

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Энергетики и электротехники
(Наименование института полностью)

Промышленная электроника
(наименование кафедры)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА
на тему **Стабилизированный источник питания постоянного тока**

СТУДЕНТ А.А. Куликов _____
(инициалы, фамилия) (личная подпись)

РУКОВОДИТЕЛЬ В.И. Чепелев _____
(ученая степень, звание, инициалы, фамилия) (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов _____
(ученая степень, звание, инициалы, фамилия) (личная подпись)

« » _____ 2017 г.

Тольятти 2017 г.

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт энергетики и электротехники
Кафедра «Промышленная электроника»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав.кафедрой «Промышленная электроника»

_____ А.А.Шевцов

(подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Задание

на выполнение бакалаврской работы

Студент: Куликов Алексей Алексеевич

1. Тема: Стабилизированный источник питания постоянного тока

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы:

« ____ » _____ 2017 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Напряжение в сети 380 Вольт. Напряжение на нагрузке 55 Вольт. Ток нагрузки 600 Ампер. Коэффициент пульсации 0.0005. Вычисление мостового выпрямителя. Цель бакалаврской работы – увеличение точности проектирования, исследования и расчета управляемого (тиристорного) выпрямителя.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов): Введение. 1. Анализ состояние, перспектив проектирования и разработки преобразователей. 2. Электромагнитный и тепловой расчеты выпрямителя. 3. Электромагнитный расчет преобразовательного трансформатора. 4. Система управления источником питания. 5. Выбор устройств защиты от аварийных токов и перенапряжений. 6. Компьютерное моделирование. 7. Экологичность и безопасность проекта. 8. Стоимостной анализ применения схемотехнического проектирования источника питания. Заключение. Литература. Приложение.

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала: 1. Мостовой выпрямитель. Схема электрическая принципиальная. 2. Внешние характеристики выпрямителя. 3. Синхронное устройство управления. Схема электрическая структурная. 4. Временные диаграммы токов и напряжения устройства управления. 5. Схемотехническая модель выпрямителя. 6. Временные диаграммы выпрямителя.

6. Консультант: _____ В. И. Чепелев

7. Дата выдачи задания « ____ » _____ 2017 г.

Руководитель бакалаврской работы: В. И. Чепелев

Задание принял к исполнению: _____ А.А. Куликов

« ____ » _____ 2017 г.

АННОТАЦИЯ

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ, ВЫПРЯМИТЕЛЬ, СТАБИЛИЗАЦИЯ, СИСТЕМА
УПРАВЛЕНИЯ, АНАЛИЗ СТОИМОСТНОЙ, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ И
БЕЗОПАСНОСТЬ, МОДЕЛИРОВАНИЕ

Объем 53с., 18 рис., 10табл., 20 источников, 1 прил.

Разработан стабилизированный источник питания постоянного тока, который предназначен для работы в локальной энергетической системе в качестве выпрямительного агрегата общего назначения, зарядного выпрямительного агрегата и зарядно-силового агрегата.

Источник питания создан на базе трехфазного мостового управляемого выпрямителя, имеющего синхронную систему управления вертикального типа.

Стабилизация выпрямительного напряжения в силовых преобразователях создается введением обратной отрицательной связи по напряжению.

Выполнены тепловые и электромагнитные расчеты выпрямителя. Рассчитаны и построены его временные диаграммы и внешние характеристики.

Рассмотрены вопросы экологичности проекта и его безопасности, приведено его экономическое обоснование.

Содержание

Введение.....	7
1. Анализ состояния, перспектив проектирования и разработки преобразователей	10
2. Электромагнитный и тепловой расчеты выпрямителя	20
2.1 Разработка структурной и принципиальной схем источника питания ..	20
2.2 Эквивалентная схема выпрямителя	20
2.3 Расчет сглаживающего фильтра выпрямителя при активной нагрузке .	25
2.4 Электромагнитный расчет сглаживающего дросселя.....	25
3. Электромагнитный расчет преобразовательного трансформатора	28
3.1. Исходные данные.....	28
3.2. Расчет диаметра стержня магнитопровода и числа витков вторичной обмотки	28
4. Система управления источника питания	30
4.1. Принцип работы САР	30
4.2 Разработка системы управления выпрямителя.....	33
5. Выбор устройств защиты от аварийных токов и напряжений	38
6. Компьютерное моделирование	40
6.1 Современные программы моделирования.....	40
7. Экологичность и безопасность проекта	45
8. Стоимостной анализ применения схемотехнического проектирования источника питания	51
Заключение	52
Литература	53
Приложение	55

