

Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Магистерская программа «Электроприводы и системы управления  
электроприводов»  
Изменения и дополнения к РПД Б1.В.ОД.1  
«Элементы и схемотехника силовой электроники»



Приложение 3. РПД Б1.В.ОД.1

**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
в г. Смоленске**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Зам. директора  
филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
в г. Смоленске  
по учебно-методической работе  
**В.В. Рожков**  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**Изменения и дополнения к  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЭЛЕМЕНТЫ И СХЕМОТЕХНИКА СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

---

**Направление подготовки: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Магистерская программа: Электроприводы и системы управления электроприводов**

**Уровень высшего образования: магистратура**

**Нормативный срок обучения: 2 года**

**Форма обучения: очная**

**Шифр дисциплины по учебному плану 2016/2017 уч. года: Б1.В.ОД.3**

**Смоленск – 2016 г.**

По тексту исходной РПД.

### 3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

#### Аудиторная работа

Цикл:	Б1	Семестр
Часть цикла:	вариативная	
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.В.ОД.3	
Часов (всего) по учебному плану:	180	1 семестр
Трудоемкость в зачетных единицах (ЗЕТ)	5	1 семестр
Лекции (ЗЕТ, часов)	1, 36	1 семестр
Практические занятия (ЗЕТ, часов)	0.5, 18	1 семестр
Лабораторные работы (ЗЕТ, часов)	0.5, 18	1 семестр
Объем самостоятельной работы по учебному плану (ЗЕТ, часов всего)	2, 72	1 семестр
Экзамен (ЗЕТ, часов)	1, 36	1 семестр

#### Самостоятельная работа студентов

Вид работ	Трудоемкость, ЗЕТ, час
Изучение материалов лекций (лк)	7/36, 7
Подготовка к практическим занятиям (пз)	0.5/ 18
Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы (лаб)	0.5/ 18
Выполнение расчетно-графической работы (реферата)	0.5/18
Выполнение курсового проекта (работы)	-
Самостоятельное изучение дополнительных материалов дисциплины (СРС)	11/36, 11
Подготовка к контрольным работам	-
Подготовка к тестированию	-
Всего:	2, 72
Подготовка к экзамену	36

### 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических и видов учебных занятий

№ п/п	Темы дисциплины	Всего часов на тему	Виды учебной занятий, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость (в часах)				
			лк	пр	лаб	СРС	в т.ч. интеракт.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	<b>Раздел 1.</b> Трехфазный мостовой выпрямитель в системе ТПД 1.1. Функциональные схемы СИФУ вентильных преобразователей, назначение отдельных узлов. Импульсы управления трехфазными мостовыми выпрямителями. Временные диаграммы перемен-	22	6	4	4	8	4

	<p>ных силовой цепи, требования к импульсам управления СИФУ.</p> <p>1.2.Синхронизирующие устройства на входе СИФУ трехфазного управляемого выпрямителя (УВ) с исключением помех со стороны силовой цепи. Идея построения и включения активного фильтра на операционном усилителе для получения гладкого гармонического синхронизирующего сигнала типа косинусоиды, синфазного с требуемым.</p> <p>Расчет активного фильтра на операционном усилителе для получения гладкого гармонического синхронизирующего сигнала типа косинусоиды, синфазного с требуемым. Расчет активного фильтра на операционном усилителе для получения гладкого гармонического синхронизирующего сигнала типа косинусоиды, синфазного с требуемым. Моделирование требуемого фильтра в Matlab.</p> <p>1.3.Формирование логических сигналов управления ключами СИФУ УВ. Формирование пачки высокочастотных импульсов. Генератор несущей частоты. Сравнивающие устройства-компараторы напряжения в СИФУ УВ.</p> <p>1.4.Выходной усилитель импульсов тиристоров с гальванической развязкой в СИФУ УВ. Возможные другие (например, оптронные) варианты построения. Расчет элементов.</p> <p>1.5.Настройка и моделирование СИФУ управляемого выпрямителя.</p> <p>Построение токовой отсечки в СИФУ управляемого выпрямителя</p>						
2	<p><b>Раздел 2.</b> Возможность перевода мостового выпрямителя в режим ведомого сетью инвертора. Требования к диапазону углов управления и к логической части, определяющей вид работы: выпрямительный или инверторный. Двухмостовой реверсивный преобразователь для ТПД</p>	12	3	1		8	1
3	<p><b>Раздел 3.</b> Управляемый выпрямитель в цепи ротора асинхронного двигателя с фазным ротором при фазовом регулировании.</p> <p>3.1 Особенность работы СИФУ при переменной частоте и переменной амплитуде фазной ЭДС роторной цепи. Построение СИФУ на базе пилообразного опорного сигнала с переменным углом наклона, формируемым сигналом трансформаторной обратной связи. Синхронизация с ЭДС ротора в условиях помех.</p> <p>3.2. Построение СИФУ УВ в цепи ротора. Отдельные блоки, их принцип работы, временные диаграммы.</p>	10	1	1		8	1
4	<p><b>Раздел 4</b> Понятие о частотном регулировании асинхронного короткозамкнутого двигателя. Обзор возможных силовых схем и способов частотного управления.</p> <p>4.1 Силовые схемы преобразователей частоту с неуправляемым выпрямителем и АИН с высокочастотной коммутацией силовых полностью управляемых ключей.</p>	20	6	2	4	8	4

