых полупроводниковых приборов (СПП)
 - 1.1 Выбор СПП по току
 - 1.2 Проверка СПП по максимальному току
 - 1.3 Проверка СПП по перегрузочной способности
 - 1.4 Выбор СПП по напряжению
- 2 Расчет и выбор элементов силовой части преобразователя и элементов защиты СПП
 - 2.1 Расчет и выбор силового трансформатора (анодного реактора)
 - 2.2 Расчет и выбор сглаживающего дросселя
 - 2.3 Выбор коммутационной аппаратуры
 - 2.4 Расчет и выбор элементов защиты СПП
- 3 Проектирование структурной схемы СИФУ
- 4 Расчет и выбор элементов СИФУ
 - 4.1 Проектирование устройства синхронизации
 - 4.2 Проектирование генератора опорного напряжения (ГОН)
 - 4.3 Проектирование нуль-органа
 - 4.4 Проектирование формирователя длительности импульсов
 - 4.5 Проектирование распределителя импульсов
 - 4.6 Проектирование выходного формирователя
- 5 Проектирование полной принципиальной схемы преобразователя
- 6 Расчет и построение внешней характеристики преобразователя

Заключение

- 6 Требования к оформлению курсового проекта
- 7 Критерии оценки курсового проекта

Рекомендуемая литература для выполнения курсового проекта

Рекомендуемые ТНПА для выполнения курсового проекта

Приложение А (справочное) Параметры тиристоры и диодов

Приложение Б (справочное) Охлаждители и нагрузочная способность тиристоры и диодов

Приложение В (справочное) Переходные тепловые сопротивления тиристоры

и диодов

Приложение Г (справочное) Расчетные коэффициенты

1 Цели и задачи курсового проектирования

Курсовой проект по учебной дисциплине «Силовая преобразовательная техника» является завершающим этапом изучения учебной дисциплины и является видом самостоятельной творческой учебной деятельности учащихся.

Цель курсового проекта – систематизация, углубление и закрепление теоретических знаний, получаемых при изучении данной дисциплины; осмысление, обобщение, формирование умений и навыков проектной деятельности, её самоанализа и самооценки.

Задачами курсового проекта являются:

- а) ознакомиться с заданием, произвести расчет и выбор силовых полупроводниковых приборов;
- б) выполнить расчет и выбор элементов силовой части преобразователя и элементов защиты СПП;
- в) построить внешнюю характеристику преобразователя и дать качественную оценку;
- г) выполнить разработку структурной схемы СИФУ и дать краткое описание основных функциональных узлов СИФУ;
- д) выполнить расчет и выбор элементов СИФУ;
- е) выполнить анализ выполненной работы по проектированию полупроводникового преобразователя.

2 Общие положения по выполнению курсового проекта

В курсовой работе решают задачи исследовательского, организационного и управленческого характера. В процессе выполнения курсового проекта учащийся решает задачи конструкторского или технологического характера.

Руководство и контроль за ходом выполнения курсового проекта осуществляет преподаватель соответствующей учебной дисциплины за счет учебных часов, предусмотренных на курсовое проектирование учебным планом учреждения образования по специальности.

Темы курсовых проектов и задания по курсовому проектированию разрабатываются преподавателями в соответствии с учебной программой по учебной дисциплине, и обсуждаются на заседании цикловой комиссии.

Задание по курсовому проектированию подписывается преподавателем–руководителем курсового проекта, утверждается председателем цикловой комиссии и выдается учащемуся не позднее, чем за полтора месяца до срока сдачи курсового проекта.

Работа учащихся над выполнением курсовых проектов осуществляется по графику, составленному преподавателем–руководителем курсового проекта для каждой учебной группы. В графике указываются сроки выполнения отдельных разделов курсового проекта. Выполнение отдельных разделов курсового учащимися учебной группы проверяется преподавателем–руководителем курсового проекта на учебных занятиях по курсовому

проектированию.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической (практической) части.

Объем пояснительной записки не должен превышать 30 страниц печатного текста или 60 страниц рукописного текста.

Графическая часть курсового проекта может быть представлена чертежами, схемами, графиками, диаграммами. Объем графической части не должен превышать двух листов формата А1.

Проверку и прием курсового проекта осуществляет преподаватель-руководитель курсового проекта.

Курсовой проект оценивается отметкой в баллах. Учащемуся, который получил по курсовому проекту отметку ниже 4 (четырёх) баллов, преподавателем-руководителем курсового проекта выдается другое задание и устанавливается новый срок для его выполнения. (Правила проведения аттестации учащихся, курсантов при освоении образовательных программ среднего специального образования (Постановление Министерства образования Республики Беларусь 22.07.2011 №106)).

3 Тематика курсового проекта

Для выполнения курсового проектирования учащимся могут предлагаться следующие темы:

- проектирование и расчет управляемого однофазного нулевого преобразователя;
- проектирование и расчет управляемого однофазного мостового преобразователя;
- проектирование и расчет полууправляемого однофазного мостового преобразователя;
- проектирование и расчет управляемого трехфазного мостового преобразователя;
- проектирование и расчет полууправляемого трехфазного мостового преобразователя;
- проектирование и расчет управляемого трехфазного нулевого преобразователя.

Варианты заданий на курсовой проект по дисциплине "Силовая преобразовательная техника" представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Варианты заданий на курсовой проект по дисциплине "Силовая преобразовательная техника"

№ варианта	$P_{ном}, Вт$	$U_{ном}, В$	$n, об/мин$	$\eta, \%$	$R_{Я}, Ом$	$R_{ДП}, Ом$	$J_{д}, Кл\cdot м^2$
Тип 2ПО132МУХЛ4							
1	1,3	110	800	65,5	0,472	0,308	0,038
2	1,3	220	800	66,5	1,88	1,39	0,038
3	1,3	440	800	66,5	9,1	5,3	0,038
4	1,8	110	1000	70	0,346	0,224	0,038
5	1,8	220	1000	64,5	1,38	1	0,038
6	2,8	110	1500	75,5	0,14	0,094	0,038
7	2,8	220	1500	76,5	0,601	0,454	0,038
8	2,8	440	1500	77	2,53	1,58	0,038
9	4,5	110	2200	75,5	0,067	0,049	0,038
10	4,5	220	2240	76,5	0,271	0,204	0,038
11	4,5	440	2240	77	1,08	0,763	0,038
12	5,5	220	3000	83	0,185	0,148	0,038
13	5,5	440	3000	83	0,74	0,486	0,038
Тип 2ПО132МУХЛ4							
14	1,6	110	800	71	0,322	0,27	0,048
15	1,6	220	750	71	1,57	1,06	0,048
16	1,6	440	750	70,5	6,42	4,45	0,048
17	2,2	110	1000	74	0,22	0,196	0,048
18	2,2	220	1000	75,5	0,88	0,64	0,048
19	2,2	440	1000	75,5	3,84	2,66	0,048
20	3,4	110	1500	79	0,12	0,089	0,048
21	3,4	220	1600	81	0,412	0,296	0,048
22	3,4	440	1500	80	1,98	1,38	0,048
23	5,3	110	2200	83,5	0,055	0,039	0,048
24	5,3	220	2200	83,5	0,22	0,196	0,048
25	5,3	440	2240	84,5	0,88	0,64	0,048
26	6,7	220	3000	86	0,12	0,089	0,048
27	6,7	440	3000	86,5	0,518	0,323	0,048

4 Структура курсового проекта

4.1 Расчетно-пояснительная записка

Титульный лист

Задание на курсовой проект(бланк задания выдаётся руководителем курсового проекта)

Введение

1 Расчет и выбор силовых полупроводниковых приборов (СПП)

1.1 Выбор СПП по току

1.2 Проверка СПП по максимальному току

1.3 Проверка СПП по перегрузочной способности

1.4 Выбор СПП по напряжению

2 Расчет и выбор элементов силовой части преобразователя и элементов защиты СПП

2.1 Расчет и выбор силового трансформатора (анодного реактора)

2.2 Расчет и выбор сглаживающего дросселя

2.3 Выбор коммутационной аппаратуры

2.4 Расчет и выбор элементов защиты СПП

3 Проектирование структурной схемы СИФУ

4 Расчет и выбор элементов СИФУ

4.1 Проектирование устройства синхронизации

4.2 Проектирование генератора опорного напряжения (ГОН)

4.3 Проектирование нуль-органа

4.4 Проектирование формирователя длительности импульсов

4.5 Проектирование распределителя импульсов

4.6 Проектирование выходного формирователя

5 Проектирование полной принципиальной схемы преобразователя

6 Расчет и построение внешней характеристики преобразователя

Заключение

Литература

Перечень ТНПА

Приложение А Преобразователь. Схема электрическая принципиальная.