Введение

Судовая электроэнергетическая система (СЭС) представляет собой совокупность устройств, комплексов и подсистем, связанных процессами генерирования, преобразования и распределения электрической энергии.

В составе СЭС находятся различные по электромагнитным схемам преобразования преобразовательные устройства. Для СЭС свойственен случайный характер протекания электромагнитных процессов в сложной переменной структуре, взаимное влияние элементов системы, изменения углов управления и коммуникации. В связи с этим анализ ЭМС характеристик полупроводниковых преобразователей и других элементов СЭС существенно усложняется.

По параметрам самой электроэнергии преобразовательные устройства делятся:

- 1) по виду тока;
- 2) по назначению напряжения;
- 3) по значению частоты напряжения переменного тока.

Преобразовательные устройства делят на следующие группы:

- 1) выпрямительные. Преобразование вида тока переменного в постоянное;
- 2) инверторные. Преобразование напряжения постоянного в переменное;
- 3) частотные преобразователи. Преобразование напряжения переменного одной частоты в частоту другого переменного напряжения;
- 4) преобразователи одного уровня постоянного напряжения в преобразователи напряжения другого уровня.

На судах, аналогично, как и в установках, использовавшихся в промышленности, чаще всего распространяются выпрямители. Такой вид выпрямителей используется для питания нагрузки по обобщённому назначению, в зарядных и сварочных оборудовании, в катодной

системах защит корпуса судна, в системах возбуждения электрических машин, в валогенераторных устройствах. Все больше набирает развитие тиристорный электрический привод в разных областях судового электрооборудования.

Агрегаты сварочно-выпрямительные используют в производстве электрической сварки, которая служит для быстрой регулировки сварочного тока в крупных масштабах.

Преобразователи систем питания катодной защиты корпуса судна, устраняющие электрохимическую коррозию частей корпуса судна, находящиеся в морской воде.

Применение тиристорных преобразователей позволяет создавать статические системы для питания и регулирования обмоток возбуждения главных машин гребных электрических установок.

В СЭС широкое применение получили агрегаты выпрямленного типа общего назначения ВАКС, зарядные выпрямленные агрегаты типа ВАКЗ и зарядно-силовые ВАКЗС. К началу девяностых годов разработаны агрегаты указанных типов преобразователи второго поколения именуемые ТПС.

Наиболее близким к проектируемому источнику питания является выпрямительный агрегат ТПС -630-28,5 имеющего всплески и провалы напряжения на выходе $\Delta U_{k \max} = +8$, $\Delta U_{k \min} = -13$, коэффициент пульсаций выходного напряжения $K_n = 2 \%$, КПД = 80 %, коэффициент несинусоидальности напряжения сети $K_{ис} = 2,85 \%$, номинальный выпрямленный ток $I_{ном} = 630$ А и напряжение $U_{ном} = 28,5$ В.

Цель моей бакалаврской работы – увеличение точности проектирования, исследования и расчёта тиристорного (управляемого) выпрямителя. Исходные данные источника питания : напряжение сети $U_c = 380$ Вольт ; коэффициент пульсации выпрямленного напряжения $K_n = 0,05\%$, номинальный ток $I_{ном} = 600$ Ампер и напряжение $U_{ном} = 55$ Вольт.

Так же особым требованием является ограничение тока короткого замыкания, который не должен превышать значение $1,6 \cdot I_{ном}$.

1. Анализ состояния, перспектив проектирования и разработки преобразователей

Анализ перспектив разработок полупроводниковой техники зарубежного судостроения указывает, что наиболее применимыми в СЭС находят следующие виды преобразовательных устройств: 1) агрегаты выпрямительные; 2) инверторы с потребляемой мощностью в пределах 7,5 до 160 кВ·А; 3) частотные преобразователи с диапазоном мощности от 300 кВт до 2000 кВт.