	<p>4.2 Схемы управления для преобразователей «неуправляемый трехфазный мостовой тиристорный выпрямитель и автономный инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения» для частотного управления АД.</p> <p>4.3 Требования к схеме управления УВ и АИН. Схема управления трехфазным АИН с ШИМ. Функциональная схема.</p>						
5	<p><b>Раздел 5</b> Принцип симметричной синусоидальной ШИМ с использованием опорных синусоидальных сигналов для управления трехфазными транзисторными АИН в составе частотного привода АД.</p> <p>5.1. Математическая основа симметричной синусоидальной ШИМ для микропроцессорной реализации.</p> <p>5.2 Симплексные алгоритмы управления ключами трехфазных АИН с применением симплексов наименьших размеров.</p>	14	4	2		8	2
6	<p><b>Раздел 6.</b> Многоуровневые инверторы напряжения для частотнорегулируемого привода переменного тока.</p> <p>6.1. Принцип перехода от двухуровневого прототипа при построении одной стойки многоуровневого АИН с фиксирующими (Clamped)-диодами.</p> <p>6.2. Алгоритмы управления ключами 4-уровневого АИН с использованием понятий :трубка опорного сигнала симметричной пилы несущей ШИМ, синусоидальный модулирующий сигнал управления переменной амплитуды и частоты, логические условия переключения. Временные диаграммы ключей одной стойки при работе в различных трубках(верхней, средней, нижней). Форма выходного фазного напряжения 4-уровневого ШИМ. Выводы о дополнительных преимуществах многоуровневых АИН по сравнению с двухуровневыми.</p> <p>6.3. Симплексные алгоритмы управления 4-уровневым трехфазным АИН.</p> <p>6.4.Пятиуровневый преобразователь в режимах инвертора и компенсатора: теория и моделирование</p>	20	6	2	4	8	2
7	<p><b>Раздел 7.</b> Асинхронный короткозамкнутый двигатель как объект частотного управления. Уравнения обобщенного АД в системе координат, вращающейся с произвольной скоростью.</p> <p>7.1. Переход к неподвижной системе координат <math>\alpha, \beta</math> в векторной форме и для проекций. Возможности использования этой системы.</p> <p>7.2. Переход к вращающейся синхронно с полем ротора системе координат d,q в векторной форме и для проекций. Возможности использования этой системы.</p> <p>7.3 Построение разомкнутой скалярной, разомкнутой векторной системы частотного привода с АД. Функциональные схемы, их сравнение.</p> <p>7.4.Построение замкнутой векторной системы ча-</p>	12	2	2		8	2