Перечень элементов

4.2 Графическая часть

Графическая часть проекта представлена следующими форматами:

1 Преобразователь. Схема электрическая принципиальная – формат А2;

2 Схема структурная СИФУ - формат А3;

3 Характеристика внешняя преобразователя – формат А3.

5 Организация работы над курсовым проектом

5.1 Расчетно-пояснительная записка

Учащийся кратко, ясно и последовательно излагает содержание проекта в соответствии со структурой курсового проекта, приведенной в пункте 4, и с настоящими методическими указаниями.

Введение

Во Введение указываются цели и задачи курсового проекта; даётся анализ задания на проектирование, из которого вытекают конкретные проектировочные задачи; указываются предполагаемые результаты проектировочной деятельности

Во введении должны быть отражены следующие моменты:

- название темы курсового проекта (по заданию), согласно варианту, указанному в задании;
- дать обоснование применения преобразователей;
- указать преимущества полупроводниковых преобразователей;
- на основании выданного задания обосновать принцип построения разрабатываемой схемы выпрямителя (оформить в виде рисунка);
- привести описание полученной электрической принципиальной схемы преобразователя;
- технические характеристики электродвигателя (ЭД) (по заданию руководителя курсового проекта).

Технические характеристики ЭД оформить в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Технические характеристики ЭД (указать тип ЭД по заданию)

Название параметра	Обозначение, размерность	Значение параметра

6 Требования к оформлению курсового проекта

6.1 Расчетно-пояснительная записка

Пояснительная записка (ПЗ) должна быть выполнена печатным (14пт) или рукописным (четким почерком) способами на листах формата А4 (210x297) в соответствии с требованиями Единой Системы Конструкторской документации (ЕСКД). На каждом листе обязательна внешняя рамка (слева - 20 мм, справа, сверху и снизу - 5 мм) с надписью, в которой приводится нумерация листов и шифр:

КП ХХХХб.ХХ.00.00.000 ПЗ,

где КП - курсовой проект;

ХХХХб - шифр группы;

ХХ - номер темы индивидуального задания курсового проекта по заданию, выданном преподавателем на группу;

ПЗ — пояснительная записка.

После титульного листа (лист 1) подшивается заполненное задание на курсовой проект (лист 2), подписанное руководителем проекта и утвержденное председателем цикловой комиссии. После задания следует Содержание курсового проекта, на данном листе (по нумерации лист 3) делается основная надпись, заполняемая черными чернилами по существующим правилам и содержащая, в частности, шифр, общее количество листов, тему проекта, группу и подпись исполнителя проекта. Далее листы в записку подшиваются в строгом соответствии с содержанием. Каждый раздел ПЗ начинается с нового листа. Содержание ПЗ должно быть логичным, кратким, исключая возможность двоякого толкования.

Соблюдение правил орфографии и синтаксиса обязательно. Сокращение слов в тексте и подписях не допускается.

ПЗ должна содержать схемы, графики, таблицы и т.д, которые отражают ход и результаты этапов проектирования. Каждая таблица или рисунок должны иметь название и нумероваться в пределах раздела. В тексте на них производятся ссылки.

Формулы нумеруются арабскими цифрами в пределах раздела справа в круглых скобках, т.е. номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенного точкой. Значение символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой, согласно ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам».

Ссылка на литературу дается в прямоугольных скобках.

6.2 Графическая часть

Форматом чертежа называют размер обрезанного листа бумаги, на котором выполнен чертеж (таблица 3).

Таблица 3- Размеры сторон основных форматов

Обозначение формата	A0	A1	A2	A3	A4
Размеры сторон формата, мм	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297

Чертежи курсового проекта выполняют на одном листе формата А1. Листы формата А1 можно делить (не разрезая) на более мелкие форматы А2 и А3, разграничивая их тонкими линиями обреза или делительными штрихами длиной 10 мм, наносимыми на углах выделяемых форматов. Внутри форматов проводят рамку, оставляя с трех сторон поля шириной 5 мм, а с четвертой стороны, которой чертеж может вставляться в корешок при брошюровании, - поле шириной 25 мм.

Схемы выполняют без соблюдения масштаба. Всем чертежам присваивается функциональный номер, определенный по классификации ЕСКД.

Размещение схемы производится таким образом. Чтобы вся схема занимала не менее 75% от всей площади формата.

На структурной схеме изображают все основные функциональные части СИФУ и основные взаимосвязи между ними.

Функциональные части на схеме изображают в виде прямоугольника или условных графических обозначений.

Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в изделии. На линиях взаимосвязей рекомендуется стрелками обозначать направление хода процессов, происходящих в изделии. На схеме должны быть указаны наименования каждой функциональной части изделия, если для ее обозначения применен прямоугольник.

Размеры элементов принципиальной схемы выполняются, согласно требованиям соответствующих стандартов ЕСКД.

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы и т.п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

7 Критерии оценки курсового проекта

Разрабатываются в соответствии с Десятибалльной шкалой и показателями оценки результатов учебной деятельности обучающихся в учреждениях среднего специального образования (постановление Министерства образования Республики Беларусь от 29.03.2004 № 17).

При оценивании результатов курсового проектирования учитываются следующие моменты:

- своевременность выполнения разделов курсового проекта, согласно календарному графику (20 часов аудиторных занятий) и методическим указаниям по курсовому проектированию;
- текущие оценки по курсовому проектированию (правильность и самостоятельность разработок);
- соблюдение требований стандартов ЕСКД и другой нормативно-технической документации при оформлении пояснительной записки и графической части курсового проекта;
- качество выполнения графической части курсового проекта;
- дополнительные творческие разработки, не предусмотренные содержанием курсового проекта;
- доклад учащегося о выполненной работе при защите курсового проекта (умение представить выполненную разработку, владение техническим языком при обосновании принятых решений);
- умение приводить аргументированные ответы на вопросы по теме курсового проекта при защите.

Балл	Критерии оценки
1 (один)	Узнавание отдельных объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (частичное воспроизведение учебного материала; трудности в применении знаний и умений; оперирование только отдельными вопросами программного материала; наличие существенных ошибок в ответах, которые учащийся не может исправить даже с помощью педагога; в ответах прослеживается постоянное нарушение смысловой целостности, и последовательности основной мысли. Пояснительная записка выполнена не в полном объеме; имеются орфографические ошибки, отклонения от стандартов оформления, неаккуратность, множественные ошибки в расчётах, построении графиков, описании процессов. Решения выбраны нерационально, недостаточная работа с литературой. Графическая и реальная части не выполнены или выполнены частично; в чертежах допущены грубые ошибки по оформлению; отклонения от ЕСКД, неаккуратность. В реальной части отсутствуют необходимые разрезы. Содержание и основная цель КП не раскрыты. Доклад изложен безграмотно, отсутствует перечисление этапов выполнения работы; допущены множественные ошибки в использовании специальных

	терминов и определений. Аргументация принятых решений и выводы отсутствуют).
2 (два)	Различие объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (фрагментальное воспроизведение учебного материала; трудности в применении знаний и умений; оперирование только отдельными вопросами программного материала; наличие существенных ошибок в ответах, которые учащийся не может исправить даже с помощью педагога; в ответах прослеживается постоянное нарушение смысловой целостности, и последовательности основной мысли. Пояснительная записка выполнена не в полном объеме; имеются орфографические ошибки, отклонения от стандартов оформления, неаккуратность, множественные ошибки в расчётах, построении графиков, описании процессов. Решения выбраны нерационально, недостаточная работа с литературой. Графическая и реальная части выполнены частично; в чертежах допущены грубые ошибки по оформлению; отклонения от ЕСКД, неаккуратность. В реальной части отсутствуют необходимые разрезы. Содержание и основная цель КП не раскрыты. Доклад изложен безграмотно, отсутствует перечисление этапов выполнения работы; допущены множественные ошибки в использовании специальных терминов и определений. Аргументация принятых решений и выводы отсутствуют). Осуществление соответствующих практических действий.
3 (три)	Воспроизведение части программного материала, по памяти (неполное фрагментальное воспроизведение учебного материала; затруднения в применении знаний и умений; оперирование только отдельными вопросами программного материала; наличие существенных ошибок в ответах, которые учащийся не может исправить даже с помощью педагога в ответах прослеживается постоянное нарушение смысловой целостности и последовательности основной мысли. Пояснительная записка выполнена не в полном объеме; имеются орфографические ошибки, отклонения от стандартов оформления, неаккуратность, множественные ошибки в расчётах, построении графиков, описании процессов. Решения выбраны нерационально, недостаточная работа с литературой. Графическая и реальная части выполнены не в полном объеме; листы заполнены нерационально; в чертежах допущены грубые ошибки по оформлению отклонения от ЕСКД, неаккуратность. В реальной части отсутствуют необходимые разрезы. Содержание и основная цель КП частично раскрыты. Доклад изложен безграмотно, отсутствует даже элементарное перечисление этапов выполнения работы; допущены множественные ошибки в использовании специальных терминов и определений. Аргументация принятых решений и выводы отсутствуют).

