

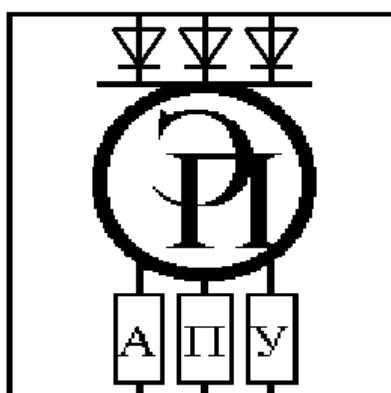
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и АПУ»

СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»
дневной и заочной форм обучения*

Часть 2



Могилев 2018



УДК 621.314
ББК 31.264.5
С 36

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и АПУ» «12» октября 2017 г.,
протокол № 3

Составители: ст. преподаватель Г. В. Бочкарев;
ст. преподаватель В. А. Лапицкий
Рецензент канд. техн. наук, доц. Б. Б. Скарыно

В методических рекомендациях изложены необходимые сведения для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Силовая преобразовательная техника».

Учебно-методическое издание

СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Часть 2

Ответственный за выпуск	Г. С. Леневский
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	М. М. Дударева

Подписано в печать 5.03.2018 . Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 2,33. Уч.-изд. л. 2,50 . Тираж 115 экз. Заказ № 206.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изделий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2018



Содержание

1 Содержание отчета.....	4
2 Графическая часть отчета.....	4
3 Лабораторная работа № 4. Исследование режимов работы и определение параметров тиристорного преобразователя частоты со звеном постоянного тока типа ЭКТД-25.....	4
3.1 Краткие теоретические сведения.....	4
3.2 Назначение и применение ТПЧ.....	6
3.3 Устройство и принцип работы.....	6
3.4 Тиристорный автономный инвертор напряжения с пофазной коммутацией.....	10
3.5 Порядок выполнения работы.....	13
4 Лабораторная работа № 5. Исследование режимов работы и определение параметров тиристорного регулятора напряжения.....	17
4.1 Краткие теоретические сведения.....	17
4.2 Описание тиристорного регулятора напряжения ТРН–380–10–3 УХЛ4.....	22
4.3 Порядок выполнения работы.....	26
5 Лабораторная работа № 6. Исследование режимов работы и определение параметров устройства плавного пуска АДКЗ.....	28
5.1 Краткие теоретические сведения.....	28
5.2 Общие сведения о ТРН серии ES.....	31
5.3 Общие сведения об устройстве плавного пуска УБПВД-ВЦ .	33
5.4 Порядок выполнения работы.....	36
Список литературы.....	39



1 Содержание отчета

При выполнении лабораторных работ обязательному рассмотрению и отражению в отчете подлежит следующее.

- 1 Изучение методических рекомендаций и учебной литературы.
- 2 Анализ выполнения этапов лабораторной работы.
- 3 Изучение схемы электрической принципиальной стенда для исследования преобразователя.
- 4 Изучение схемы электрической принципиальной силовой части преобразователя.

5 Математическое моделирование силовой части преобразователя.

Рекомендуемый объем отчета – 10...12 листов из расчета, что отчет отпечатан на принтере. Допускается применение разных шрифтов, рекомендуется шрифт Courier New 14.

Отчет выполняется на листах формата А4, оформление производится в соответствии с рекомендациями и требованиями [1].

2 Графическая часть отчета

Графическая часть отчета выполняется на двух листах формата А4.

На первом листе выполняется схема электрическая принципиальная стенда для исследования преобразователя, на втором – схема электрическая принципиальная силовой части преобразователя.

Оформление производится в соответствии с рекомендациями и требованиями [1].

3 Лабораторная работа № 4. Исследование режимов работы и определение параметров тиристорного преобразователя частоты со звеном постоянного тока типа ЭКТД-25

Цель работы: исследовать электромагнитные процессы в силовой части тиристорного автономного инвертора напряжения (АИН).

3.1 Краткие теоретические сведения

Преобразователь частоты (ПЧ) – это устройство, предназначенное для преобразования переменного тока (напряжения) одной частоты в переменный ток (напряжение) другой частоты.

Выходная частота в современных преобразователях может изменяться в широком диапазоне и быть как выше, так и ниже частоты питающей сети.

Схема любого преобразователя частоты состоит из силовой и управляющей частей. Силовая часть преобразователей обычно выполнена на тиристорах или транзисторах, которые работают в режиме электронных ключей. Управляющая часть выполняется на цифровых микропроцессорах и обеспечивает



управление силовыми электронными ключами, а также решение большого количества вспомогательных задач (контроль, диагностика, защита).

Преобразователи частоты, применяемые в регулируемом электроприводе, в зависимости от структуры и принципа работы силовой части разделяются на два класса:

- 1) преобразователи частоты с явно выраженным промежуточным звеном постоянного тока;
- 2) преобразователи частоты с непосредственной связью (без промежуточного звена постоянного тока).

Наиболее широкое применение в современных частотно-регулируемых приводах находят преобразователи с явно выраженным звеном постоянного тока (см. рисунок 1).

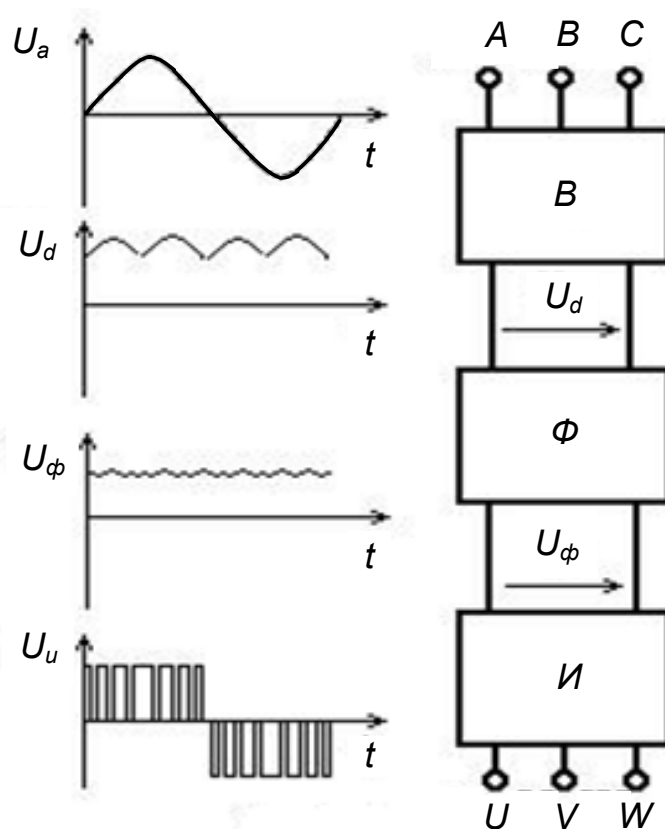


Рисунок 1 – ПЧ со звеном постоянного тока

В преобразователях этого класса используется двойное преобразование электрической энергии: входное синусоидальное напряжение с постоянной амплитудой и частотой выпрямляется в выпрямителе (В), фильтруется фильтром (Ф), сглаживается, а затем вновь преобразуется инвертором (И) в переменное напряжение изменяемой частоты и амплитуды. Двойное преобразование энергии приводит к снижению КПД и к некоторому ухудшению массогабаритных показателей по отношению к преобразователям с непосредственной связью.

Для формирования синусоидального переменного напряжения используются автономные инверторы напряжения и автономные инверторы тока.

3.2 Назначение и применение ТПЧ

Тиристорный преобразователь частоты (ТПЧ) предназначен для плавного пуска и непрерывного регулирования частоты вращения синхронного электродвигателя, обеспечивающего привод таких агрегатов, как компрессор, вентилятор (дымосос), насос, шаровая мельница и т. п. При этом двигатель должен иметь щеточное возбуждение от статического тиристорного возбуждителя.

Применение ТПЧ позволяет:

- осуществлять плавный частотный пуск ненагруженного или нагруженного двигателя с ограничением пускового тока до уровня, не превышающего номинального значения;
- вести плавное регулирование частоты вращения двигателя от номинального значения в диапазоне 10...105 % либо по внешнему заданию, либо по сигналу от собственного регулятора, обеспечивающего поддержание регулируемого параметра (давления, расхода, момента).

3.3 Устройство и принцип работы

Автономные инверторы (АИ) в основном подразделяются на три группы:

- 1) автономные инверторы напряжения (АИН);
- 2) автономные инверторы тока (АИТ);
- 3) автономные резонансные инверторы (АРИ).

Тип инвертора обычно определяется видом источника питания либо фильтра (см. рисунок 2).

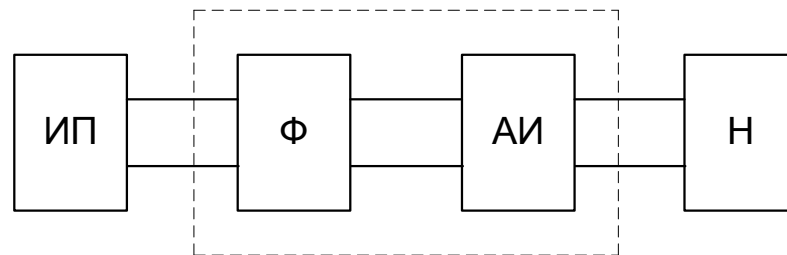


Рисунок 2 – Устройство автономного инвертора

Для АИН форма выходного напряжения не зависит от величины тока нагрузки и носит прямоугольный характер.

Для АИТ форма тока является прямоугольной и не зависит от величины выходного напряжения.

Для формирования выходного напряжения и тока нагрузки, близких по форме к синусоидальному виду, применяют резонансные автономные инверторы (РАИ).



В промышленно выпускаемых преобразователях частоты с АИ, как правило, используют LC -фильтр.

АИТ применяют для электроприводов с асинхронным двигателем (ЭП АД) большой мощности, работающих в основном в режиме задания с большими перегрузками (частый пуск, реверс, торможение).

АИН выпускаются в виде тиристорных и транзисторных схем и, как правило, применяются в ЭП, работающих в режиме стабилизации выходной переменной.

РАИ выпускаются для ЭП АД средней мощности.

По количеству формируемых фаз АИ делятся на однофазные, трехфазные и многофазные (см. рисунки 3 и 4).

В зависимости от способа питания нагрузки трехфазные и многофазные АИ можно рассматривать как состоящие из требуемого количества однофазных или как выполненные по совмещенной мостовой схеме.

Для трехфазных АИ возможны два способа включения нагрузки (по схеме «треугольник» и по схеме «звезда»), что определяет напряжение питания АИ и нагрузки.

В зависимости от алгоритма переключения силовых ключей рассматривают два возможных закона формирования $U_{вых}$:

- 1) закон управления 180° ;
- 2) закон управления 120° .