	стотного привода с использованием датчика скорости. 7.5. Вычисление компонент потокосцепления ротора в неподвижной системе координат по сигналам мгновенных токов статора и сигнале скорости в идентификаторе состояния АД.						
8	<b>Раздел 8.</b> Возможности построения идентификатора параметров и состояния АД с использованием уравнений АД в различных системах координат. 8.1 Идентификатор потокосцепления ротора, построенный с использованием наблюдаемых сигналов входного напряжения и тока двигателя, вычисленным компонентам вектора первой производной тока в релейных следящих контурах, без использования сигнала скорости вращения вала. 8.2. Идентификатор скорости вращения вала с предварительным вычислением сопротивления ротора. Формирование уравнения с неизвестным идентифицируемым параметром. 8.3. Способы решения алгебраического уравнения с одним и двумя идентифицируемыми неизвестными параметрами: в релейном следящем контуре, с использованием идей Эйкхоффа	18	4	2	4	8	4
9	<b>Раздел 9</b> Силовые активные фильтры в составе частотно-регулируемого электропривода.	16	4	2	2	8	
<b>всего 180 часов по видам учебных занятий (включая 36 часов на подготовку к экзамену)</b>			<b>36</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>72</b>	<b>20</b>

## Содержание по видам учебных занятий

### Лекции

**Лекция 1-5.** СИФУ УВ на тиристорах. Общие вопросы построения, требования к СИФУ для выпрямительного и инверторного режимов. Фильтрация «грязных» сигналов трехфазной сети для получения «чистых» синусоидальных, синфазных с сетью. Формирование импульсов управления тиристорами: логическая часть и выходная. Моделирование СИФУ и УВ в комплексе с СИФУ.

**Лекция 6-7.** Режим ведомого сетью инвертора. Двухмостовой ТП в системе реверсивного привода с ДПТ. Анализ и моделирование. Управляемый выпрямитель в цепи ротора асинхронного двигателя с фазным ротором при фазовом регулировании.

Особенность работы СИФУ при переменной частоте и переменной амплитуде фазной ЭДС роторной цепи. Построение СИФУ на базе пилообразного опорного сигнала с переменным углом наклона, формируемым сигналом трансформаторной

**Лекция 8-10.** Понятие о частотном регулировании асинхронного короткозамкнутого двигателя. Обзор возможных силовых схем и способов частотного управления. УВ+АИТ или АИН с коммутацией ключей на частоте выходной сети. СИФУ этих инверторов. Силовые схемы преобразователей частоты с неуправляемым выпрямителем и АИН с высокочастотной коммутацией силовых полностью управляемых ключей. Схемы управления для преобразователей «неуправляемый трехфазный мостовой тиристорный выпрямитель и автономный инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения» для частотного управления АД. Требования к схеме управления УВ и АИН. Схема управления трехфазным АИН с ШИМ. Функциональная схема

**Лекция 11-12.** Принцип симметричной синусоидальной ШИМ с использованием опорных синусоидальных сигналов для управления трехфазными транзисторными АИН в составе частотного привода АД. Математическая основа симметричной синусоидальной ШИМ для микропроцессорной реализации. Симплексные алгоритмы управления ключами трехфазных АИН с применением симплексов наименьших размеров.

**Лекция 13-14.** Многоуровневые инверторы. Принцип перехода от двухуровневого прототипа при построении одной стойки многоуровневого АИН с фиксирующими (Clamped)-диодами. Алгоритмы управления ключами 4-уровневого АИН с использованием понятий : трубка опорного сигнала симметричной пилы несущей ШИМ, синусоидальный модулирующий сигнал управления переменной амплитуды и частоты, логические условия переключения. Временные диаграммы ключей одной стойки при работе в различных трубках(верхней, средней, нижней). Форма выходного фазного напряжения 4-уровневого ШИМ. Выводы о дополнительных преимуществах многоуровневых АИН по сравнению с двухуровневыми. Симплексные алгоритмы управления 4-уровневым трехфазным АИН.

**Лекция 15.** Пятиуровневый преобразователь в режимах инвертора и компенсатора: теория и моделирование.

**Лекция 16.** Возможности построения идентификатора параметров и состояния АД с использованием уравнений АД в различных системах координат. Вычисление компонент потокосцепления ротора в неподвижной системе координат по сигналам напряжения и тока, а также скорости.