	Осуществление умственных и практических действий по образцу.
4 (четыре)	<p>Воспроизведение большей части программного учебного матери; (затруднения в применении знаний, умений, терминологии; проявлен волевых усилий при решении поставленной задачи, ситуативное проявление ответственности, самокритичности. Текст и расчёты в пояснительной записке выполнены в соответствии с заданием, в полном объёме; имеются ошибки в расчётах, построении графиков, описан процессов, орфографические ошибки, небольшие отклонения от правил оформления, неаккуратность. Ошибки не лишают смысла результата работы. Прослеживается недостаточная работа с нормативными документами. Графическая и реальная часть выполнены в полном объёме; листы заполнены нерационально; в чертежах допущены грубые ошибки оформлению; нет обоснованности технических решений. В реальной час отсутствуют необходимые разрезов, а также имеются существенные замечания по качеству выполнения. Содержание и основная цель раскрыты частично; есть нарушение в логике и в последовательное изложения содержания ПЗ; прослеживаются затруднения в умении выделить главное и второстепенное при обобщении материала, аргументации принятых в проекте решений; доклад сведен к простому перечислению этапов выполнения работы, допускается множественное неправильное использование терминологии). Применение знаний знакомой ситуации по образцу; наличие единичных существенных ошибок.</p>
5 (пять)	<p>Осознанное воспроизведение большей части программного учебного материала (воспроизведение учебного материала с небольшим количеством ошибок; воспроизведение знаний по отдельным вопросам и умение использовать знания при решении типовых практических заданий с незначительной помощью педагога; стремление правильно использовать усвоенную терминологию, анализировать и делать выводы. Текст и расчеты в пояснительной записке выполнены в соответствии с заданием, в полном объёме; имеются неточности в расчетах, графиках, процессах; небольшие отклонения от правил оформления; недостаточная обоснованность принятых методов и способов производства работ, машин и механизмов. Графическая часть выполнены в полном объёме и соответствует заданию; в чертежах и спецификациях допущены грубые ошибки по оформлению; недостаточная обоснованность принятых решений. В реальной части частично отсутствуют необходимые разрезы, а также имеются замечания по качеству выполнения. Содержание и цель КП в основном раскрыты; есть перестановки, пропуски, небольшие нарушения в логике изложения содержания ПЗ; язык сухой, маловыразительный; прослеживаются затруднения в</p>

	<p>умении выделить главное и второстепенное при обобщении материала, аргументации принятых решений; доклад сведён к простому перечислению этапов выполнения работы, допускается неправильное использование терминологии). Применение знаний в знакомой ситуации по образцу; наличие несущественных ошибок.</p>
6 (шесть)	<p>Полное знание и осознанное воспроизведение всего программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (в основном демонстрируется правильное использование специальных терминов и определений; воспроизведение знаний по отдельным вопросам с помощью педагога; стремление самостоятельно преодолеть затруднения, ситуативное проявление стремления к творчеству. Текст и расчёты пояснительной записки выполнены в соответствии с заданием, в полном объёме, грамотно, аккуратно, самостоятельно. Имеются небольшие недоработки, неточности в описании процессов (общий характер пояснений, неконкретность материала, недостаточная работа со справочной литературой). Графическая часть выполнена в соответствии с заданием и в полном объёме; чертежи соответствуют ЕСКД, однако отсутствуют некоторые размеры, допуски, нет справочных размеров, отсутствуют обозначения и т.д. Реальная часть выполнена на хорошем уровне, однако имеются замечания по качеству выполнения. Содержание и основная цель проекта в основном раскрыты; соблюдена в целом логика и последовательность в кратком изложении содержания ПЗ; язык сухой, недостаточно образный; в докладе присутствует характеристика главных и второстепенных вопросов КП; принятые в проекте решения аргументированы, сделаны выводы; отдельные принятые решения обоснованы недостаточно убедительно; в отдельных случаях допускается неправильное использование терминологии). Наличие несущественных ошибок.</p>
7 (семь)	<p>Полное, прочное знание и воспроизведение программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (проявление умения выделить в ответе главное и второстепенное; умение анализировать, сопоставлять полученные результаты; знание специальных терминов и определений; наличие единичных несущественных ошибок. Текст и расчёты в ПЗ выполнены в соответствии с заданием, в полном объёме, грамотно; вопросы проекта соединены в единую логическую верную последовательность; работа только с программными источниками информации; имеются небольшие единичные неточности в описании процессов; недостаточная работа со справочной литературой; расчёты выполнены, верно, аккуратно, самостоятельно. Графическая часть выполнена в соответствии с заданием и в</p>

	<p>заданном объеме; чертежи соответствуют ЕСКД, однако, имеются ошибки в оформлении (отсутствие некоторых размеров, условных обозначений, сокращение текста, неверное оформление технических требований к узлу и т.д.). Реальная часть выполнена на высоком уровне однако имеются замечания по качеству выполнения. Содержание и основная цель проекта раскрыты; доклад изложен достаточно последовательно, грамотно с выделением главных моментов; принятые в проекте решения аргументированы, сделаны выводы; отдельные принятые решения обоснованы недостаточно убедительно; в отдельных случаях допускается неправильное использование терминологии). Наличие единичных несущественных ошибок.</p>
<p>8 (восемь)</p>	<p>Полное, прочное, глубокое знание и воспроизведение программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом знакомой ситуации (оперативное использование знаний и умений при ответе на типовые вопросы и вопросы проблемного характера; знание специальных терминов и определений, с несущественными ошибками; умение обосновывать, анализировать, сопоставлять полученные результаты, формулировать выводы; наличие единичных несущественных ошибок, самостоятельно исправляемых учащимся в процессе ответа. Текст и расчеты ПЗ выполнены в соответствии с заданием, в полном объеме грамотно; вопросы проекта соединены в единую логически верную последовательность; работа только с программными источниками информации; имеются несущественные ошибки и неточности в оформлении, правописании, последовательности операций, которые носят случайный характер. Графическая часть выполнена в соответствии с заданием и в заданном объеме; чертежи соответствуют ЕСКД, однако имеются ошибки в оформлении (отсутствие некоторых размеров условных обозначений, сокращение текста, неверное оформление технических требований к узлу и т.д.). Реальная часть выполнена на высоком уровне. Содержание и основная цель проекта раскрыты; доклад изложен последовательно, логично, грамотно; в основном кратко выделено главное и дана аргументация принятых в проекте решений; сделаны выводы). Наличие единичных несущественных ошибок.</p>
<p>9 (девять)</p>	<p>Полное, прочное, глубокое системное знание программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в частично измененной ситуации (текст и расчёты ПЗ выполнены в соответствии с заданием, в полном объеме, грамотно; вопросы проекта соединены в единую логически верную последовательность. Работа только с программными источниками информации; имеют место отдельные несущественные недоработки. Графическая часть выполнена в</p>