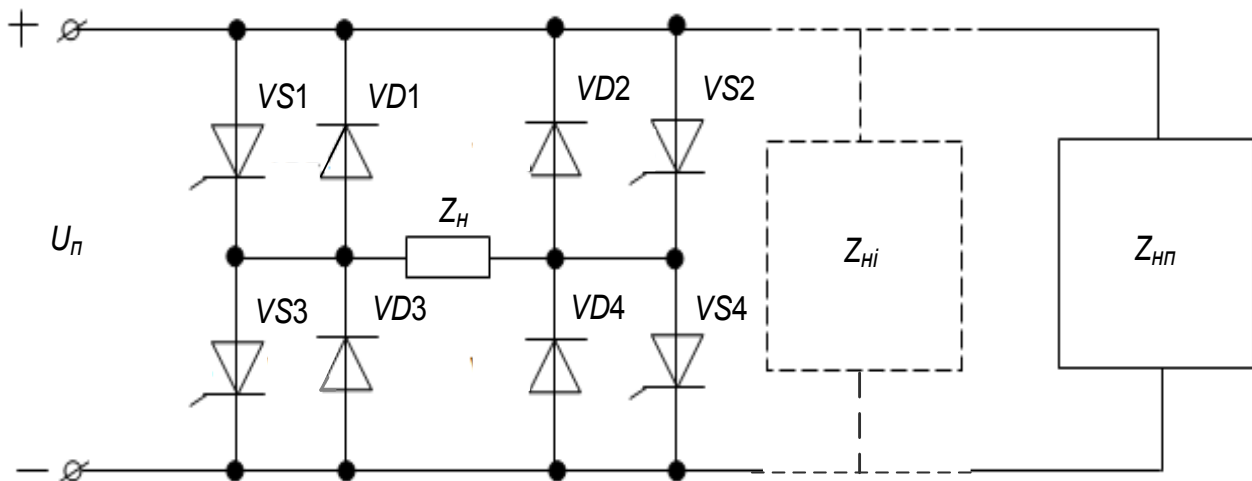


Рисунок 3 – Схема многофазного АИ на базе однофазных АИ

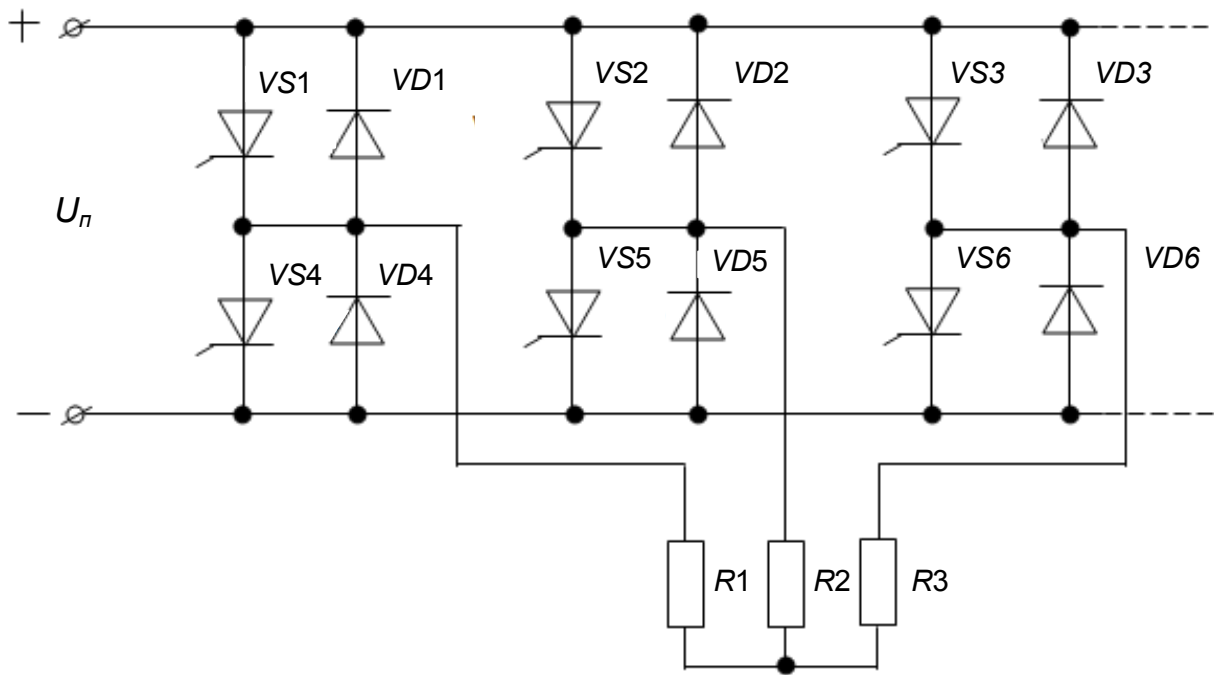


Рисунок 4 – Совмещенная многофазная мостовая схема АИ

Для АИ в качестве вентиля можно использовать силовые транзисторы или тиристоры. В случае применения тиристоров необходимы коммутирующие устройства.

Существует три возможных способа формирования выходного напряжения АИ:

- 1) амплитудный;
- 2) регулирование на основной частоте;
- 3) регулирование на несущей частоте.

Для последнего способа рассматривают два возможных варианта модуляции выходного напряжения:

- 1) модуляция с линейным распределением;
- 2) модуляция по синусоидальному закону (длительность импульсов несущей частоты на длительности полупериода основной частоты изменяется по синусоидальному закону).

При амплитудном методе регулирования выходного напряжения применяют УВ или ШИП в качестве источника питания АИ. Упрощенная структура такого преобразователя представлена на рисунке 5.

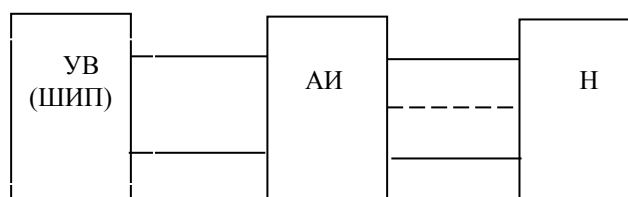


Рисунок 5 – Упрощенная структура преобразователя

Регулирование выходного напряжения на основной частоте применяется в ЭП малой мощности (до 600 Вт). Принцип регулирования поясняется диаграммой напряжения, которая представлена на рисунке 6.

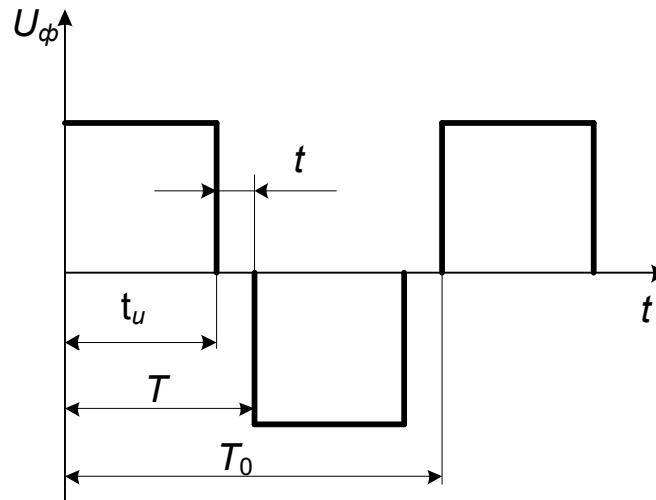


Рисунок 6 – Диаграмма напряжения при регулировании выходного напряжения на основной частоте

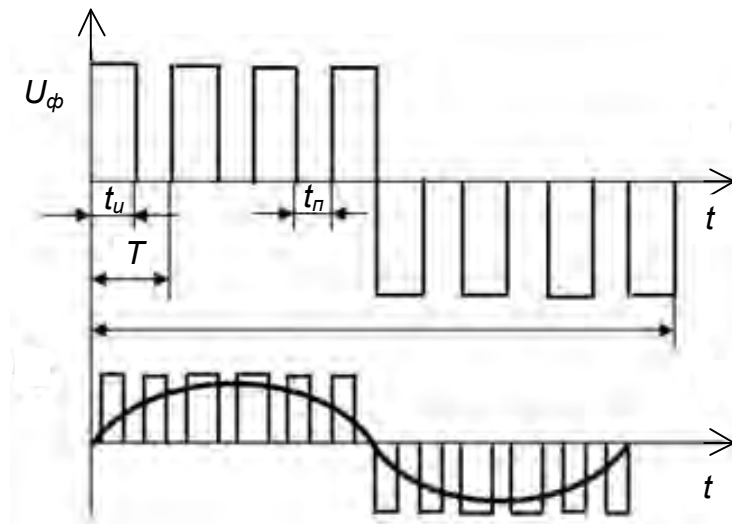


Рисунок 7 – Диаграмма напряжения при регулировании выходного напряжения на несущей частоте

Регулирование выходного напряжения на несущей частоте применяется в ЭП средней мощности (до 100 кВт). Принцип регулирования поясняется диаграммами напряжения, представленными на рисунке 7.

По способу коммутации тиристоров силовой части АИ делятся на:

- АИ с фазной коммутацией;
- АИ с пофазной коммутацией;
- АИ с групповой коммутацией;
- АИ с индивидуальной коммутацией.

3.4 Тиристорный автономный инвертор напряжения с пофазной коммутацией

Схема предназначена для преобразования постоянного напряжения в переменное напряжение регулируемой частоты и амплитуды.

Схема силовой части ТПЧ содержит следующие функциональные узлы:

- силовой управляемый выпрямитель;
- LC -фильтр;
- автономный инвертор напряжения;
- тормозное устройство;
- источник напряжения.

Силовой УВ представляет собой трехфазный мостовой выпрямитель. Регулирование величины выпрямленного напряжения в УВ достигается изменением угла управления тиристорами. УВ подключается к сети с помощью автоматического выключателя QF. На выходе УВ установлен токоограничивающий реактор L . В цепь каждой фазы включены трансформаторы тока, выполняющие функции датчиков тока. К выходу УВ подключен LC -фильтр. Фильтр выполняет функцию сглаживания пульсаций выпрямленного тока и напряжения и токоограничения в аварийных режимах.

В состав АИН (см. рисунок 8) входят следующие функциональные группы элементов:

- группа основных тиристоров (V3, V4, V7, V8, V11, V12);
- группа коммутационных тиристоров (V13...V18);
- группа обратных диодов (V1, V2, V5, V6, V9, V10);
- коммутирующие конденсаторы (C3, C4, C5);
- коммутирующие дроссели (L1, L2);
- разделительные диоды (V25, V26);
- мост сброса энергии (V19...V24);
- вспомогательные источники подзарядки.

Вспомогательные источники подзарядки обеспечивают автоматический и непрерывный подзаряд коммутирующего конденсатора в течение процесса коммутации.

Разделительные диоды V25, V26 служат для развязки источника основного питания от вспомогательных источников подзаряда.

Цель сброса энергии (V19...V24) служит для обеспечения стабилизации напряжения на коммутирующих конденсаторах, поддерживая его на уровне, не превышающем величины напряжения на источниках.

Защита тиристоров силовой части от перенапряжения осуществляется RC -цепями.

В электроприводе для обеспечения режима торможения используется тормозное устройство, состоящее из двух цепей (последовательно включенные резистор и тиристор), средней точкой подключенных к общей точке тиристоров АИН (рисунки 8 и 9).