Показателями важности, определяющими использование по назначению той или иной схемы, являются следующие пункты:

- 1) значение выпрямленного U , характеризующее

$$k_{Ud} = U_{d0} \cdot E_2 ,$$

где: $U_{d0} = \sqrt{2} m \pi^{-1} E_2 \sin \pi / m ;$

E_2 – значение вторичной фазной ЭДС трансформатора по схеме с нулевым выводом и линейной в мостовых схемах;

- 2) значение пульсаций выпрямленного напряжения, показывающая показателем п. 2.5.1;

- 3) значение высоких гармоник в цепях переменного тока;

- 4) трансформаторная мощность, указывающая коэффициент использования этого трансформатора

$$K_{и.т} = P_n / S_T ,$$

где $P_n = U_n I_n$ – мощность, передаваемая преобразователем в нагрузку;

S_T – типовая мощность в идеальном режиме трансформатора;

- 5) Оцениваемая коэффициентами степень использования вентилей по току и напряжению, оцениваемая коэффициентами

$$K_{Iв} = I_в / I_n ; k_{Uо} = U_{обр \max} / U_{дном} ,$$

где $I_{в}$ – значение среднего тока в вентиле;

$U_{обр\ max}$ – наибольшее значение напряжения на вентиле при обратном вращении.

Используемые в судовой установке схемы выпрямления изображены на рис 1.1, важнейшие показатели – в таблице 1.1. однофазные схемы имеют низкие технико-экономические показатели и поэтому на судах имеют ограниченное применение (используемые в установках до 5 кВт по мощности). Схему с нулевым выводом (рис. 1.1 (а)) применяют в установках с низким напряжением при наибольшем выпрямляемом токе, в частности в системах катодной защиты корпуса судна, мостовую (рис. 1.1 (б)) – для запитывания обмоток возбуждения для двигателей.