	<p>строгом соответствии с ЕСКД; несущественные ошибки в оформлении чертежей и спецификации; графика на высоком уровне. Реальная часть выполнена грамотно и аккуратно. Содержание и основная цель проекта раскрыты полностью; кратко выделено главное с высокой степенью обобщения; доклад изложен последовательно, логично, грамотно; сделаны аргументированные выводы).</p>
<p>10 (десять)</p>	<p>Свободное оперирование программным учебным материалом; применение знаний и умений в незнакомой ситуации (продемонстрирован высокий уровень эрудиции, свободное безукоризненное оперирование учебным материалом технически грамотным языком; умение логично, доказательно, аргументировано излагать ответ, отвечать на нестандартные (проблемные) вопросы, обосновывать собственное мнение, оперативно, творчески использовать знания для решения проблемных ситуаций, анализировать и сопоставлять конкретные результаты. Текст и расчёты ПЗ выполнены в соответствии с заданием, в полном объёме, грамотно; вопросы проекта соединены в единую логически верную последовательность; знания закреплены и углублены самостоятельным подбором дополнительных источников информации и их детальной обработкой. Ошибки, неточности отсутствуют. Графическая часть выполнена в заданном объёме в строгом соответствии с ЕСКД и на высоком уровне. Реальная часть выполнена грамотно и аккуратно. Продемонстрирована высокая степень полноты и обобщения содержания и основной цели курсового проекта; изложение доклада краткое, последовательное, логичное; язык грамотный, выразительный, образный; выводы аргументированы, доказательны с использованием конкретных цифр; выделены отличительные черты проекта).</p>

Рекомендуемая литература для выполнения курсового проекта

- 1 Чебовский, О. Г. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник / О. Г. Чебовский, Л. Г. Моисеев, Р. П. Недошивин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985
- 2 Замятин, В.Я. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: справочник / В. Я. Замятин, Б. В. Кондратьев. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 576с.: ил.
- 3 Руденко, В. С. Преобразовательная техника. – 2-е изд. перераб. и доп./ В.С. Руденко, В.И.Сенько, И.М. Чиженко. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983.
- 4 Резисторы. Конденсаторы. Трансформаторы. Коммутационные устройства. РЭА: справочник / Н.Н. Акимов [и др.]. - Минск: Беларусь.1994.
- 5 Елкин, В.Д. Электрические аппараты. / В.Д. Елкин, Т.В.Елкина.- Минск: Дизайн ПРО, 2003
- 6 Кисаримов, Р.А. Справочник электрика. /Р.А. Кисаримов - Патриот, 1991.
- 7 Гусев, В. Г. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.Г.Гусев, Ю.М. Гусев. – М.; Высш. шк. 1991.
- 8 Булычев, А.Л. Аналоговые интегральные схемы: справочник / А.Л. Булычев [и др.]– Минск: Беларусь, 1985.
- 9 Богданович, М.И. Цифровые интегральные микросхемы: справочник / М.И. Богданович [и др.] – Минск: Беларусь, 1992.

Рекомендуемые ТНПА для выполнения курсового проекта

ГОСТ 2.105 – 95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.701 – 2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

ГОСТ 2.702 – 2011 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.

ГОСТ 2.710 – 81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.

ГОСТ 2.721 – 74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.

ГОСТ 2.723 – 68 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители.

ГОСТ 2.727 – 68 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Разрядники, предохранители.

ГОСТ 2.728 – 74 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Резисторы, конденсаторы.

ГОСТ 2.730 – 73 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Приборы полупроводниковые.

ГОСТ 2.755 – 87 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения.

Приложение А
(справочное)

Параметры тиристоров и диодов

Таблица А1 – Предельно допустимые значения параметров тиристоров

Параметр	T112-10	T122-20	T132-40	T142-63
	T112-16	T122-25	T132-50	T142-80
1	2	3	4	5
Повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии U_{DRM} , В	100-1200			
Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии I_{TAVm} , А	10 16	20 25	40 50	63 80
Ударный неповторяющийся ток в открытом состоянии I_{TSM} , кА	0,16 0,22	0,33 0,38	0,82 0,90	1,30 1,50
Максимально допустимая температура перехода T_{jm} , °С	125			
Пороговое напряжение $U_{T(TO)}$, В	1,25	1,15	1,05	0,95
	1,20	1,10	1,03	0,93
Дифференциальное сопротивление в открытом состоянии r_T , мОм	29,3	17,2	5,6	4,1
	11,9	10,9	4,6	3,3
Повторяющийся импульсный ток в закрытом состоянии I_{DRM} , мА	2,5	3,0	5,0	6,0
	3,0	3,0	6,0	6,0
Тепловое сопротивление переход-корпус R_{thjc} , °С/Вт	1,8	0,90	0,62	0,40
	1,50	0,80	0,50	0,30

Таблица А2 – Предельно допустимые значения параметров диодов

Параметр	Д112-10	Д122-32	Д132-50
	Д112-16	Д122-40	Д132-63
1	2	3	4
Повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии U_{RRM} , В	100-1400		
Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии I_{FAVm} , А	10	32	50
	16	40	63
	25		80
Ударный неповторяющийся ток в открытом состоянии I_{FSM} , А	230	440	1100
	270	550	1200
	330		1320

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4
Максимально допустимая температура перехода T_{jm} , °C	190		
Пороговое напряжение $U_{(TO)}$, В	0,9	0,85	0,83
Дифференциальное сопротивление в открытом состоянии r_T , мОм	17,5	5,0	3,6
	10,5	4,0	2,8
	6,1		2,1
Повторяющийся импульсный обратный ток I_{RRM} , мА	1,0	6,0	8,0
	1,5		8,0
	4,0		10
Тепловое сопротивление переход-корпус R_{thjc} , °C/Вт	3,0	1,3	0,8
	2,5	1,0	0,72
	2,0		0,5

Приложение Б (справочное)

Охладители и нагрузочная способность тиристоров и диодов

Таблица Б1 – Рекомендуемые охладители и нагрузочная способность
тиристоров

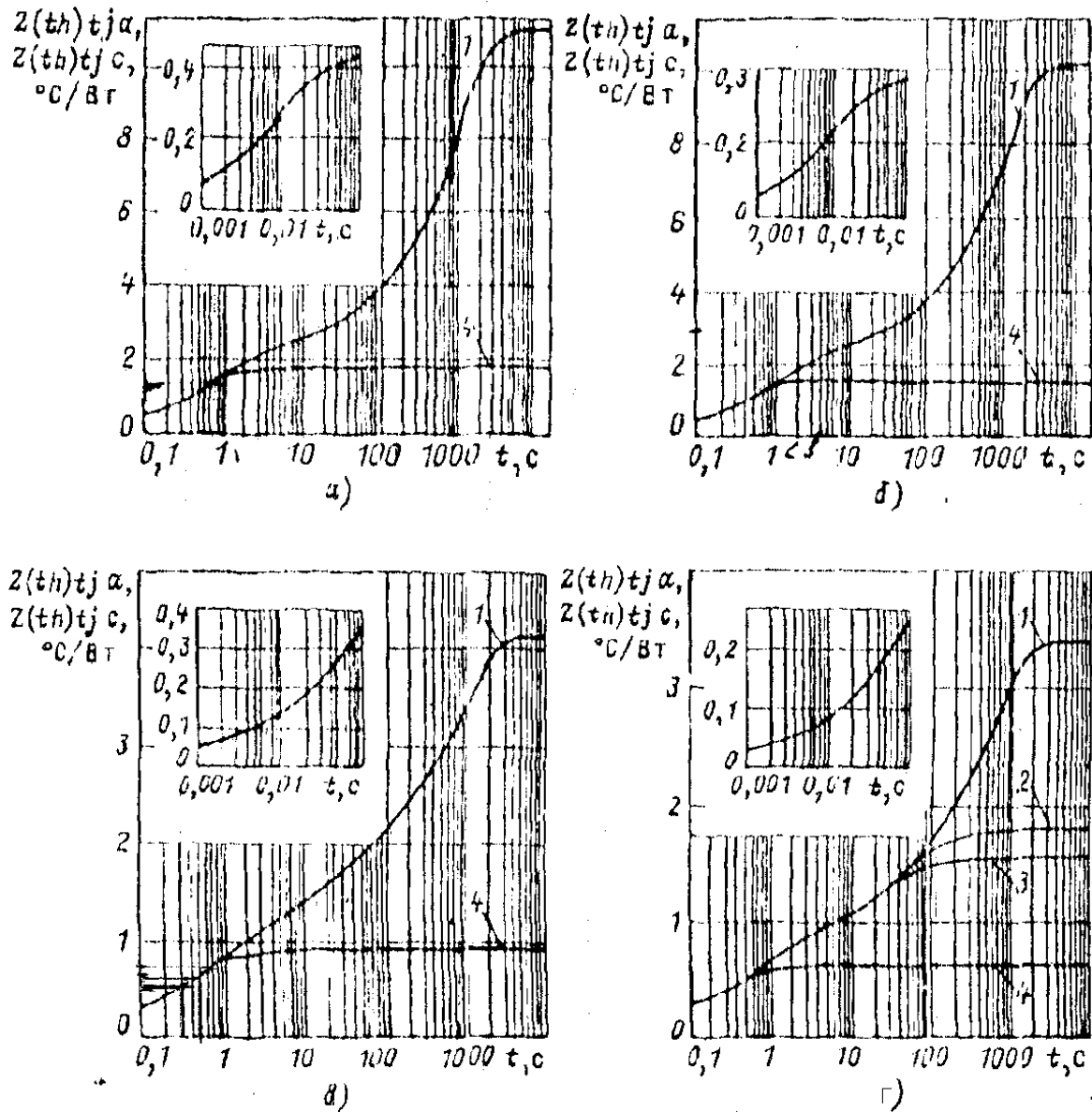
Тип тиристора	Тип охладителя	I_{TAVm} , А, при $T_a = 40^\circ\text{C}$		R_{thch} , $^\circ\text{C}/\text{Вт}$
		Естественное охлаждение	Скорость воздуха бм/с	
T112-10 T112-16	O111-60	4 6	- -	0,20
T122-20 T122-25	O221-60	12 14	- -	
T132-40 T132-50	O231-80	19 21	35 39	
T142-63 T142-80	O241-80	24 27	44 50	