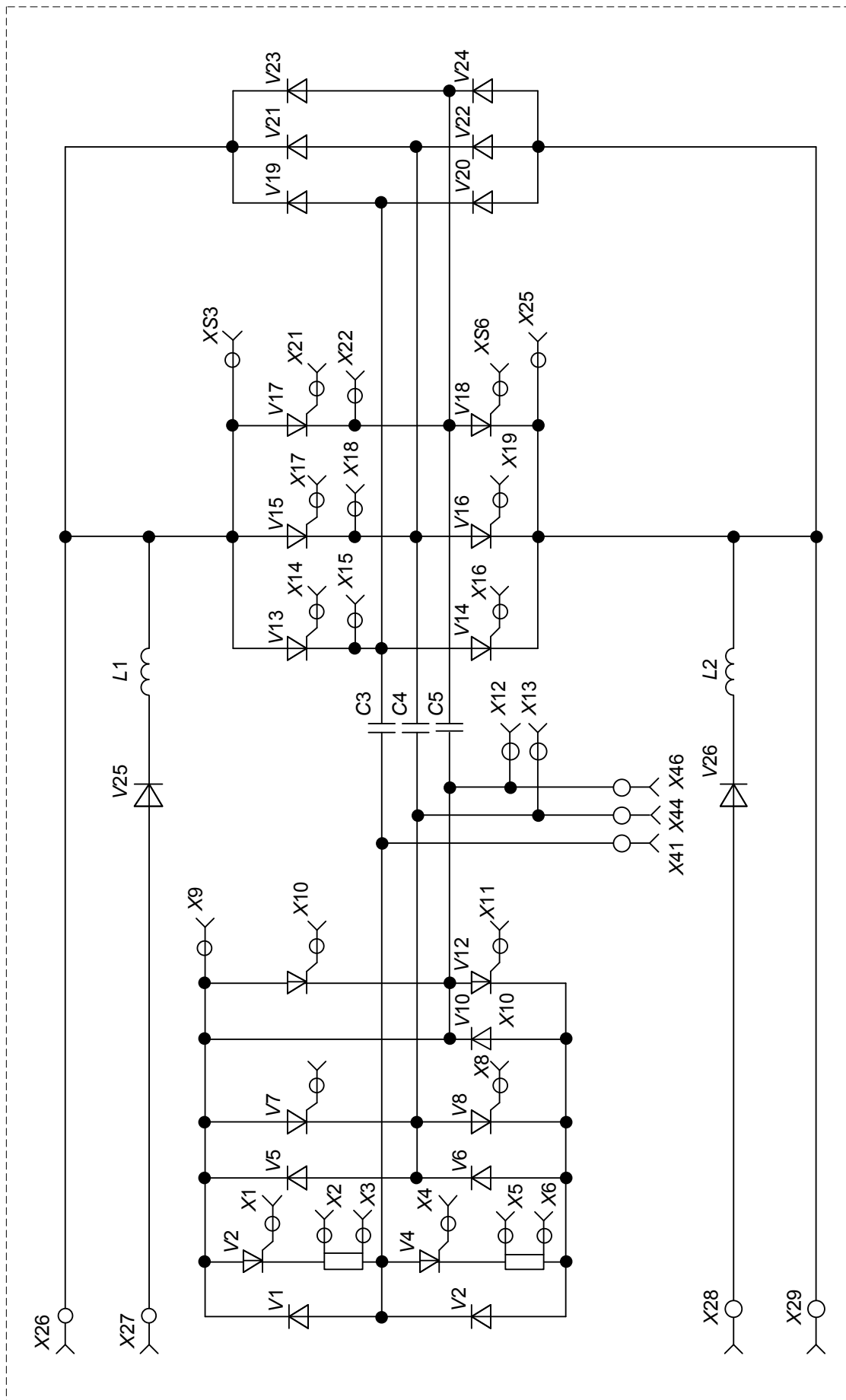


Рисунок 8 – Схема силовой части ЭКТД-25



Задание

- 1 Записать паспортные данные электрических машин и преобразователя в отчет.
- 2 Записать данные измерительных приборов в таблицу 1.

Таблица 1 – Данные измерительных приборов

Обозначение на схеме	Система прибора	Класс точности	Предел измерения	Цена деления

- 3 Ознакомиться со схемой и порядком включения стенда.
- 4 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке.
- 5 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов на активно-индуктивной нагрузке.
- 6 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке.
- 7 Сделать обработку полученных данных. Провести анализ результатов лабораторной работы и составить подробный отчет.

3.5 Порядок выполнения работы

Перед началом проведения опыта необходимо ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. В процессе проведения опыта следует выполнить описание режимов работы силовой части согласно схеме на уровне временных диаграмм напряжений и токов ее элементов, определить последовательность подключения контрольных гнезд для исследования преобразователя.

Исследование характеристик преобразователя проводится по схеме, представленной на рисунке 10.



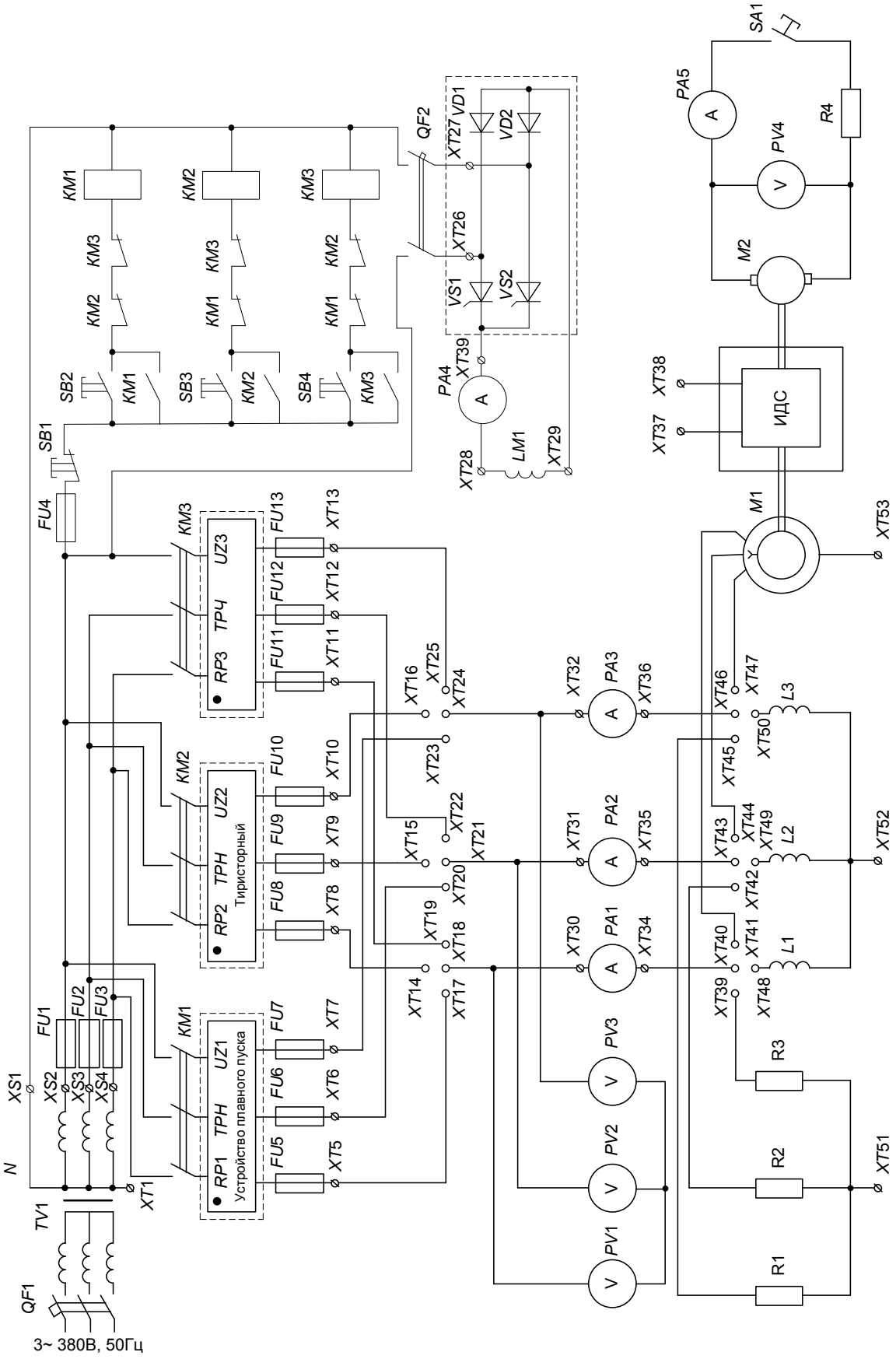


Рисунок 10 – Схема электрическая принципиальная стенда для исследования преобразователей переменного тока



Исследование электромагнитных процессов при активной нагрузке

- 1 Собрать электрическую схему по рисунку 10, соединив точки ХТ18–ХТ19, ХТ21–ХТ22, ХТ24–ХТ25.
- 2 Общий вывод осциллографа соединить с клеммой ХТ51.
- 3 Установить регулятор напряжения РР3 в крайнее левое положение, которое соответствует минимальному выходному напряжению.
- 4 Включить вводной автоматический выключатель QF1.
- 5 Включить осциллограф в сеть и прогреть 10 мин.
- 6 Нажать кнопку SB4.
- 7 Щуп осциллографа поставить в точку ХТ30.
- 8 Снять диаграмму напряжения в фазе С. Занести её в отчёт.
- 9 Щуп осциллографа поставить в точку ХТ31.
- 10 Снять диаграмму напряжения в фазе В. Занести его в отчёт.
- 11 Щуп осциллографа поставить в точку ХТ32.
- 12 Снять диаграмму напряжения в фазе А. Занести её в отчёт.
- 13 Нажать кнопку SB1.
- 14 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.
- 15 Для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке соединить клеммы ХТ39–ХТ40, ХТ42–ХТ43, ХТ45–ХТ46.
- 16 Для снятия формы напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ51, а щуп в ХТ30.
- 17 Для подачи напряжения на стенд включить QF1.
- 18 Нажать кнопку SB4.
- 19 Снять диаграмму напряжения на нагрузке. Занести её в отчёт.
- 20 Нажать кнопку SB1.
- 21 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.
- 22 Для снятия формы тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ34, а щуп в ХТ30.
- 23 Снять диаграмму тока на нагрузке. Занести её в отчёт.
- 24 Нажать кнопку SB1.
- 25 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.

Исследование электромагнитных процессов при индуктивной нагрузке

- 1 Для снятия электромагнитных процессов на индуктивной нагрузке соединить клеммы ХТ40–ХТ48, ХТ43–ХТ49, ХТ46–ХТ50.
- 2 Для снятия формы напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ51, а щуп в ХТ30.
- 3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1.
- 4 Нажать кнопку SB4.
- 5 Снять диаграмму напряжения на нагрузке. Занести её в отчёт.
- 6 Нажать кнопку SB1.
- 7 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.



8 Для снятия формы тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ34, а щуп в ХТ30.

9 Для подачи напряжения на стенд включить QF1.

10 Нажать кнопку SB4.

11 Снять диаграмму тока на нагрузке. Занести её в отчёт.

12 Нажать кнопку SB1.

13 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.

Исследование электромагнитных процессов при двигательной нагрузке

1 Для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке соединить клеммы ХТ40–ХТ41, ХТ43–ХТ44, ХТ46–ХТ47.

2 Для снятия формы напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ51, а щуп в ХТ30.

3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 и QF2.

4 Нажать кнопку SB4. Включить переключатель SA1.

5 Нагрузить двигатель М1, увеличив напряжение на обмотке возбуждения генератора М2, путем поворота ручки регулятора RP4. Снять диаграмму напряжения на нагрузке. Занести её в отчёт.

6 Нажать кнопку SB1.

7 Выключить автоматические выключатели QF1 и QF2.

8 Для снятия формы тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ34, а щуп в ХТ30.

9 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 и QF2.

10 Нажать кнопку SB4.

11 Снять диаграмму тока на нагрузке. Занести её в отчёт.

12 Нажать кнопку SB1.

13 Выключить автоматические выключатели QF1 и QF2.

Контрольные вопросы

1 Классификация тиристорных АИ.

2 Способы управления тиристорами АИ.

3 Основные способы формирования выходного напряжения АИ.

4 Влияние электромагнитных процессов в коммутирующем оборудовании на электромагнитные процессы в цепи нагрузки.

5 Регулировочные характеристики АИ при различных способах формирования выходного напряжения и частоты.

6 Недостатки тиристорных ключевых элементов.

7 Чем определяется длительность межкоммутационного и коммутационного интервалов времени при рассмотрении инвертора напряжения, выполненного на тиристорах?

8 От чего зависят электромагнитные процессы в интервалах коммутации?

9 Факторы, влияющие на работу трёхфазного инвертора напряжения.

10 Какие функциональные группы входят в состав АИН?



11 Варианты модуляции выходного напряжения при регулировании на несущей частоте.

12 Область применения различных способов регулирования выходного напряжения.

13 Алгоритмы переключения управляющих вентилях в трёхфазном мостовом инверторе.

14 Рабочие и коммутационные процессы в АИН.

15 Защита тиристорной силовой части от перенапряжения.

16 Источники питания АИ при амплитудном методе регулирования.

17 Блок-схема инвертора.

18 Схема и принцип работы однофазного АИ.

19 Совмещенная многофазная мостовая схема АИ.

20 Способы искусственной коммутации тиристорной АИ.

4 Лабораторная работа № 5. Исследование режимов работы и определение параметров тиристорного регулятора напряжения

Цель работы: исследовать статические и динамические характеристики системы ТРН – АД; изучить принцип работы СИФУ.