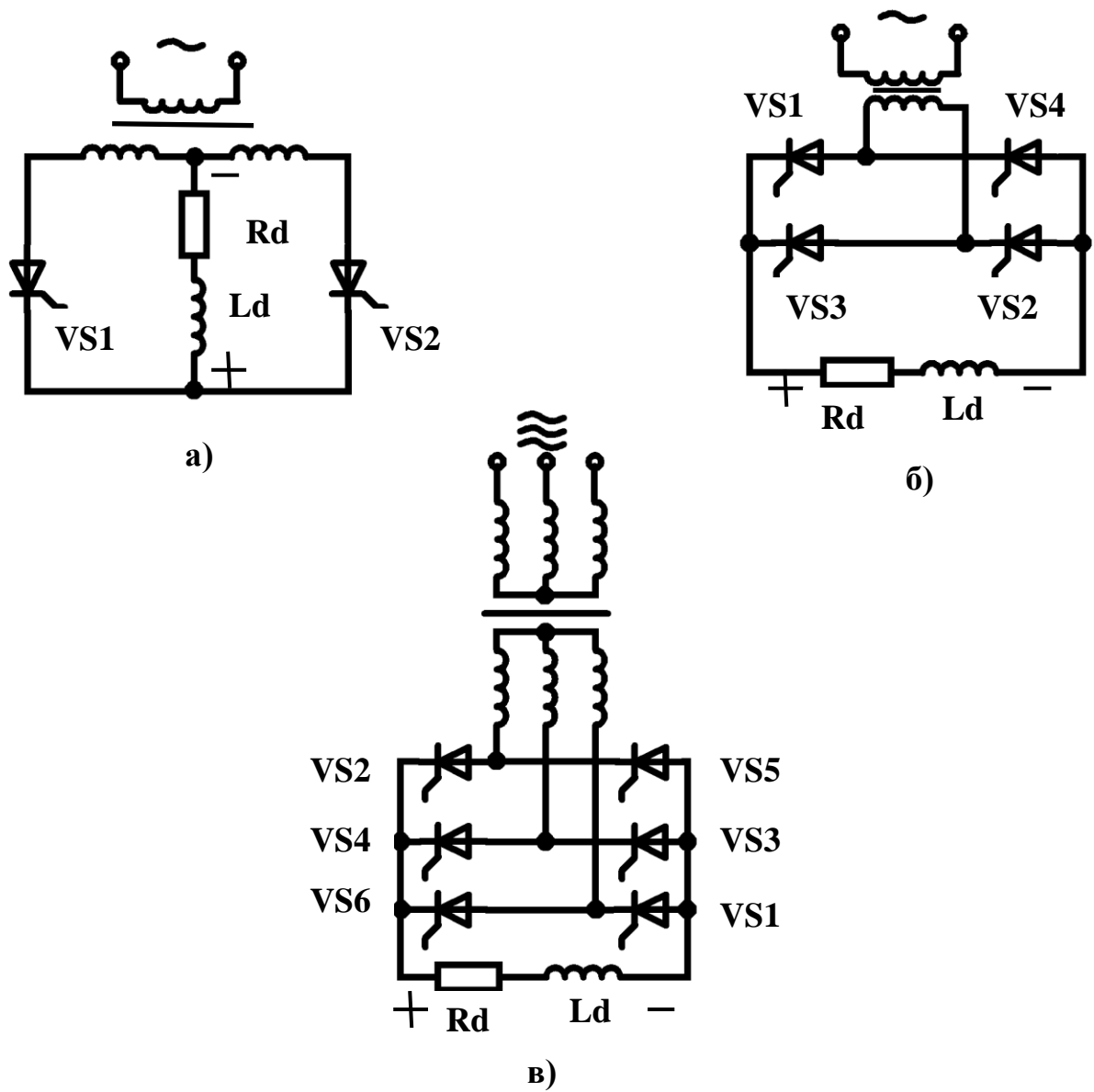


Рисунок 1.1 – Схемы выпрямления.

а – двухфазная с нулевым выводом; б – однофазная мостовая; в – трехфазная мостовая.

Таблица 1.1 – Схемы основных показателей выпрямления

Схема	m	k _{Ud}	Порядок гармоник		k _{ИТ}	k _{IB}	k _{Uo}
			Выпрямленного напряжения V=km	Потребляемого тока V= km ± 1			
Двух-фазная с нулевым выводом	2	0,9	2,4,6...	3,5,7,9...	0,75	0,5	3,14
Одно-фазная мостовая	2	0,9	2,4,6...	3,5,7,9...	0,90	0,5	1,57
Трех-фазная мостовая симметричная	6	2,34	6,12,18...	5,7,11,13...	0,95	0,33	1,05
Трех-фазная мостовая несимметричная	-	2,34	3,6,9...	2,4,5,7...	-	-	-
Шести-фазная с соединением вторичных обмоток трансформатора	6	1,35	6,12,18...	5,7,11,13...	0,70	0,167	2,1
Шести-фазная с уравнивающим реактором	6	1,17	6,12,18...	5,7,11,13...	0,79	0,167	2,1
Двенадцати-фазная параллельная	12	-	12,24,36...	11,13,23,25...	0,95	0,33	1,05

Существуют способы управления преобразователей второго поколения подразделяют на:

- 1) выпрямители для управления;
- 2) дистанционные с регулированием и преобразованием;
- 3) с промежуточными каскадами.

На основе неуправляемых выпрямителей в преобразующих устройствах напряжение на выходе U может управляться как на сторонах переменного, так и на сторонах постоянного напряжения выпрямителя. Для регулирования на транзисторах с узлами коммутации (рис. 1.2) характерно снижение КПД и массогабаритных показателей.