Таблица Б2 – Рекомендуемые охладители и нагрузочная способность
диодов

Тип тиристора	Тип охладителя	I_{FAVm} , А, при $T_a = 40^\circ\text{C}$ и естественном охлаждении	R_{thch} , $^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Д112-10 Д112-16 Д112-25	O111-60	7 10 15	0,30
Д122-32 Д122-40	O221-60	17 21	0,20
Д132-50 Д132-63 Д132-80	O231-80	26 33 40	0,20

Приложение В (справочное)

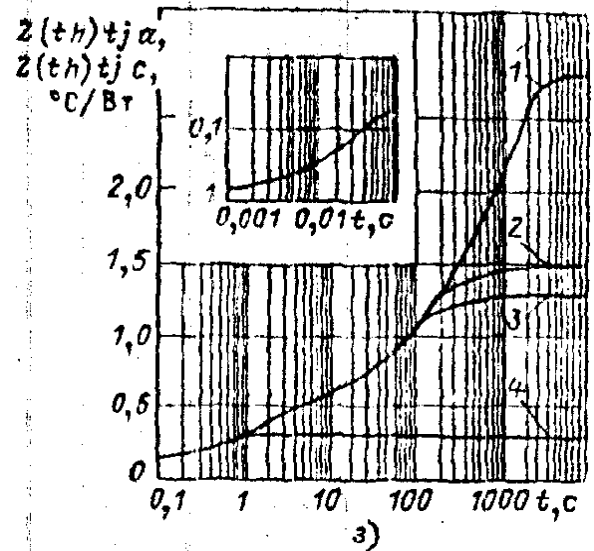
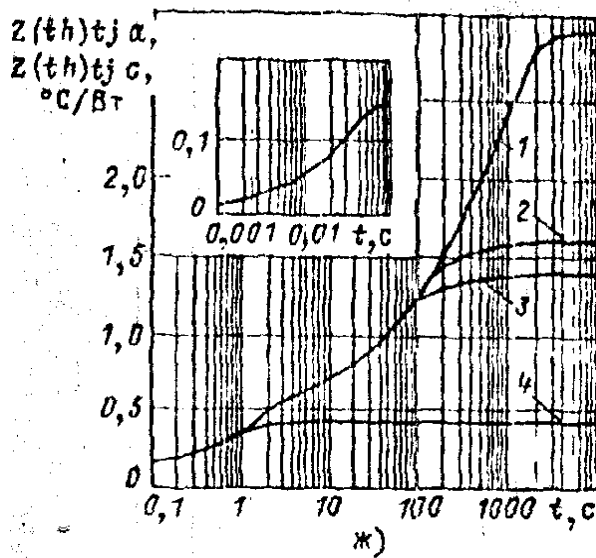
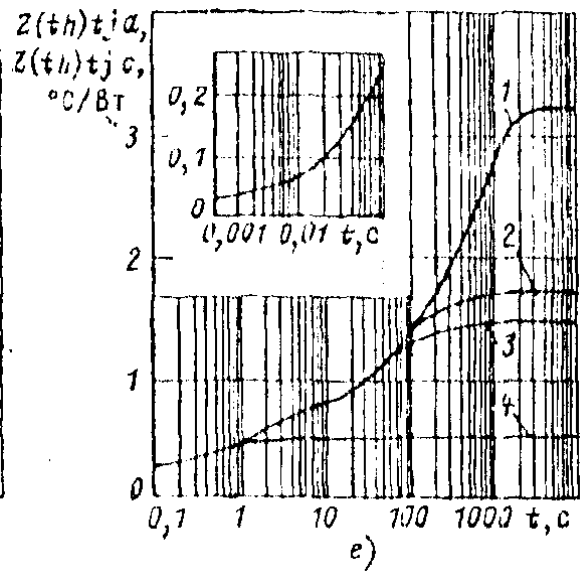
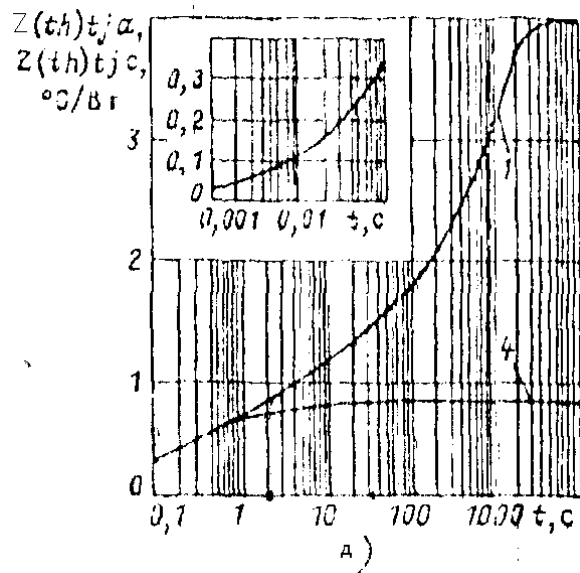
Переходные тепловые сопротивления тиристоров и диодов



- а) Т112-10 (охладитель О111-60);
- б) Т112-16 (охладитель О111-60);
- в) Т112-20 (охладитель О221-60);
- г) Т122-25 (охладитель О221-60).

Рисунок В1 – Переходные тепловые сопротивления переход-корпус тиристоров Т112;Т122