4.1 Краткие теоретические сведения

Одним из возможных способов регулирования частоты вращения асинхронных двигателей является изменение напряжения на зажимах его статора, при этом частота такого напряжения постоянна и равна частоте промышленной сети переменного тока.

На рисунке 11, а приведена принципиальная блок-схема рассматриваемого электропривода. Между зажимами питающей сети и статором асинхронного двигателя включен преобразователь напряжения, при использовании которого изменяется напряжение, подводимое к статору двигателя. Возможность регулирования частоты вращения АД с помощью изменения фазного напряжения следует из анализа формул

$$M = \frac{2M_K(1 + a \cdot s_K)}{s/s_K + s_K/s + 2a \cdot s_K}; \quad (1)$$

$$M_K = \frac{3 \cdot U_\phi^2}{2\omega_0(r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2)^2})}; \quad (2)$$

$$s_K = \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2)^2}}; \quad (3)$$

$$a = r_1/r_2. \quad (4)$$

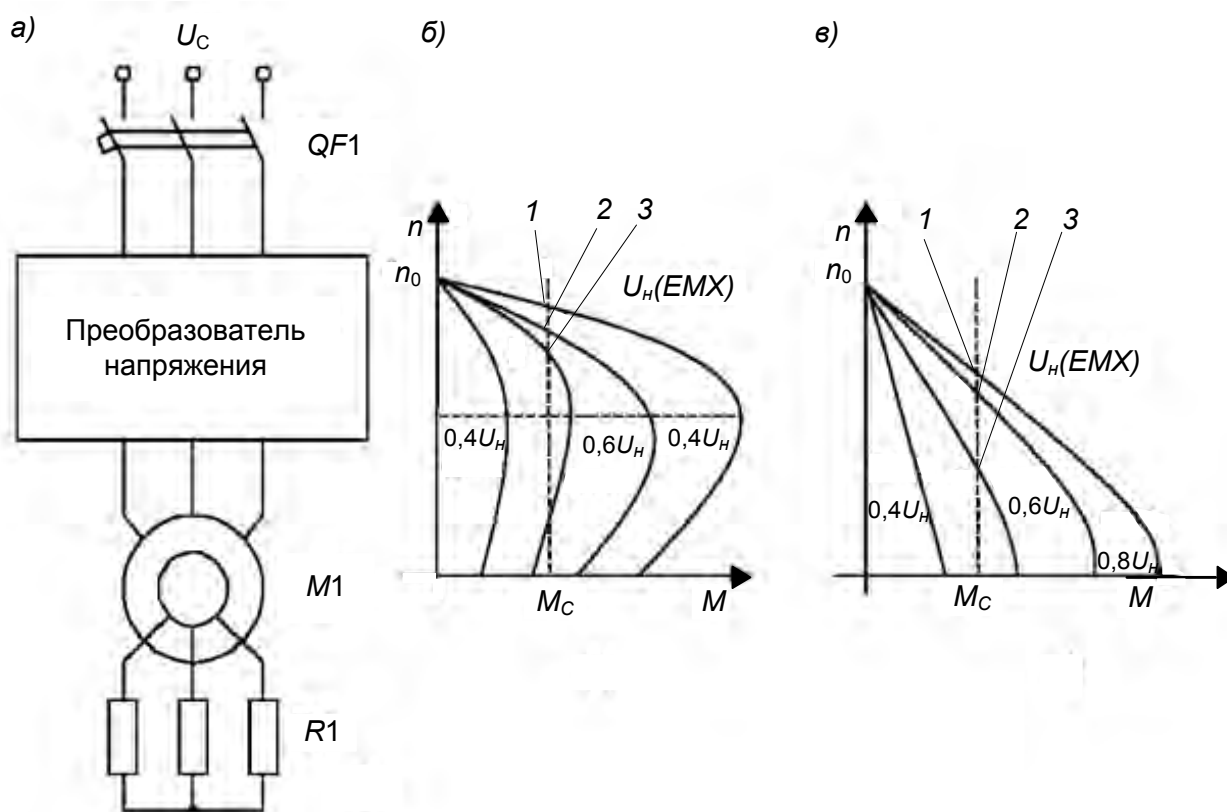


Рисунок 11 – Блок-схема (а) и механические характеристики при регулировании напряжением для случаев отсутствия (б) и наличия (в) добавочного сопротивления в роторе

Очевидно, что критическое скольжение не зависит от напряжения, поэтому оно при изменении U_ϕ остается неизменным. Критический момент пропорционален квадрату напряжения и при понижении U_ϕ уменьшается.

На рисунке 11, б и в приведены механические характеристики, соответственно при отсутствии и наличии добавочных активных сопротивлений $R1$ в цепи обмотки ротора. Из графиков (см. рисунок 11, б) следует, что при постоянном моменте M_c нагрузки в случае асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором частота вращения изменяется в небольших пределах между точками 1 и 3, а из графиков (рисунок 11, в) видно, что пределы возможного изменения частоты вращения в случае наличия добавочного сопротивления в роторе более широкие.

Следует отметить, что реализация преобразователя напряжения в «чистом» виде, когда фазное напряжение синусоидально, затруднительна. Практически указанное напряжение имеет сложную несинусоидальную форму. Рассмотрим широко используемые в настоящее время преобразователи напряжения – так называемые *тиристорные регуляторы напряжения* (ТРН).

Предварительно для ознакомления с принципом действия регулятора напряжения проанализируем работу однофазной схемы на рисунке 12, а. В схеме напряжение U переменного тока синусоидальной формы подводится к электрической цепи, содержащей сопротивление нагрузки и две параллельные цепочки, каждая из которых содержит ключ K и неуправляемый вентиль (диод).

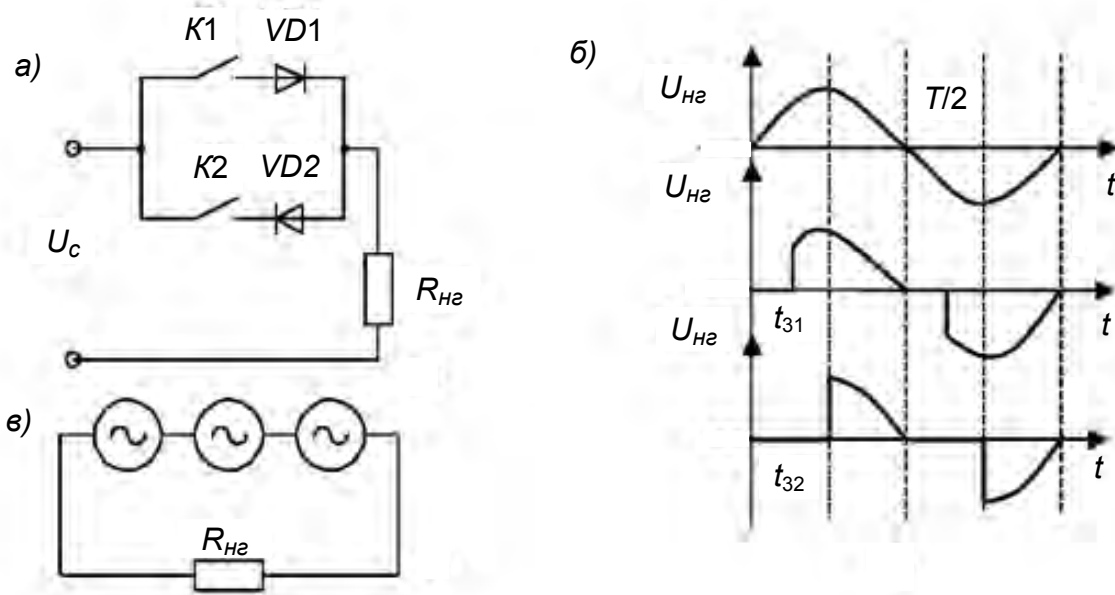


Рисунок 12 – Принципиальная (а) и эквивалентная (в) схемы однофазного регулятора напряжения и зависимости напряжений на нагрузке при разном времени запаздывания (б)

Допустим, что ключ $K1$ может замыкаться только в положительный полупериод напряжения, а в отрицательный он разомкнут. Ключ $K2$ работает аналогичным образом, но только замкнутое его состояние возможно в отрицательном полупериоде, а разомкнутое – в положительном. Рассмотрим работу схемы при следующих условиях.

В начале каждого положительного полупериода кривой напряжения ключ $K1$ замыкается и остается замкнутым до конца этого полупериода, а $K2$ при этом разомкнут; в течение каждого отрицательного полупериода состояния $K1$ и $K2$ изменяются на противоположные.

Если же $K1$ и $K2$ замыкаются с некоторым запаздыванием, то имеются интервалы времени, когда ток не проходит через нагрузку и напряжение на нагрузке равно нулю.

Следует отметить, что форма напряжения на нагрузке при наличии описанного запаздывания становится несинусоидальной. Таким образом, кривую напряжения на нагрузке при работе схемы на рисунке 12, а можно разложить в ряд Фурье на отдельные синусоидальные составляющие, причем частота изменения первой из них равна частоте питающего напряжения, а частоты других составляющих больше, чем первой. Указанная первая составляющая называется первой, или основной, гармоникой, а другие высшими гармониками.

На рисунке 12, в приведена эквивалентная схема, соответствующая схеме на рисунке 12, а. Вместо питающего напряжения показаны три источника напряжения, характеризующие первые три гармоники. При изменении времени задержки изменяется амплитуда первой гармоники напряжения на нагрузке. Поскольку один период синусоидального напряжения соответствует 360 град, то времени задержки соответствует пропорциональный этому времени угол регулирования

$$a = \frac{t}{T} \cdot 360. \quad (5)$$

Показанное на рисунке 13 соединение тиристоров называется встречно-параллельным. Оно обеспечивает поочередную работу каждого из тиристоров в течение одного полупериода частоты сети. На рисунке 13 приведена практическая схема управления АД с помощью ТРН, состоящего из трех пар встречно-параллельно соединенных тиристоров, каждая из которых включена в фазу нагрузки. Регулирование напряжения осуществляется изменением угла регулирования α . Управляющие импульсы подаются на все тиристоры со сдвигом во времени на определенную часть периода частоты сети. Это определяется тем, что управляющий импульс каждого тиристора должен быть сдвинут относительно напряжения фазы сети, к которой подключен тиристор, на один и тот же угол регулирования, а фазные напряжения сети для разных фаз сдвинуты относительно друг друга на 120 град.