**Лекция 17.** Идентификатор потокосцепления ротора, построенный с использованием наблюдаемых сигналов входного напряжения и тока двигателя, вычисленным компонентам вектора первой производной тока в релейных следящих контурах, без использования сигнала скорости вращения вала. Идентификатор скорости вращения вала с предварительным вычислением сопротивления ротора. Формирование уравнения с неизвестным идентифицируемым параметром. Способы решения алгебраического уравнения с одним и двумя идентифицируемыми неизвестными параметрами: в релейном следящем контуре, с использованием идей Эйкхоффа.

**Лекция 18.** Силовые активные фильтры в составе частотно-регулируемого электропривода. Регулируемые реактивности на базе транзисторных преобразователей в трехфазных цепях.

*Далее по тексту исходной РПД*

## **РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА**

по курсу «Элементы схемотехники силовой электроники (ЭССЭ)»

Ставится задача выбора (расчета) элементов силовой части одного из вариантов преобразователя частоты, которые влияют на работу его системы импульсно-фазового управления (СИФУ для частотно-регулируемого асинхронного двигателя общепромышленного применения номинальной мощности 3-220 кВт. Рассматривается построение схемы управления ключами, создаются компьютерные модели СИФУ и силовой схемы преобразователя.

Первый вариант (схема рис.1):

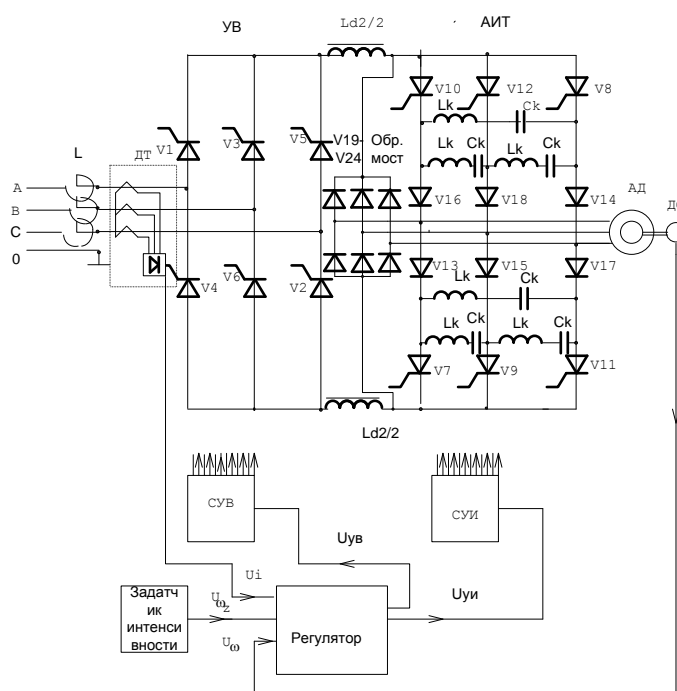


Рис.1

-содержит промежуточное звено постоянного тока- трехфазный мостовой управляемый выпрямитель (УВ), и автономный трехфазный тиристорный инвертор тока (АИТ) с поочередной коммутацией тиристоров на частоте выходной сети с углом проводимости  $120^0$ .

Второй вариант содержит управляемый выпрямитель ( не показан на рис.2) и тиристорный АИН с 12 тиристорами- основными и вспомогательными