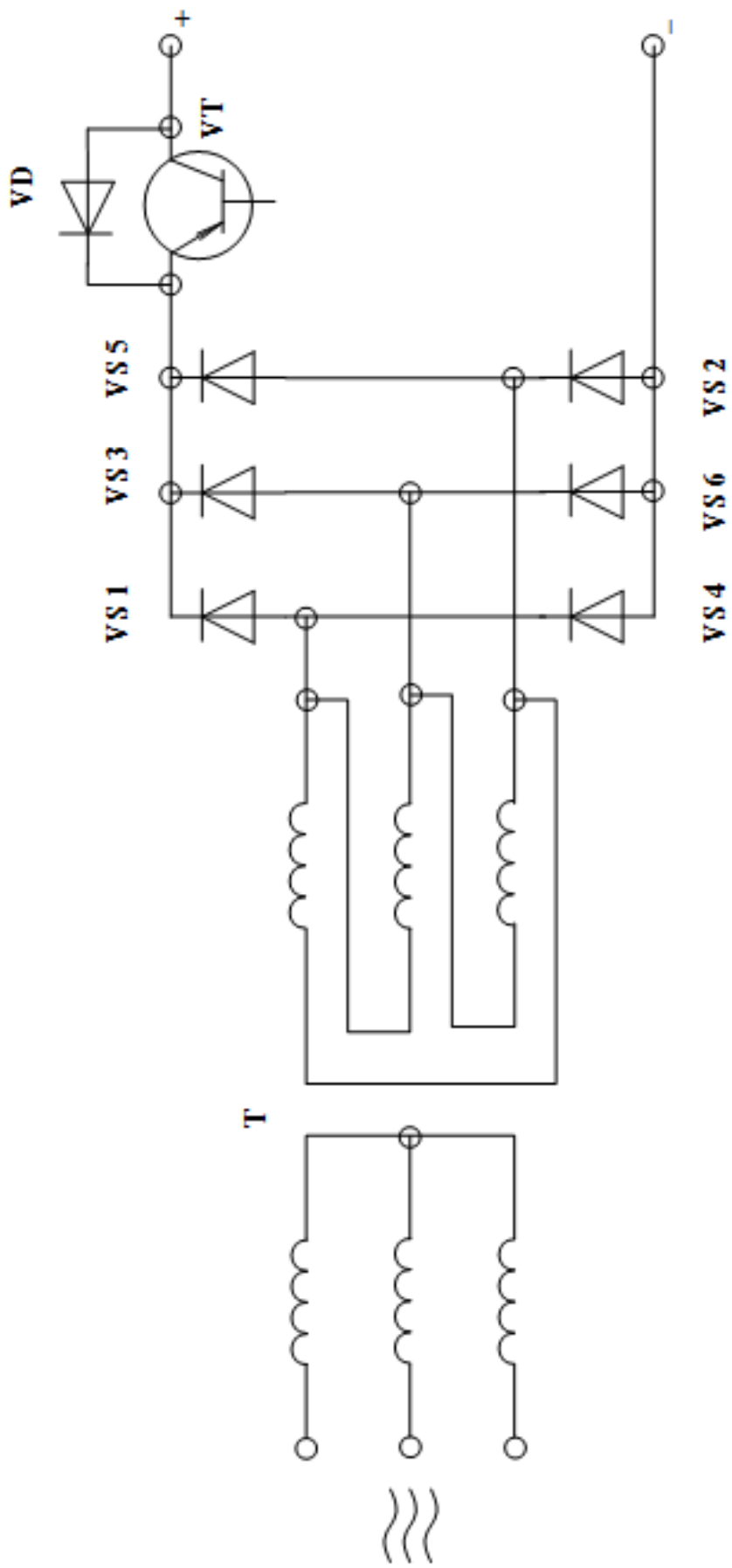


Рисунок 1.2 – Схема выпрямления с регуляторами напряжения во выходных цепях.

В выпрямителях низковольтных регуляторы необходимо устанавливать на первой стороне питающего трансформатора, потому-то входной ток их намного меньше выходного. На рисунке 1.3 указаны значительные новшества для неуправляемых выпрямителей с регулированием первичной цепи питающего трансформатора (на рис.1.3 (а)) – с тиристорным коммутатором). Тиристорный трёхфазный мост, который шунтируется на стороне постоянного тока с помощью сглаживающего дросселя (рис 1.3 (б)). Перспективна схема неуправляемого выпрямителя с регулятором в виде тиристорного трёхфазного моста, который шунтируется на стороне постоянного тока сглаживающим дросселем (рис 1.3 (б)). Благодаря формированию тока в виде прямоугольных импульсов продолжительностью $3 \cdot 10^{-3}$ с в первичной цепи преобразователя для неуправляемого выпрямителя, выполненный по шестифазной нулевой схеме, работает в режиме двойного трёхфазного выпрямителя с уравнивающим реактором (рис. 1.3 в).