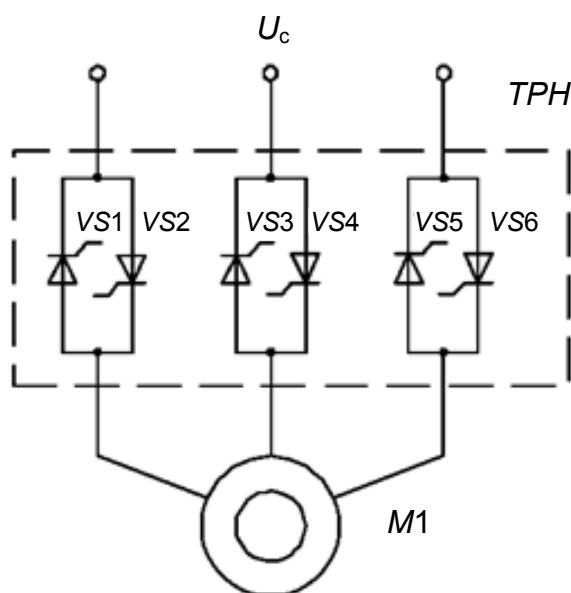
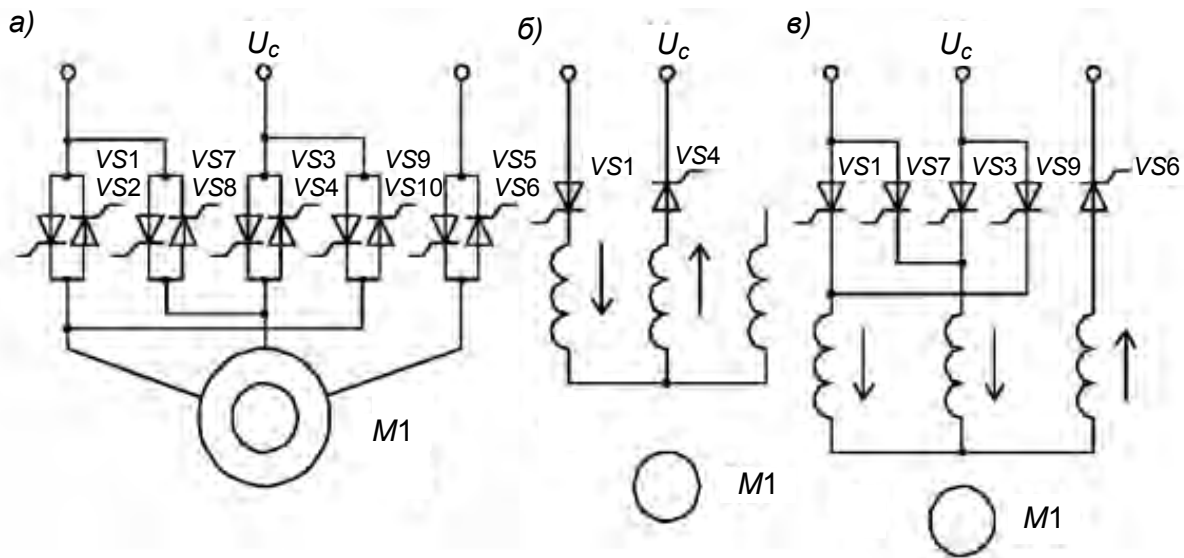


Рисунок 13 – Схема управления асинхронного двигателя с тиристорным регулятором напряжения

Тенденция регулирования подобна рассмотренной ранее. Увеличение угла регулирования приводит к уменьшению первой гармоники напряжения, что уменьшает момент АД (см. формулы (1) и (2)). Возможны также более сложные схемы организации ТРН (рисунок 14).



а – реверсивная схема ЭП; б и в – при динамическом торможении с однополупериодным (б) и двухполупериодным (в) выпрямлением тока

Рисунок 14 – Схемы электрические ТРН

Возникающие на выходе ТРН высшие гармоники напряжения оказывают определенное влияние на работу АД. Каждая из них определяет прохождение дополнительного тока в обмотках двигателя. Этот ток вызывает соответствующие дополнительные потери в обмотках. Анализ показывает, что в случае питания АД от регулятора по схеме (см. рисунок 13) потери на 10...20 % больше, чем при питании двигателя от источника изменяющегося синусоидального напряжения. Вместе с тем следует отметить, что высшие гармоники напряжения оказывают незначительное влияние на момент двигателя. Характеристики, приведенные на рисунке 15, не всегда удовлетворяют целям регулирования частоты вращения АД. Очевидно, что с увеличением угла регулирования снижается критический момент двигателя и падает жесткость его МХ. Таким образом, при возможных колебаниях момента сопротивления механизма M_c скорость его движения может резко изменяться, что в большинстве случаев недопустимо. Пусть, например, момент сопротивления на валу АД равен M_{c1} (см. рисунок 15). Если угол регулирования равен 75 град, то рабочая точка ЭП соответствует точке 1. При увеличении момента сопротивления до M_{c2} двигатель начнет замедляться до останова, т. к. его критический момент меньше M_{c2} . В то же время по условиям технологического процесса допустимо уменьшение частоты вращения до n_2 . Очевидно, что для выполнения этого требования должен быть уменьшен угол регулирования до 60 град, при этом момент двигателя увеличится с увеличением амплитуды фазного напряжения и рабочая точка ЭП переместится в точку 2. Таким образом, понятно, что необходимо регулировать фазное напряжение, изменяя угол регулирования в зависимости от момента сопротивления рабочего органа ЭП. Это может быть обеспечено с помощью системы автоматического управления.

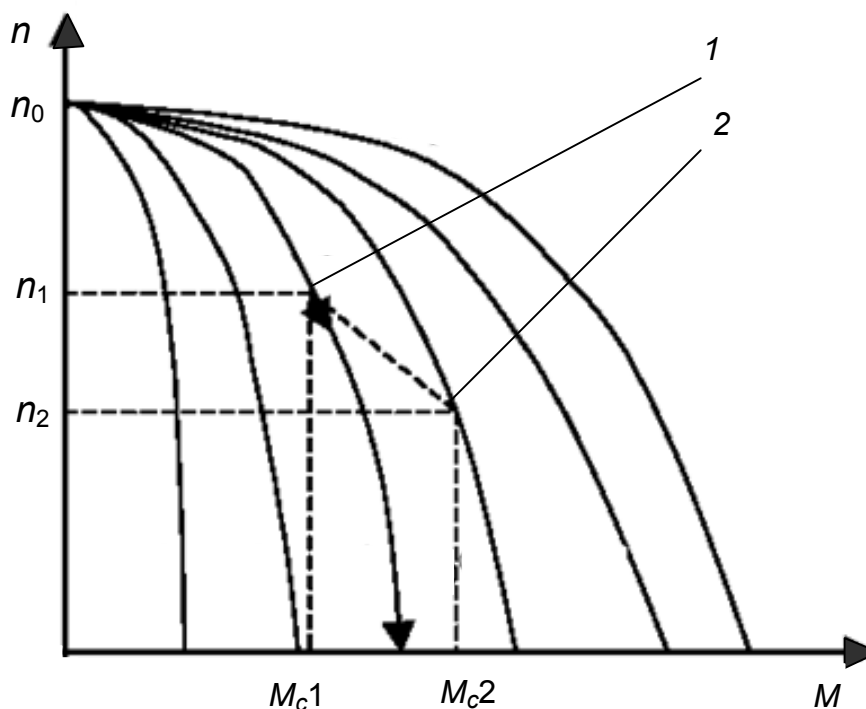


Рисунок 15 – Механические характеристики асинхронного электропривода с тиристорными регуляторами напряжения при различных углах регулирования

Методы управления:

- горизонтальный (формирование УИ осуществляется в момент перехода синусоидального напряжения через нуль, а изменение фазы обеспечивается изменением фазы синусоидального напряжения, т. е. смещение его по горизонтали);
- вертикальный (формирование УИ производится в результате сравнения на нелинейном элементе величин переменного и постоянного напряжений; в момент равенства этих напряжений и изменения знака разности напряжений формируется импульс).

4.2 Описание тиристорного регулятора напряжения ТРН-380-10-3 УХЛ4

Условия эксплуатации:

- высота над уровнем моря – не более 1000 м;
- температура окружающей среды от – плюс 1 до плюс 35 °С;
- относительная влажность окружающей среды – до $(80 \pm 2) \%$ при температуре плюс 25 °С без конденсации влаги.

Функции защиты.

Электрическая схема регулятора обеспечивает следующие виды защит:

- от токовой перегрузки более 100 % от номинального тока ТРН;
- от обрыва фазы в нагрузке;
- от обрыва фазы питающей сети;
- от превышения температуры радиатора силовых полупроводниковых элементов;

- от минимального тока (невключение одного из тиристорov);
- от пониженного (менее 70 % от номинального) и повышенного (более 20 % от номинального) напряжения сети.

Особенности работы.

Регулирование производится путем управления фазой открытия тиристорov. Степень открытия тиристорov контролируется встроенными регуляторами тока, которые непрерывно следят за величинами фазных токов (измеряемых тремя датчиками тока). Регуляторы, изменяя угол управления тиристорами, стремятся сделать среднеквадратичное значение тока нагрузки равным заданному значению (рисунок 16).

Тиристорные регуляторы могут работать в двух режимах: в режиме поддержания заданного тока нагрузки и режиме пропорционального регулирования выходного напряжения (таблица 2).

Таблица 2 – Технические характеристики ТРН–380–10–3 УХЛ4

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение сети U_n , В	380 В \pm 20 %
Частота сети, Гц	(50 \pm 2)
Количество фаз	3
Номинальный ток I_n , А	100 А \pm 10 %
Диапазон регулирования выходного напряжения, В	0... U_n
Диапазон регулирования тока, А	0... I_n
Погрешность измерения среднеквадратичного значения тока, %	\pm 3 %
Аналоговые входы	3
Сигнал управления на аналоговом входе (по выбору)	От 0 до 20 мА ($R_{вх} = 250$ Ом) От 0 до + 5 В ($R_{вх} > 100$ кОм) От 0 до + 10 В ($R_{вх} > 5$ кОм)
Аналоговые выходы	Три неизолированных токовых выхода от 0 до 20 мА ($R_n < 750$ Ом)
Дискретные входы	Три неизолированных входа
Напряжение управления дискретных входов, В	От 0 до +12 (или + 24)
Входное сопротивление дискретного входа, кОм, не менее	4,7
Два релейных дискретных выхода	«Работа» «Отказ»
Нагрузочная способность дискретного выхода	2 А, 220 В
Коммуникационный интерфейс	Изолированный ($U_{из} = 1000$ В) RS–485; протокол MODBUS RTU; скорости 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200; нагрузочная способность – 128 устройств
Степень защиты от внешних воздействий	IP22
Рабочее положение	Вертикальное \pm 15°
Охлаждение	Воздушное, принудительное

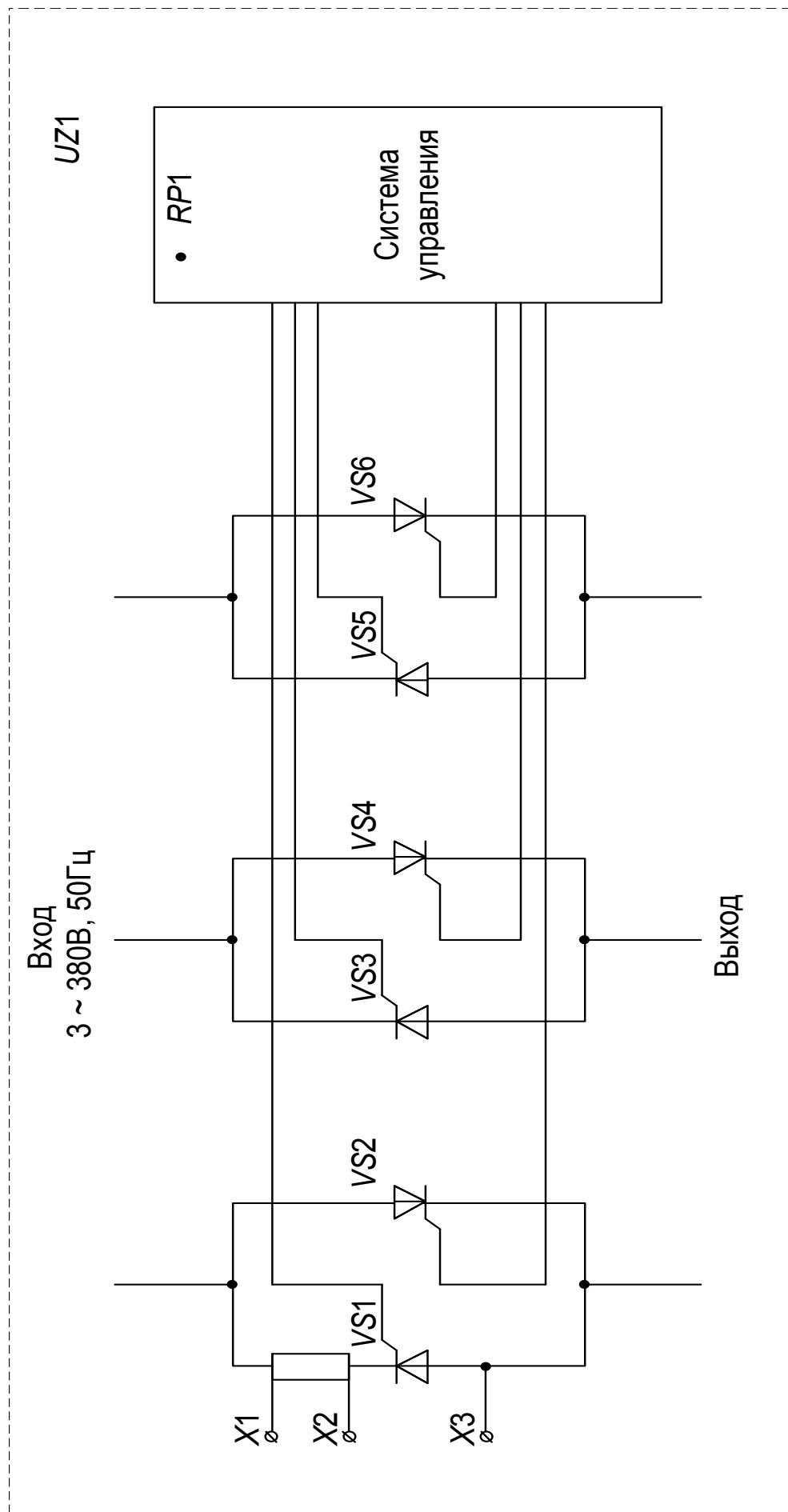


Рисунок 16 – Схема электрическая принципиальная силовой части преобразователя ТРН

Конструкция.