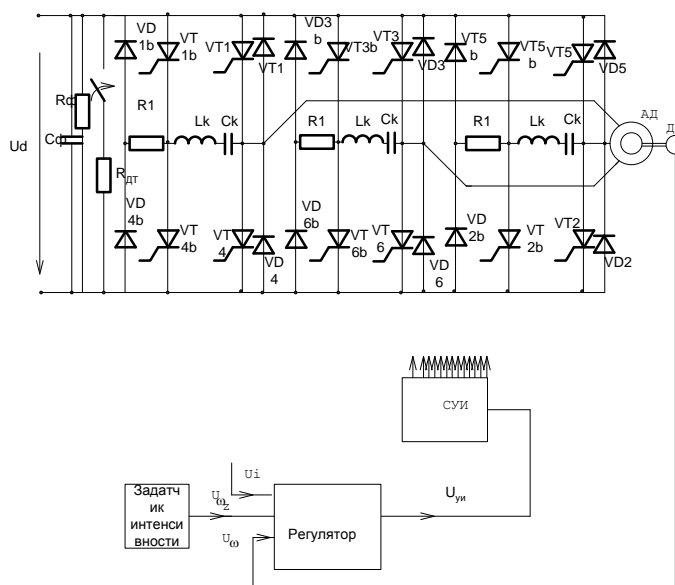


Рис.2

Здесь также тиристоры включаются один раз на периоде выходной частоты по известному алгоритму с интервалом проводимости в  $180^0$

Третий вариант –диодный выпрямитель + транзисторный АИН(см.рис.3)

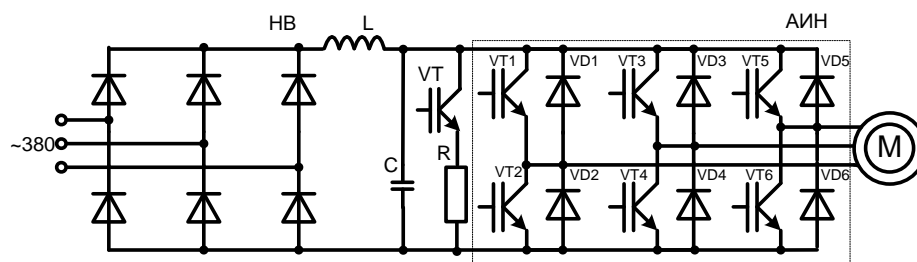


Рис.3

Варианты управления транзисторными ключами:

- симметричная «трубочная» технология ШИМ,
- симметричная ШИМ с ее микропроцессорной реализацией,
- симплексное управление и ее аппаратная реализация. Для желающих можно рассмотреть программную реализацию симплексного алгоритма.

Во всех вариантах настоящего расчетного задания главным является расчет элементов СИФУ для формирования импульсов управления силовыми ключами под воздействием входных аналоговых сигналов управления в диапазоне значений 0-10 В. Расчеты элементов силовых цепей носят вспомогательный характер. Вопросы динамики, включающие формирование входных сигналов СИФУ на выходе регулятора, не рассматриваются.

Исходные данные:

Питающая сеть - трехфазная с нулевым выводом.

Фазное напряжение -  $220 \pm 20$  В,

Частота - 50 Гц.

Нагрузка двигателя:

- 1) постоянный активный момент на уровне номинального,
- 2) реактивный момент в диапазоне (0.1 - 1) Мн.
- 3) Вентиляторный момент с максимальным значением Мн

Диапазон регулирования по скорости  $D=50$  (нн/н min),

Асинхронный к. з. двигатель отрезка серии 4А : 4А100S4У3- 4А355S4У3,

- номинальное линейное напряжение  $U_n=380$  В,

Содержание расчета.

1. Рассчитать элементы выбранного варианта силовой схемы преобразователя :

- токоограничивающие реакторы на стороне сети,
- дроссели в цепи постоянного тока,
- защитные RC-цепочки тиристоров ( на исходной схеме не показаны),

2. Составить функциональную схему системы управления СИФУ АИ, Составить временные диаграммы напряжения сети, токов ключей, токов нагрузки, управляющих импульсов в номинальном режиме работы.

3. Разработать и рассчитать элементы принципиальных схем систем управления (СИФУ) УВ и АИ:

- входной логической и информативной части,



-выходной части с импульсным усилителем и развязкой от силовой цепи одним из способов: трансформаторной или оптронной.

4.Провести компьютерное моделирование СИФУ в пакете Matlab:

-пуск вперед от задатчика интенсивности, выдержка на постоянной номинальной скорости.

*Далее по тексту исходной РПД*

Автор  
канд. техн. наук, доцент



К.К. Крутиков

Зав. кафедрой ЭМС,  
канд. техн. наук, доцент



В.В. Рожков

Изменения и дополнения к РПД принята на заседании кафедры ЭМС от 07.09.2016 , протокол № 1.