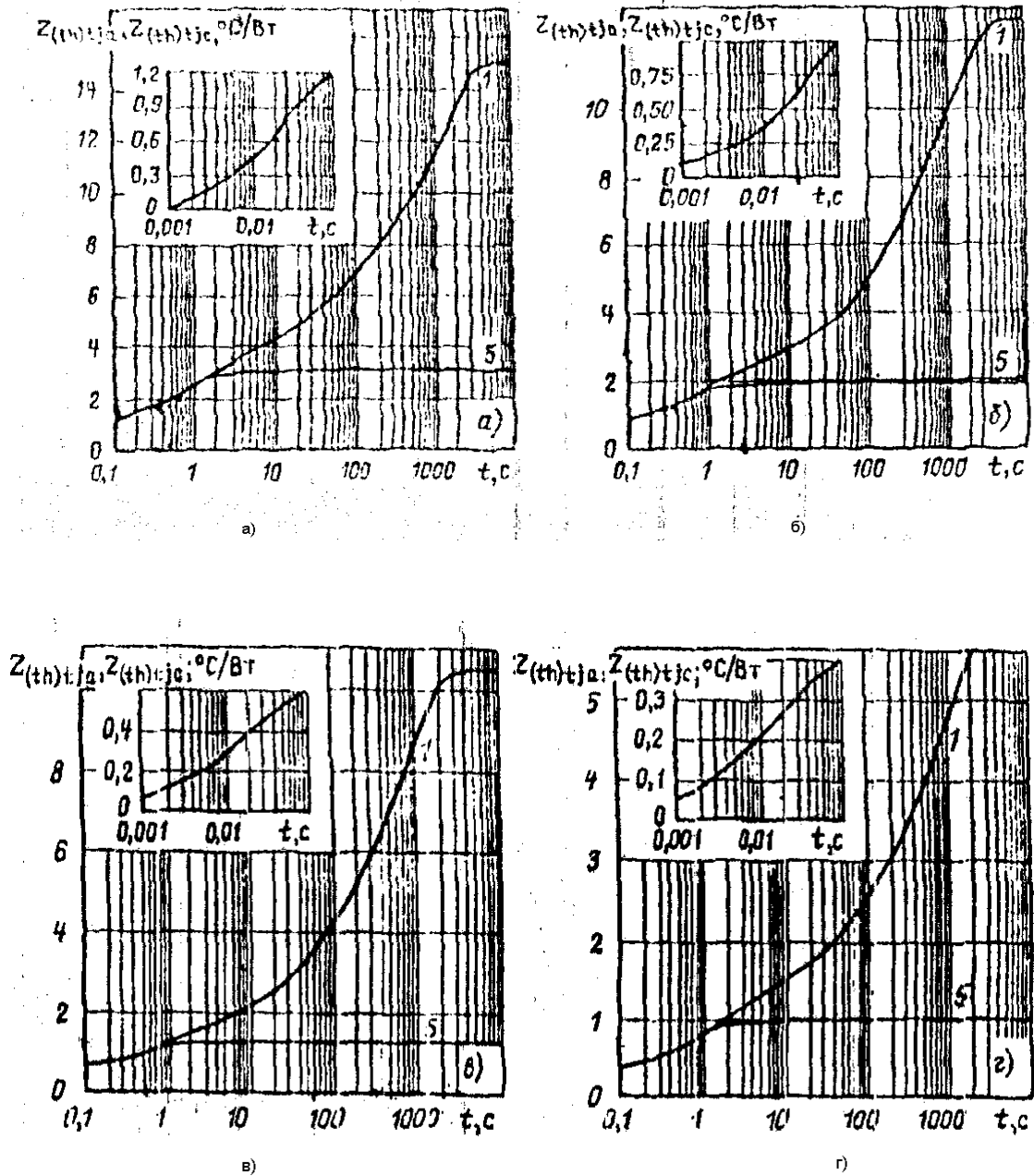
Продолжение приложения В



- д) T132-40(охладитель O231-80);
- е) T132-50(охладитель O231-80);
- ж) T142-63 (охладитель O241-80);
- з) T142-80 (охладитель O241-80).

Рисунок В2 – Переходные тепловые сопротивления переход-корпус тиристоров T132; T142

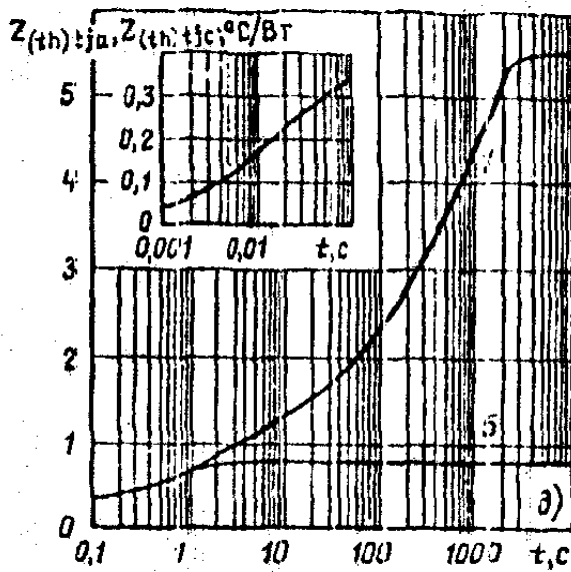
Продолжение приложения В



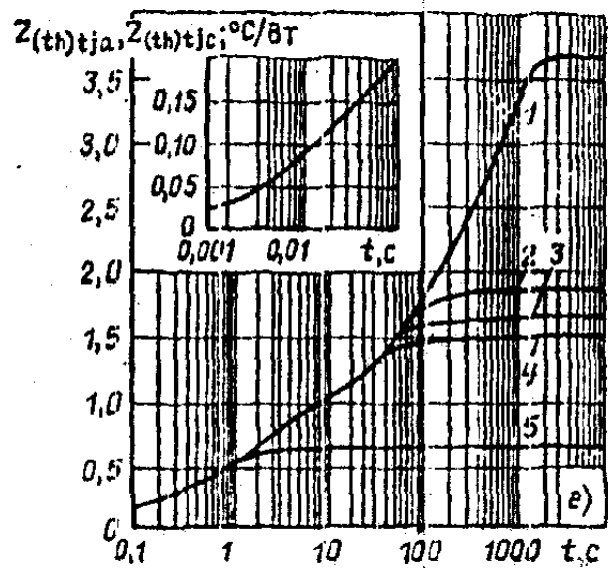
- а) Д112-10 (охладитель О111-60);
- б) Д112-16 (охладитель О111-60);
- в) Д112-25 (охладитель О111-60);
- г) Д122-32 (охладитель О221-60).

Рисунок В3 – Переходные тепловые сопротивления переход-корпус диодов Д 112; Д122

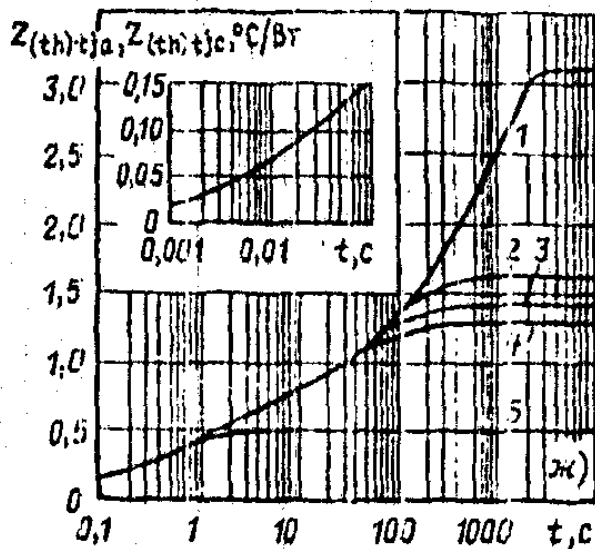
Продолжение приложения В



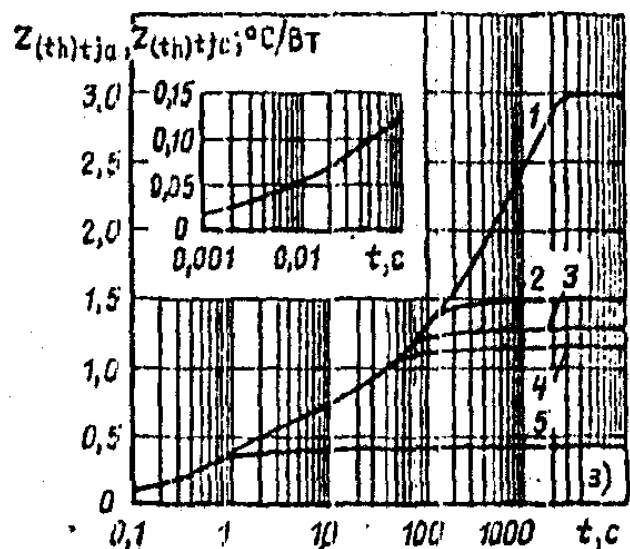
а)



е)



ж)



з)

- д) Д122-40 (охладитель О221-60);
- е) Д132-50 (охладитель О231-80);
- ж) Д132-63 (охладитель О231-80);
- з) Д132-80 (охладитель О231-80).