Регулятор выполнен в виде прямоугольного закрытого металлического корпуса двух типоразмеров. Сверху и снизу на задней стенке корпуса имеется по отверстию для крепления ТРН на плоскую вертикальную поверхность. Спереди корпус закрывается съемной крышкой, на которой расположен пульт индикации и настройки.

Составные части регулятора:

- шасси с вентилятором охлаждения и воздушным каналом;
- охладитель с тремя тиристорными модулями;
- силовые проводники, соединяющие выводы тиристорных модулей с силовыми зажимами. Три входных и три выходных зажима;
- три трансформатора тока;
- рейка с платами *RC*-цепей тиристоров и импульсными трансформаторами;
- панель с платой управления и трансформатором питания собственных нужд;
- модуль индикации и настройки, расположенный на крышке шасси.

Задание

1 Ознакомиться с конструкцией преобразователя. Ознакомиться с электрооборудованием стенда. Изучить схему установки (см. рисунок 16).

2 Выполнить описание работы силовой части преобразователя на уровне временных диаграмм напряжения и тока её элементов.

3 Записать данные измерительных приборов в таблицу 3.

Таблица 3 – Данные измерительных приборов

Обозначение на схеме	Система прибора	Класс точности	Предел измерения	Цена деления

4 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов при активной нагрузке.

5 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов при активно-индуктивной нагрузке.

6 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов при двигательной нагрузке.

7 Сделать обработку полученных данных. Провести анализ результатов лабораторной работы и составить подробный отчет.



4.3 Порядок выполнения работы

Перед началом проведения опыта необходимо ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. В процессе проведения опыта следует выполнить описание режимов работы силовой части согласно схеме на уровне временных диаграмм напряжения и токов ее элементов, определить последовательность подключения контрольных гнезд для исследования электромагнитных процессов.

Исследование электромагнитных процессов при активной нагрузке

- 1 Собрать электрическую схему по рисунку 10, соединив точки ХТ18–ХТ19, ХТ21–ХТ22, ХТ24–ХТ25.
- 2 Общий вывод осциллографа соединить с клеммой ХТ51.
- 3 Установить регулятор напряжения РР2 в крайнее левое положение, которое соответствует минимальному выходному напряжению.
- 4 Включить вводной автоматический выключатель QF1.
- 5 Включить осциллограф в сеть и прогреть 10 мин.
- 6 Нажать кнопку SB3.
- 7 Щуп осциллографа поставить в точку ХТ30.
- 8 Снять диаграмму напряжения в фазе С. Занести её в отчёт.
- 9 Щуп осциллографа поставить в точку ХТ31.
- 10 Снять диаграмму напряжения в фазе В. Занести его в отчёт.
- 11 Щуп осциллографа поставить в точку ХТ32.
- 12 Снять диаграмму напряжения в фазе А. Занести её в отчёт.
- 13 Нажать кнопку SB1.
- 14 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.
- 15 Для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке соединить клеммы ХТ39–ХТ40, ХТ42–ХТ43, ХТ45–ХТ46.
- 16 Для снятия формы напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ51, а щуп в ХТ30.
- 17 Для подачи напряжения на стенд включить QF1.
- 18 Нажать кнопку SB3.
- 19 Снять диаграмму напряжения на нагрузке. Занести её в отчёт.
- 20 Нажать кнопку SB1.
- 21 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.
- 22 Для снятия формы тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ34, а щуп в ХТ30.
- 23 Снять диаграмму тока на нагрузке. Занести её в отчёт.
- 24 Нажать кнопку SB1.
- 25 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.



Исследование электромагнитных процессов при индуктивной нагрузке

1 Для снятия электромагнитных процессов на индуктивной нагрузке соединить клеммы ХТ40–ХТ48, ХТ43–ХТ49, ХТ46–ХТ50.

2 Для снятия формы напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ51, а щуп в ХТ30.

3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1.

4 Нажать кнопку SB3.

5 Снять диаграмму напряжения на нагрузке. Занести её в отчёт.

6 Нажать кнопку SB1.

7 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.

8 Для снятия формы тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ34, а щуп в ХТ30.

9 Для подачи напряжения на стенд включить QF1.

10 Нажать кнопку SB3.

11 Снять диаграмму тока на нагрузке. Занести её в отчёт.

12 Нажать кнопку SB1.

13 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.

Исследование электромагнитных процессов при двигательной нагрузке

1 Для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке соединить клеммы ХТ40–ХТ41, ХТ43–ХТ44, ХТ46–ХТ47.

2 Для снятия формы напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ51, а щуп в ХТ30.

3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 и QF2.

4 Нажать кнопку SB3. Включить переключатель SA1.

5 Нагрузить двигатель М1, увеличив напряжение на обмотке возбуждения генератора М2, путем поворота ручки регулятора RP4. Снять диаграмму напряжения на нагрузке. Занести её в отчёт.

6 Нажать кнопку SB1.

7 Выключить автоматические выключатели QF1 и QF2.

8 Для снятия формы тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ34, а щуп в ХТ30.

9 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 и QF2.

10 Нажать кнопку SB3.

11 Снять диаграмму тока на нагрузке. Занести её в отчёт.

12 Нажать кнопку SB1.

13 Выключить автоматические выключатели QF1 и QF2.



Контрольные вопросы

- 1 Принцип действия и назначение узлов ТРН.
- 2 Области применения ТРН. Классификация ТРН.
- 3 Принцип горизонтального управления в СИФУ.
- 4 Принцип вертикального управления в СИФУ.
- 5 Способы регулирования частоты вращения АД.
- 6 Эквивалентная схема ТРН.
- 7 Схема управления АД с помощью ТРН.
- 8 Механические характеристики АД с ТРН при различных углах регулирования.
- 9 Описание тиристорного регулятора напряжения.
- 10 Методы управления АД с ТРН.
- 11 Условия эксплуатации и функции защиты ТРН.
- 12 Конструкция ТРН и её особенности работы.
- 13 Способы управления ТРН.
- 14 Особенности работы устройства ТРН–380–10–3 УХЛ4.
- 15 Особенности и недостатки устройства ТРН. Применение в промышленности.
- 16 Импульсные способы регулирования переменного напряжения.
- 17 Виды регуляторов переменного напряжения.

5 Лабораторная работа № 6. Исследование режимов работы и определение параметров устройства плавного пуска АДКЗ

Цель работы: исследовать режимы работы устройств для плавного пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором; определить параметры устройств для плавного пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

5.1 Краткие теоретические сведения

Асинхронные двигатели массово используются в промышленности и потребляют около 80 % электрической энергии, которая производится в мире. Наряду с многочисленными преимуществами, асинхронные двигатели имеют существенный недостаток – большой пусковой ток, который в 5...7 раз превышает номинальный.

Для двигателей большой мощности при прямом пуске возникает просадка питающего напряжения из-за перегрузки трансформаторного ввода и падения напряжения на проводах, вследствие чего электрооборудование, подключенное к этому вводу, может самопроизвольно отключиться (контакторы), может сработать аварийная защита от перегрузки по току на трансформаторной подстанции или аварийная защита от пониженного напряжения, произойти сбой



электронного оборудования и т. д. Кроме электрических перегрузок асинхронного двигателя и трансформаторной подстанции, возникают механические перегрузки как асинхронного двигателя, так и приводного механизма.

До недавнего времени основным техническим решением, позволяющим ограничить пусковые токи, было переключение обмоток двигателя со «звезды» на «треугольник». Такое переключение возможно только в том случае, если напряжение двигателя, при соединении обмоток «звезда»/«треугольник» будет равным 660 или 380 В соответственно.

Устройство плавного пуска позволяет ограничивать пусковой ток асинхронного двигателя за счет изменения (регулирования) напряжения на его обмотках. В качестве регулирующего элемента используются встречно-параллельно включенные тиристоры. Изменяя угол отпирания тиристоров, можно регулировать напряжение на обмотках двигателя. Устройство плавного пуска позволяет регулировать напряжение в функции времени и в функции тока.

Устройство плавного пуска, в котором напряжение является функцией от времени, позволяет плавно изменять напряжение от нуля до уровня напряжения сети за фиксированное время, которое может быть задано. При этом ток двигателя не контролируется и не осуществляется защита двигателя от токов перегрузки и короткого замыкания. Вопрос защиты асинхронных двигателей решается отдельно.

Устройство плавного пуска, оснащенное датчиками тока, позволяет регулировать напряжение в функции тока, т. е. регулировать напряжение так, чтобы ток в процессе разгона оставался постоянным. Такой режим особенно эффективен при разгоне приводов с большим моментом инерции. При этом ток контролируется и осуществляется полная защита как двигателя, так и приводного механизма.

Для регулирования напряжения на статоре асинхронного двигателя могут использоваться различные электротехнические устройства: автотрансформаторы, магнитные усилители и тиристорные регуляторы напряжения (ТРН). Последние получили в настоящее время наибольшее распространение из-за высокого КПД, простоты в обслуживании, легкости автоматизации работы электропривода. Рассмотрим принцип действия ТРН и основанную на его использовании систему ЭП «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» (ТРН – АД).

Силовая часть однофазного ТРН (рисунок 17, *a*) образована двумя тиристорами VS1 и VS2, включенными по встречно-параллельной схеме, которая обеспечивает протекание тока в нагрузке в оба полупериода напряжения сети U_1 . Тиристоры получают импульсы управления U_a от СИФУ, которая обеспечивает их сдвиг на угол управления α в функции внешнего сигнала управления U_y .

Подача импульсов управления на тиристоры осуществляется с некоторой задержкой относительно предельного режима (угол управления α), к нагрузке будет прикладываться часть напряжения сети (рисунок 17, *b*).

Изменяя угол управления α от нуля до π , можно регулировать напряжение на нагрузке от полного напряжения сети до нуля.

На основе однофазной схемы создаются трехфазные схемы для регулиро-



вания напряжения на статоре АД. Такая схема, состоящая из шести тиристоров VS1–VS6, показана на рисунке 18.