В выпрямительном агрегате могут использоваться схемы неуправляемых выпрямителей с инверторным регулированием, главным качеством которых – выравнивание выпрямленного напряжения при сложении всех питающих векторов для добавочного и переменного напряжения, формируемого с помощью вспомогательного 3-фазного инвертора.

Иногда конкурентоспособными являются выпрямители стабилизаторов со звеном промежуточной повышенной частоты. В преобразователях используется трехфазный мостовой неуправляемый выпрямитель, от него происходит питание преобразователя для постоянного напряжения в повышенное напряжение частоты переменного напряжения. Затем инвертированное напряжение выпрямляется однофазным неуправляемым выпрямителем.

Выпрямители силового заряда обладают выходной мощностью, которая на порядок выше в сравнении с другими выпрямителями, и питание происходит от синхронных генераторов с одинаково измеряемой мощности.

Диапазоны второго поколения для регулирования выходного тока показаны в таблице 1.2.

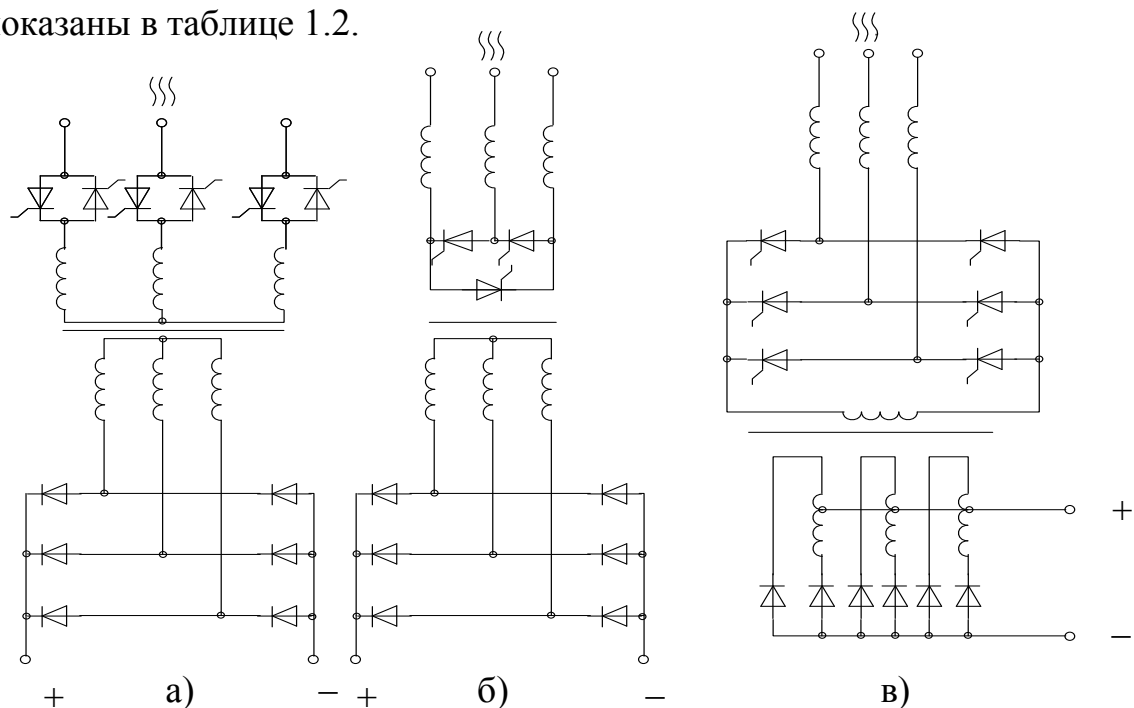


Рисунок 1.3 – Схемы во входных цепях выпрямления с регуляторами напряжения.