Рисунок В4 – Переходные тепловые сопротивления переход-корпус диодов Д 122; Д132

Приложение Г
(справочное)

Расчетные коэффициенты

Таблица Г1 – Расчетные коэффициенты схемы

Схема	$K_{\text{фи}}$	$K_{\text{СХ}}$	$m_{\text{П}}$	$K_{\text{Р}}$
Однофазная мостовая	$\sqrt{2}$	0,9	2	1,11
Трехфазная нулевая	$\sqrt{3}$	1,17	3	1,345
Трехфазная мостовая	$\sqrt{3}$	2,34	6	1,045

Перечень вопросов к входному контролю

Номер п/п	Учебные дисциплины	Темы, разделы	Вопросы входного контроля
1	Основы электронной техники	Пассивные элементы электрической цепи	- опишите назначение резистора, приведите его условное обозначение; - опишите назначение катушки индуктивности, приведите ее условное обозначение; - как изменится емкость конденсатора, если увеличить расстояние между пластинами конденсатора. Подтвердить формулой; - как изменится сопротивление металлического проводника, если увеличить его сечение? Подтвердить формулой.
		Счетные устройства	- опишите назначение триггера; - приведите классификацию триггеров.
		Полупроводниковые приборы	- опишите назначение диода, приведите его классификацию, приведите его условное обозначение; - опишите назначение стабилитрона и варикапа, приведите их условное обозначение; - опишите назначение биполярного транзистора, приведите его условное обозначение; - опишите назначение тиристора, приведите его условное обозначение
		Проводниковые материалы	- перечислите основные проводниковые материалы, используемые в промышленности.
2	ТОЭ	Закон Ома	- сформулируйте закон Ома; - в формуле $R = \rho \times \frac{l}{S}$ расшифруйте составляющие

			<p>величины;</p> <ul style="list-style-type: none"> - назовите единицы измерения следующих физических величин: ток, напряжение, сопротивление; - как изменится величина тока в цепи, если в цепи из трех последовательно соединенных резисторов убрать один? Подтвердить формулой; - как изменится величина общего сопротивления цепи, если в цепи из трех последовательно соединенных резисторов убрать один? Подтвердить формулой; - как изменится величина общего сопротивления цепи, если в цепи из трех параллельно соединенных резисторов убрать один? Подтвердить формулой; - как изменится величина тока в цепи, если в цепи из трех параллельно соединенных резисторов убрать один? Подтвердить формулой.
3	Электрические машины	Трансформаторы	<ul style="list-style-type: none"> - приведите классификацию трансформаторов; -перечислите составные части силовых трансформаторов; -опишите принцип работы силовых трансформаторов.
4	Электрические аппараты	Электрические аппараты управления и защиты	<ul style="list-style-type: none"> -опишите назначение, устройство, принцип действия предохранителей; -опишите назначение, устройство, принцип действия автоматических выключателей; - опишите назначение, устройство, принцип действия тепловых реле.

Перечень вопросов к тематическому контролю №1

1 Приведите структурную схему регулируемого электропривода, опишите назначение блоков структурной схемы.

2 Приведите функциональную схему полупроводникового преобразователя, опишите назначение блоков функциональной схемы.

3 Опишите назначение и классификацию полупроводниковых диодов, охарактеризуйте виды.

4 Сформулируйте понятие коммутации вентилей, охарактеризуйте виды коммутации.

5 Сформулируйте определение электропривода.

6 Сформулируйте определение силовой преобразовательной техники.

7 Сформулируйте определение полупроводникового преобразователя электрической энергии.

8 Приведите классификация полупроводниковых преобразователей электрической энергии, охарактеризуйте виды.

Перечень вопросов к тематическому контролю №2

1 Опишите принцип действия однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

2 Опишите принцип действия однофазного однополупериодного управляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

3 Опишите принцип действия однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

4 Опишите принцип действия однофазного нулевого неуправляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

5 Опишите принцип действия однофазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

6 Опишите принцип действия однофазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

7 Опишите принцип действия трехфазного нулевого управляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку $\alpha=0$. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

8 Опишите принцип действия трехфазного нулевого управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

9 Опишите принцип действия трехфазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку $\alpha=0$. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

Перечень вопросов к тематическому контролю №3

1 Опишите принцип действия тиристорного нереверсивного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с параллельной емкостной коммутацией. Приведите схему. Объясните назначение устройства принудительной коммутации.

2 Опишите принцип действия тиристорного нереверсивного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с последовательной емкостной коммутацией. Приведите схему. Объясните назначение устройства принудительной коммутации.

3 Опишите принцип действия параллельного нереверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП). Приведите схему, диаграммы работы. Опишите способы формирования выходного напряжения ШИП.

4 Опишите принцип действия последовательного нереверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП). Приведите схему, диаграммы работы. Опишите способы формирования выходного напряжения ШИП.

5 Опишите принцип действия однофазного автономного инвертора с нулевым выводом трансформатора. Приведите схему, диаграммы работы. Поясните, что называется автономным инвертором.

6 Опишите принцип действия реверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с диагональной коммутацией. Приведите схему, диаграммы работы.

7 Опишите принцип действия реверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с симметричной коммутацией. Приведите схему, диаграммы работы.

8 Опишите принцип действия реверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с несимметричной коммутацией. Приведите схему, диаграммы работы.

Перечень вопросов к ОКР №1

- 1 Приведите структурную схему регулируемого электропривода.
- 2 Назовите назначение и область применения полупроводникового преобразователя электрической энергии (ППЭЭ)
- 3 Перечислите основные виды силовых полупроводниковых приборов (СПП)
- 4 Приведите классификацию полупроводниковых преобразователей электрической энергии (ППЭЭ)
- 5 Сформулируйте определение выпрямителя.
- 6 Приведите основные схемы выпрямления
- 7 Приведите классификацию выпрямителей
- 8 Опишите принцип действия однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку (схема, принцип действия, диаграммы, формулы).
- 9 Опишите принцип действия трехфазного неуправляемого нулевого выпрямителя, при условии, что чисто активная (схема, принцип действия, диаграммы, формулы).
- 10 Опишите принцип действия однофазного управляемого выпрямителя с выводом от средней точки трансформатора (нулевой) при работе на активно-индуктивную нагрузку (схема, принцип действия, диаграммы, формулы).
- 11 Опишите принцип действия однофазного однополупериодного управляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку (схема, принцип действия, диаграммы, формулы).
- 12 Опишите принцип действия трехфазного неуправляемого мостового выпрямителя, при условии, что нагрузка чисто активная (схема, принцип действия, диаграммы, формулы).
- 13 Опишите принцип действия однофазного мостового неуправляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку (схема, принцип действия, диаграммы, формулы).
- 14 Опишите принцип действия трехфазного управляемого нулевого выпрямителя, при условии, что нагрузка активно-индуктивная (схема, принцип действия, диаграммы, формулы).
- 15 Опишите принцип действия однофазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку (схема, принцип действия, диаграммы, формулы).
- 16 Опишите принцип действия однофазного неуправляемого выпрямителя с выводом от средней точки трансформатора (нулевой) при работе на активную нагрузку (схема, принцип действия, диаграммы, формулы).
- 17 Опишите принцип действия трехфазного управляемого мостового выпрямителя, при условии, что нагрузка активно-индуктивная (схема, принцип действия, диаграммы, формулы).
- 18 Опишите принцип действия однофазного однополупериодного управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку (схема, принцип действия, диаграммы, формулы).
- 19 Сформулируйте назначение системы импульсно-фазового управления

(СИФУ).

20 Перечислите основные требования, предъявляемые к СИФУ.

21 Приведите классификацию СИФУ

22 Сформулируйте функции СИФУ

23 Приведите характеристику управления СИФУ. Опишите принцип ее построения

24 Приведите структурную схему и временные диаграммы вертикальной СИФУ для однофазного мостового выпрямителя.

25 Перечислите типовые блоки СИФУ и их назначение.

Перечень вопросов к ОКР№2

- 1 Сформулируйте определение широтно-импульсного преобразователя (ШИП).
- 2 Приведите классификацию широтно-импульсных преобразователей (ШИП).
- 3 Опишите принцип действия тиристорного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с параллельной емкостной коммутацией. Приведите схему, диаграммы работы. Назначение устройства принудительной коммутации.
- 4 Опишите принцип действия тиристорного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с последовательной емкостной коммутацией. Приведите схему, диаграммы работы. Назначение устройства принудительной коммутации.
- 5 Опишите принцип действия параллельного нереверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП). Приведите схему, диаграммы работы.
- 6 Опишите принцип действия последовательного нереверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП). Приведите схему, диаграммы работы.
- 7 Сформулируйте определение инвертора.
- 8 Перечислите основные виды автономных инверторов. Дайте краткую характеристику.
- 9 Приведите основные схемы автономных инверторов.
- 10 Опишите принцип действия однофазного автономного инвертора с нулевым выводом трансформатора. Приведите схему, диаграммы работы.
- 11 Сформулируйте определение преобразователя переменного напряжения (ППН).
- 12 Опишите принцип действия однофазного преобразователя переменного напряжения (ППН). Приведите схему, диаграммы работы при активной нагрузке.
- 13 Сформулируйте определение преобразователя частоты.
- 14 Перечислите основные виды преобразователей частоты. Дайте краткую характеристику.
- 15 Приведите структурную схему двухзвенного преобразователя частоты. Опишите назначение блоков и принцип работы схемы.
- 16 Назовите достоинства и недостатки непосредственных преобразователей частоты (НПЧ).
- 17 Приведите схему трехфазного непосредственного преобразователя частоты (НПЧ) для питания трехфазной нагрузки (АД).
- 19 Назовите назначение и область применения преобразователя переменного напряжения (ППН). Приведите схемы трехфазного ППН, трехфазного ППН на первичной стороне трансформатора, подключенного к диодному выпрямителю.
- 20 Опишите принцип действия реверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с диагональной коммутацией. Приведите схему, диаграммы работы.