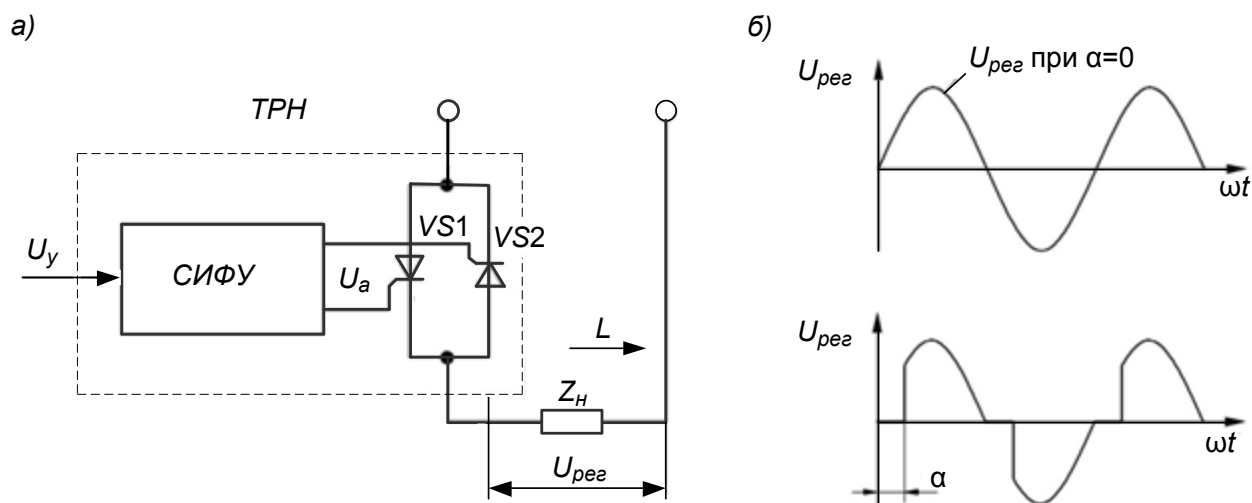
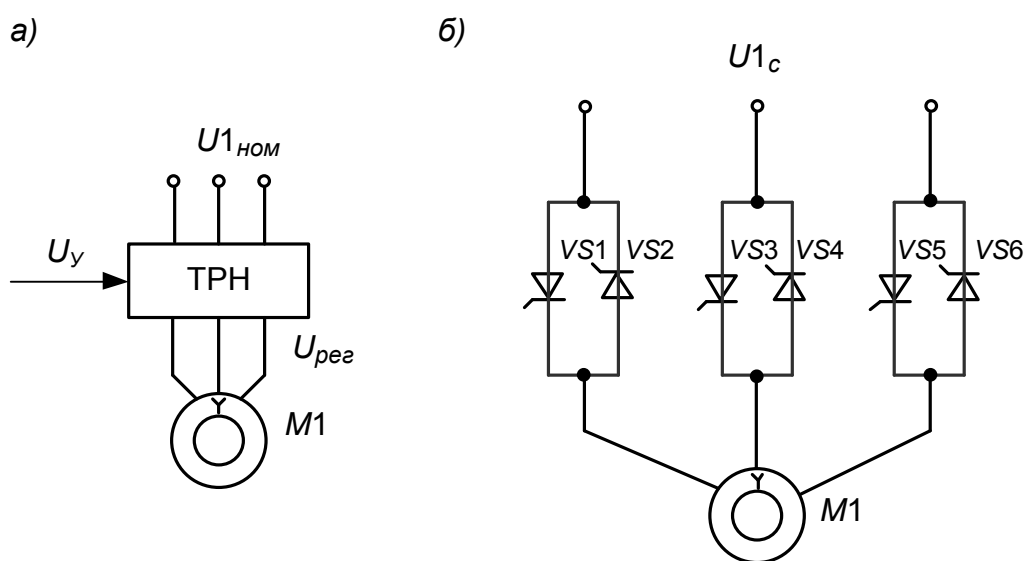


Рисунок 17 – Схема (а) и кривые напряжения (б) однофазного тиристорного регулятора напряжения



а – общая; б – силовая часть

Рисунок 18 – Схемы включения тиристорного регулятора напряжения на трехфазной нагрузке

За счет добавления в эту схему двух пар тиристоров создаются реверсивные схемы электропривода, а с помощью соответствующего управления ТРН могут обеспечивать и динамическое торможение двигателей.

Форма напряжения на нагрузке является несинусоидальной. Несинусоидальное напряжение можно представить как совокупность нескольких синусоидальных напряжений – гармоник, каждая из которых изменяется с определен-

ной частотой. Частота изменения первой из них (основной гармоники) равна частоте питающего напряжения, а частота других гармоник больше, чем первой. Обычно первая гармоника имеет наибольшую амплитуду, и по ней ведутся все основные расчеты.

5.2 Общие сведения о ТРН серии ES

«Мягкий пускатель» осуществляет плавный бесконтактный пуск двигателя, вследствие чего удается избежать искрения или эрозии контактных элементов, альтернативой которым в пускателе являются полупроводниковых элементы – тиристоры. При достижении номинального напряжения двигателя тиристоры шунтируются встроенным контактором и двигатель включается напрямую в сеть. Срок службы пускателей серии ES значительно превышает период эксплуатации традиционных контакторов. «Мягкие пускатели» просты в установке и управлении. Управление в «мягких пускателях» серии ES может осуществляться как путем подачи внешнего сигнала, так и путем прямой подачи напряжения на двигатель через пускатель.

Тиристорный регулятор напряжения ES-400–3 (внешний вид изображен на рисунке 19) применяется при пуске трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором мощностью до 1,1 кВт. Номинальный ток преобразователя – 3 А. Номинальное напряжение – 380 В. Масса – 270 г.



Рисунок 19 – Внешний вид «мягкого пускателя» ES-400–3

«Мягкий пускатель» предназначен для плавного пуска и останова трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. При его использовании достигается уменьшение напряжения (износа) на зубчатых, ременных/цепных передачах и обеспечивается уравновешенная работа электродвигателя. Плавный запуск обеспечивается изменением уровня напряжения,

подаваемого на двигатель. По окончании процедуры пуска полупроводниковые элементы шунтируются встроенным электромеханическим контактором.

«Мягкий пускатель» типа ES-400–3 не может функционировать в нормальном режиме, если температура на радиаторе превышает 100 °С, соответственно, «мягкий пускатель» не может осуществить разгон двигателя. При уменьшении температуры ниже критической запуск двигателя будет снова доступен. Кроме того, при обрыве цепи питания имеется возможность перезапустить двигатель.

Чтобы осуществить плавный запуск (управление от сети) двигателя, необходимо включить в цепь «мягкий пускатель»:

- подсоединить кабель, идущий к двигателю, на клеммы «мягкого пускателя»;
- подсоединить к управляющим клеммам две фазы. Установить минимальный начальный момент, а время разгона и торможения поставить на максимум;
- подать питание, а после отрегулировать начальный момент так, чтобы ротор двигателя начал вращаться мгновенно после подачи питания, и отрегулировать время пуска.

Технические характеристики «мягкого пускателя» ES-400–3 представлены в таблицах 4 и 5.

При использовании контактора К1 пускатель будет осуществлять плавный пуск двигателя. Когда К1 будет выключен, двигатель остановится самостоятельно, а пускатель сбросится в исходное состояние. Следующий запуск может быть осуществлен через 0,5 с.

Пускатель не обеспечивает изоляции двигателя от источника питания. Поэтому контактор К1 необходим в качестве такого устройства для осуществления выключения.

Таблица 4 – Технические характеристики пускателя ES-400–3

Точность установок при разгоне, с	< 0,5 с – в положении минимум 5,5...7,5 с – в положении максимум
Точность установок при останове, с	< 0,5 с – в положении минимум 6...10 с – в положении максимум
Точность установок начального момента, %	15 % в положении максимум < 5 % в положении минимум
Соответствие нормам EMC	Электромагнитная совместимость по стандарту EN 50–082–2
Степень защиты	IP20
Рабочая температура, °С	От –20 до +50
Температура хранения, °С	От –50 до +85
Сечения клемм, мм ²	2,5
Минимальное сечения клемм, мм ²	0,5
Максимальный момент затяжки, Н·м	0,4
Начальный момент, % от номинального	0...85
Время разгона, с	0,5...5
Время торможения, с	0,5...5



Мягкий пуск и остановка двигателя: когда контакты контактора К1 находятся в замкнутом положении, мягкий пуск двигателя будет осуществлен согласно установке времени разгона потенциометром и начального момента. Когда выключатель S1 находится в разомкнутом состоянии, плавный останов будет осуществлен согласно установке времени останова.

Таблица 5 – Время разгона и торможения для ТРН ES-400–3

I, А	Время разгона/торможения, с		
	Положение 1	Положение 2	Положение 3
18	15	30	900
15	12	20	60
12	10	20	50
9	8	12	30
6	5	9	25
3	2	5	20
1.5	1	2	5

«Мягкий пускатель» обеспечивает шунтирование полупроводниковых элементов во время работы двигателя. Следовательно, полупроводниковые элементы могут быть повреждены только током короткого замыкания в течение разгона или торможения. Кроме использования трехполюсного автомата защиты, возможно дополнительно защитить полупроводниковые элементы от тока короткого замыкания быстродействующими предохранителями в соответствии с рекомендациями производителя.

5.3 Общие сведения об устройстве плавного пуска УБПВД-ВЦ

Устройства, выполненные по принципу тиристорного регулятора напряжения, обеспечивают ограничение скорости нарастания и значения пускового тока электродвигателя изменением углов отпирания тиристоров через систему импульсно-фазового управления (СИФУ). В течение заданного времени пуска электродвигателя происходит плавное нарастание напряжения на обмотках статора от нуля до номинального значения.

Пусковой ток увеличивается плавно с заданным токоограничением, не создавая ударных электромагнитных моментов, отрицательно сказывающихся на электродвигателе и механизме.

Устройства плавного пуска УБПВД-ВЦ имеют цифровую систему управления, обеспечивающую удобное программирование настройки параметров.

В устройствах плавного пуска предусмотрена связь по высокопроизводительному интерфейсу RS-485 для возможности дистанционного управления от АСУ ТП. Удобный пользовательский интерфейс обеспечивает максимально улучшенные сервисно-эксплуатационные характеристики устройств плавного пуска.

Силовая часть устройств состоит из трех тиристорных высоковольтных блоков, установленных на выкатных элементах в каждой фазе главных цепей

устройства, высоковольтных разъединителей, позволяющих отключать вводы и выводы устройства, высоковольтных трансформаторов тока для обеспечения обратной связи по току и ограничителей напряжения на вводе устройства, соединенных в «звезду».

Каждый тиристорный высоковольтный блок содержит два силовых блока из трех (для исполнений на 6 кВ) и из пяти (для исполнений на 10 кВ) последовательно соединенных высоковольтных тиристоров. Тиристоры выбраны с таким расчетом, что при выходе из строя хотя бы одного из тиристоров в каждом из силовых блоков («закоротка» во время работы) устройство остается работоспособным, а оставшиеся в работе тиристоры в закрытом состоянии выдерживают рабочее напряжение.

Силовые блоки включены встречно-параллельно, и каждый тиристор одного блока соединен с соседним другого блока, образуя реверсивные пары, состояние каждой из которых контролируется блоками контроля с высоковольтной оптронной развязкой. Информация об исправном состоянии тиристоров перед пуском разрешает начать процесс регулируемого пуска двигателя (сигнализация «Разрешение включения»). Для постоянного контроля состояния тиристоров может быть введен дополнительно блок высоковольтных резисторов, подключаемый к выводам тиристорных высоковольтных блоков.

Для выравнивания напряжений между последовательно соединенными парами тиристоров в закрытом состоянии предусмотрены делители напряжения на высоковольтных резисторах, включенных последовательно с входными цепями высоковольтных оптронных развязок, параллельно которым установлены защитные стабилитроны.

К зажимам «управляющий электрод – катод» силовых тиристоров подключены блоки ввода высоковольтных импульсных развязывающих трансформаторов, первичные обмотки которых для управления каждым силовым блоком соединены по схеме токовой петли. По этой схеме во всех блоках ввода одной токовой петли вырабатываются импульсы управления тиристорами одного силового блока для одновременного отпирания последних.

В устройствах плавного пуска УБПВД-ВЦ предусмотрены четыре регулируемые уставки начального токоограничения с равномерной шкалой (от 1,0 до 4,0 $I_{ном}$) для обеспечения возможности запуска с помощью одного устройства нескольких двигателей разной мощности, а также регулируемые уставки времени разгона в пределах до 60 с, выбираемые дистанционно.

Задание

1 Ознакомиться с конструкцией преобразователя. Ознакомиться с электрооборудованием стенда. Изучить схему установки.

2 Выполнить описание работы силовой части преобразователя согласно схеме, представленной на рисунке 20, на уровне временных диаграмм напряжения и тока ее элементов.

3 Записать паспортные данные электрических машин, преобразователя и измерительных приборов в таблицу 6.



Таблица 6 – Данные измерительных приборов

Обозначение на схеме	Система прибора	Класс точности	Предел измерения	Цена деления

4 Собрать схему, представленную на рисунке 10.

5 Исследовать временные диаграммы преобразователя при активной нагрузке.

6 Исследовать временные диаграммы преобразователя при активно-индуктивной нагрузке.

7 Исследовать временные диаграммы преобразователя при двигательной нагрузке.

9 Построить графики электромагнитных процессов.

10 Сделать обработку полученных данных. Провести анализ результатов лабораторной работы и составить подробный отчет.

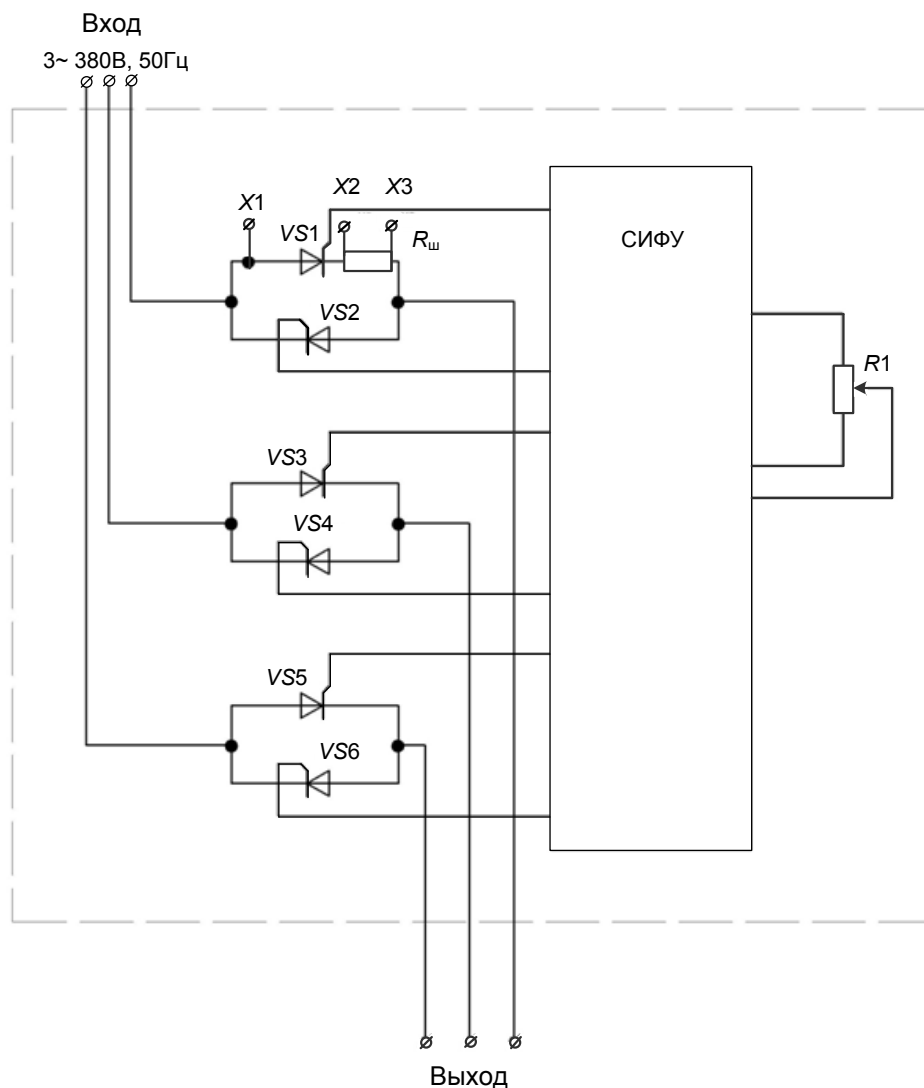


Рисунок 20 – Схема силовой части устройства плавного пуска на тиристорах

5.4 Порядок выполнения работы

Перед началом проведения опыта необходимо ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. В процессе проведения опыта следует выполнить описание режимов работы силовой части тиристорного регулятора напряжения согласно схеме, представленной на рисунке 20, на уровне временных диаграмм напряжения и тока на ее элементах, определить последовательность подключения контрольных гнезд для исследования электромагнитных процессов.

Исследование электромагнитных процессов при активной нагрузке

- 1 Собрать электрическую схему по рисунку 10, соединив точки ХТ17–ХТ18, ХТ19–ХТ21, ХТ23–ХТ24.
- 2 Общий вывод осциллографа соединить с клеммой ХТ51.
- 3 Установить регулятор напряжения РР1 в крайнее левое положение, которое соответствует минимальному выходному напряжению.
- 4 Включить вводной автоматический выключатель QF1.
- 5 Включить осциллограф в сеть и прогреть 10 мин.
- 6 Нажать кнопку SB2.
- 7 Щуп осциллографа поставить в точку ХТ30.
- 8 Снять диаграмму напряжения в фазе С. Занести её в отчёт.
- 9 Щуп осциллографа поставить в точку ХТ31.
- 10 Снять диаграмму напряжения в фазе В. Занести её в отчёт.
- 11 Щуп осциллографа поставить в точку ХТ32.
- 12 Снять диаграмму напряжения в фазе А. Занести её в отчёт.
- 13 Нажать кнопку SB1.
- 14 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.
- 15 Для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке соединить клеммы ХТ39–ХТ40, ХТ42–ХТ43, ХТ45–ХТ46.
- 16 Для снятия формы напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ51, а щуп в ХТ30.
- 17 Для подачи напряжения на стенд включить QF1.
- 18 Нажать кнопку SB2.
- 19 Снять диаграмму напряжения на нагрузке. Занести её в отчёт.
- 20 Нажать кнопку SB1.
- 21 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.
- 22 Для снятия формы тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ34, а щуп в ХТ30.
- 23 Снять диаграмму тока на нагрузке. Занести её в отчёт.
- 24 Нажать кнопку SB1.
- 25 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.



Исследование электромагнитных процессов при индуктивной нагрузке

- 1 Для снятия электромагнитных процессов на индуктивной нагрузке соединить клеммы ХТ40–Т48, ХТ43–ХТ49, ХТ46–ХТ50.
- 2 Для снятия формы напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ51, а щуп в ХТ30.
- 3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1.
- 4 Нажать кнопку SB2.
- 5 Снять диаграмму напряжения на нагрузке. Занести её в отчёт.
- 6 Нажать кнопку SB1.
- 7 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.
- 8 Для снятия формы тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ34, а щуп в ХТ30.
- 9 Для подачи напряжения на стенд включить QF1.
- 10 Нажать кнопку SB2.
- 11 Снять диаграмму тока на нагрузке. Занести её в отчёт.
- 12 Нажать кнопку SB1.
- 13 Выключить вводной автоматический выключатель QF1.

Исследование электромагнитных процессов при двигательной нагрузке

- 1 Для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке соединить клеммы ХТ40–ХТ41, ХТ43–ХТ44, ХТ46–ХТ47.
- 2 Для снятия формы напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ51, а щуп в ХТ30.
- 3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 и QF2.
- 4 Нажать кнопку SB2. Включить переключатель SA1.
- 5 Нагрузить двигатель М1, увеличив напряжение на обмотке возбуждения генератора М2, путем поворота ручки регулятора RP4. Снять диаграмму напряжения на нагрузке. Занести её в отчёт.
- 6 Нажать кнопку SB1.
- 7 Выключить автоматические выключатели QF1 и QF2.
- 8 Для снятия формы тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в ХТ34, а щуп в ХТ30.
- 9 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 и QF2.
- 10 Нажать кнопку SB2.
- 11 Снять диаграмму тока на нагрузке. Занести её в отчёт.
- 12 Нажать кнопку SB1.
- 13 Выключить автоматические выключатели QF1 и QF2.

Контрольные вопросы

- 1 Особенности работы тиристора.
- 2 Устройство тиристорного регулятора напряжения.
- 3 Способ управления работы ТРН.



- 4 Назначение устройства для плавного пуска ES-400–3.
- 5 Основные узлы и элементы устройств плавного пуска.
- 6 Возможно ли применение симисторов в схемах ТРН и почему?
- 7 Причины появления преобразователей для плавного пуска асинхронных двигателей.
- 8 Особенности устройства плавного пуска УБПВД-ВЦ.
- 9 Достоинства и недостатки устройств плавного пуска, применение в промышленности.
- 10 Основные проблемы АД.
- 11 Основные характеристики устройств плавного пуска серии PSE.
- 12 Основные преимущества устройств плавного пуска серии PSE.
- 13 Принцип работы ТРН.
- 14 Способы подключения ТРН в схему.
- 15 Экономические предпосылки использования устройств плавного пуска.
- 16 Дополнительные функции современных устройств плавного пуска.
- 17 Остановка электродвигателя с помощью устройства плавного пуска.
- 18 Виды устройств плавного пуска. В чем их особенность?
- 19 Разработка уникальных устройств плавного пуска.
- 20 Схемы регулирования устройств плавного пуска.



Список литературы

- 1 Использование стандартов в курсовом и дипломном проектировании : метод. указания / Сост. Г. С. Ленеvский, А. Н. Шапчиц. – Могилев : МГТУ, 2002. – Ч. 1–3.
- 2 **Замятин, В. Я.** Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: справочник / В. Я. Замятин, Б. В. Кондратьев, В. М. Петухов. – Москва : Радио и связь, 1987. – 576 с.
- 3 **Попков, О. З.** Основы преобразовательной техники: учебное пособие для вузов / О. З. Попков. – 2-е изд., стер. – Москва: МЭИ, 2007. – 200 с.
- 4 **Руденко, В. С.** Преобразовательная техника / В. С. Руденко, В. Н. Сенько, И. М. Чиженко. – Киев : Вища школа, 1978. – 430 с. : ил.
- 5 **Рама Редди, С.** Основы силовой электроники / С. Рама Редди. – Москва: Техносфера, 2006. – 288 с.
- 6 **Чванов, В. А.** Перспективная преобразовательная техника / В. А. Чванов // Электротехника. – 2006. – № 9. – С. 61–65.
- 7 **Виноградов, А. Б.** Учет потерь в стали, насыщения и поверхностного эффекта при моделировании динамических процессов в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе / А. Б. Виноградов // Электротехника. – 2005. – № 5. – С. 57–61.
- 8 **Фираго, Б. И.** Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск : Техноперспектива, 2006. – 363 с.
- 9 **Евзеров, И. Х.** Комплектные тиристорные электроприводы : справочник / И. Х. Евзеров, А. С. Городец, Б. Н. Мошкович ; под ред. В. М. Перельмутера. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с. : ил.
- 10 **Глазенко, Т. А.** Тиристорные ШИП для систем ЭП постоянного тока / Т. А. Глазенко. – Ленинград : ЛДНТП, 1968. – 38 с. : ил.
- 11 **Герман-Галкин, С. Г.** Широтно-импульсные преобразователи / С. Г. Герман-Галкин. – Ленинград : Энергия, 1979. – 96 с. : ил.
- 12 **Руденко, В. С.** Основы преобразовательной техники / В. С. Руденко. – Ленинград : Высшая школа, 1980. – 421 с.
- 13 **Алексеева, Н. Н.** Тиристорные регулируемые электроприводы постоянного тока / Н. Н. Алексеева, Г. И. Андреев, Ю. Я. Морговский. – Москва : Энергия, 1970. – 136 с.
- 14 **Остриров, В. Н.** Опыт создания преобразовательной техники для регулируемых электроприводов / В. Н. Остриров // Приводная техника. – 2007. – № 5 (69). – С. 9–13.
- 15 **Соколовский, Г. Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для вузов / Г. Г. Соколовский. – 2-е изд., испр. – Москва : Академия, 2007. – 272 с.