- 21 Опишите принцип действия реверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с симметричной коммутацией. Приведите схему, диаграммы работы.
- 22 Опишите принцип действия реверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с несимметричной коммутацией. Приведите схему, диаграммы работы.
- 23 Приведите структурную схему однофазного непосредственного преобразователя частоты (НПЧ). Опишите назначение блоков.
- 24 Приведите внешнюю характеристику выпрямителя. Опишите принцип ее построения
- 25 Приведите схему реверсивного преобразователя, включенного по перекрестной схеме.
- 26 Приведите схему реверсивного преобразователя, включенного по встречно-параллельной схеме.
- 27 Сравните два способа управления комплектами вентиля преобразователя: раздельное и совместное.
- 28 Перечислите основные виды перенапряжений, возникающих при переходных процессах
- 29 Объясните назначение защитных RC-цепей в преобразователях. Приведите схемы включения
- 30 Сформулируйте назначение анодного реактора в преобразователях
- 31 Приведите классификацию фильтров для подавления помех

Перечень вопросов к экзамену

Уровень представления(max 3 балла)

- 1 Сформулируйте определение выпрямителя.
- 2 Сформулируйте назначение системы импульсно-фазового управления (СИФУ).
- 3 Сформулируйте определение широтно-импульсного преобразователя (ШИП).
- 4 Сформулируйте определение инвертора.
- 5 Сформулируйте определение преобразователя частоты.
- 6 Сформулируйте определение преобразователя переменного напряжения (ППН).
- 7 Сформулируйте назначение анодного реактора в преобразователях
- 8 Перечислите основные виды силовых полупроводниковых приборов (СПП)
- 9 Приведите классификацию полупроводниковых преобразователей электрической энергии (ППЭЭ)
- 10 Объясните назначение защитных RC-цепей в преобразователях. Приведите схемы включения
- 11 Приведите классификацию фильтров для подавления помех
- 12 Перечислите основные виды перенапряжений, возникающих при переходных процессах

Уровень понимания(max 6 баллов)

- 1 Приведите основные схемы выпрямителей
- 2 Приведите классификацию выпрямителей
- 3 Перечислите основные требования, предъявляемые к СИФУ.
- 4 Приведите классификацию СИФУ
- 5 Перечислите функции СИФУ
- 6 Приведите характеристику управления СИФУ. Опишите принцип ее построения
- 7 Перечислите типовые блоки СИФУ и их назначение
- 8 Приведите внешнюю характеристику выпрямителя. Опишите принцип ее построения
- 9 Приведите регулировочную характеристику выпрямителя. Опишите принцип ее построения
- 10 Приведите схему реверсивного преобразователя, включенного по перекрестной схеме.
- 11 Приведите схему реверсивного преобразователя, включенного по встречно-параллельной схеме.
- 12 Сравните два способа управления комплектами вентиля преобразователя раздельное и совместное.
- 13 Приведите классификацию широтно-импульсных преобразователей (ШИП).
- 14 Перечислите основные виды автономных инверторов. Дайте краткую

характеристику.

15 Приведите основные схемы автономных инверторов.

16 Перечислите основные виды преобразователей частоты. Дайте краткую характеристику.

17 Приведите структурную схему двухзвенного преобразователя частоты. Опишите назначение блоков и принцип работы схемы.

18 Назовите достоинства и недостатки непосредственных преобразователей частоты (НПЧ).

19 Приведите структурную схему однофазного непосредственного преобразователя частоты (НПЧ). Опишите назначение блоков.

20 Приведите схему трехфазного непосредственного преобразователя частоты (НПЧ) для питания трехфазной нагрузки (АД).

Уровень применения (max 9 баллов)

1 Опишите принцип действия однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

2 Опишите принцип действия однофазного однополупериодного управляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

3 Опишите принцип действия однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

4 Опишите принцип действия однофазного нулевого неуправляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

5 Опишите принцип действия однофазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

6 Опишите принцип действия однофазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

7 Опишите принцип действия трехфазного нулевого управляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку $\alpha=0$. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

8 Опишите принцип действия трехфазного нулевого управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

9 Опишите принцип действия трехфазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активную нагрузку $\alpha=0$. Приведите схему, диаграммы работы, основные расчетные соотношения.

10 Приведите структурную схему регулируемого электропривода

11 Приведите структурную схему и временные диаграммы вертикальной СИФУ для однофазного мостового выпрямителя.

12 Опишите принцип действия тиристорного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с параллельной емкостной коммутацией. Приведите

схему, диаграммы работы. Назначение устройства принудительной коммутации.

13 Опишите принцип действия тиристорного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с последовательной емкостной коммутацией. Приведите схему, диаграммы работы. Назначение устройства принудительной коммутации.

14 Опишите принцип действия параллельного нереверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП). Приведите схему, диаграммы работы.

15 Опишите принцип действия последовательного нереверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП). Приведите схему, диаграммы работы.

16 Опишите принцип действия однофазного автономного инвертора с нулевым выводом трансформатора. Приведите схему, диаграммы работы.

17 Опишите принцип действия однофазного преобразователя переменного напряжения (ППН). Приведите схему, диаграммы работы при активной нагрузке.

18 Опишите принцип действия однофазного преобразователя переменного напряжения (ППН). Приведите схему, диаграммы работы при RL-нагрузке.

19 Назовите назначение и область применения преобразователя переменного напряжения (ППН). Приведите схемы трехфазного ППН, трехфазного ППН на первичной стороне трансформатора, подключенного к диодному выпрямителю. Охарактеризовать применение трехфазных ППН для управления АД.

20 Опишите принцип действия реверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с диагональной коммутацией. Приведите схему, диаграммы работы.

21 Опишите принцип действия реверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с симметричной коммутацией. Приведите схему, диаграммы работы.

22 Опишите принцип действия реверсивного транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с несимметричной коммутацией. Приведите схему, диаграммы работы.

Экзаменационный билет содержит три вопроса. Каждый из них оценивается исходя из максимального количества баллов. Которые затем суммируются. В соответствии с оценочной шкалой (таблица 1), учащимся выставляется отметка.

Таблица 1 – Оценочная шкала

Отметка	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Баллы	До 5	5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19

Перечень учебных изданий и информационно-аналитических материалов, рекомендуемых для изучения учебной дисциплины «Силовая преобразовательная техника»

Основная учебная литература

1 Силовая преобразовательная техника [Электронный ресурс]: электронно-методический комплекс для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»/ Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов»; сост. Н. М. Улащик. – Минск: БНТУ, 2013.

2 Бурков, А.Т. Электронная техника и преобразователи/А.Т. Бурков М., 1999.

3Забродин, Ю.С. Промышленная электроника/Ю.С. Забродин М., 1982.

4Засорин, С.Н. Электронная и преобразовательная техника/ С.Н.Засорин, В.А. Мицкевич, К.Г. Кучма. М., 1981.

5Зимин, Е.Н. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями / Е.Н. Зимин.М., 1981.

6Перельмутер, В.Н. Системы управления тиристорными электроприводами постоянного тока/ В.М. Перельмутер, В.А. Сидоренко. М., 1988.

7Розанов, Ю.К. Основы силовой преобразовательной техники/ Ю.К.Розанов М., 1979.

8 Справочник по преобразовательной технике / под ред.И.М. Чиженко. Киев, 1978.

9Терехов, В.М. Элементы автоматизированного электропривода/ В.М. Терехов. М., 1987.

10Чиженко, И.М. Преобразовательная техника/ И.М. Чиженко, В.С.Руденко, В.П. Селько. Киев, 1978.

Дополнительная учебная литература

1 Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. М., 1983.

2 Усатенко, С.Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД : справ. / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова. М., 1989.

Стандарты

ГОСТ 2.701-84. ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

ГОСТ 2.702-75. ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.

ГОСТ 2.710-81. ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.