Таблица 1.2. – Преобразователи для типа ТПС и зарядный режим диапазона регулирования выходного тока

Тип преобразователя	Дистанционный режим			
	Ступени			
	1	2	3	4
ТПС- 400 –320	400...250	250...150	150...90	90...50
ТПС- 1000 – 320	1000...500	600...400	400...250	250...150
ТПС -1600 –320	1600...1000	1000...600	600...400	400...250
Тип преобразователя	Автоматический режим			
	Ступени			
	5	1	2	3

Продолжение таблицы 1.2

ТПС- 400 – 320	50...30	400...250	257...271	50...30
ТПС- 1000 – 320	150...90	1000...600	257...271	150...90
ТПС -1600 – 320	250...150	1600...1000	257...271	250...150

Для выпрямителей с выходным напряжением 320 Вольт и токами до 1600 Ампер из известных схем наиболее предпочтительны трехфазная мостовая и двенадцати-импульсная эквивалентная с параллельным соединением мостов, а также их модификации.

На рис. 8 изображены внешние характеристики таких преобразователей. Точность стабилизации выпрямленного напряжения составляет 25.

ПП преобразователи в качестве источников питания используют в катодных системах защиты корпуса судна. До нашего времени использовали преобразователи типа ПАК 1, составленные схемы с нулевым выводом на основании двух питающих фаз. Преобразователи типа ТПС созданы на основе трёхфазной мостовой схемы. Основные технические характеристики данных преобразователей приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Технические характеристики для преобразователей

	ТПС- 63/23	ТПС-200/23
Ном. выходная мощность, кВт	1,5	5
Ном. выходное напряжение, В	23	24
Ном. выпрямленный ток, А	63	200
Ступени выходного напряжения, В	6,12	17,23

Продолжение таблицы 1.3

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения, %	5	5
Коэф. мощности	0,86	0,87
КПД	0,77	0,75

Широко применяют полупроводниковые преобразователи в системах возбуждения судовых электрических машин и, в первую очередь, синхронных генераторов. Вентильные блоки, выполняемые по 3-фазной мостовой схеме на кремниевых диодах, можно набирать из отдельных вентильных элементов. В качестве вентильных блоков также используются выпрямительные устройства типа ВУКВ, выпускаемые промышленностью. Все больше распространение в судовой электронике находят тиристорные системы возбуждения. Регуляторы, созданные на основе системы для фазового компаундирования с тиристорной корректировкой напряжения. Созданы и в наше время внедряются системы тиристорного возбуждения, использование которых в синхронных генераторах позволяет полностью отказаться от прочих видов регулирования и создать системы возбуждения с регистрирующим воздействием по отклонению напряжения синхронного генератора (рис. 8).

2. Электромагнитный и тепловой расчеты выпрямителя

2.1 Разработка структурной и принципиальной электрической схемы источника питания.

Основными блоками структурной схемы источника питания являются сеть переменного тока и нагрузка. Выпрямление и регулирование напряжения на нагрузке осуществляется тиристорным преобразователем. Тиристорный преобразователь включает в себя схему управления и систему защиты полупроводниковых приборов.

Наиболее применимой считается трехфазная двухполупериодная мостовая схема выпрямления (рис. 1.1 в). Сглаживание пульсаций напряжения выполняется при помощи двух дросселей L_1 , L_2 и набора конденсаторов $C_{10} - C_{18}$. Полупроводниковые приборы защищены предохранителями $FU_1 - FU_7$ и интегрирующими цепочками $R_1 C_1 - R_6 C_6$. Трансформатора TV_1 защищен автоматическим выключателем QF_1 (рис. 2.1).

2.2 Эквивалентная схема выпрямителя

Основными элементами выпрямителя являются трансформаторы и вентили (1,2).

Из всех параметров трансформатора учтем лишь индуктивности его обмоток, обусловленных наличием потоков рассеяния. Не будем учитывать активные сопротивления элементов питающей сети и обмоток трансформатора; примем, что ток холостого тока трансформатора равен нулю (рис. 2.2).

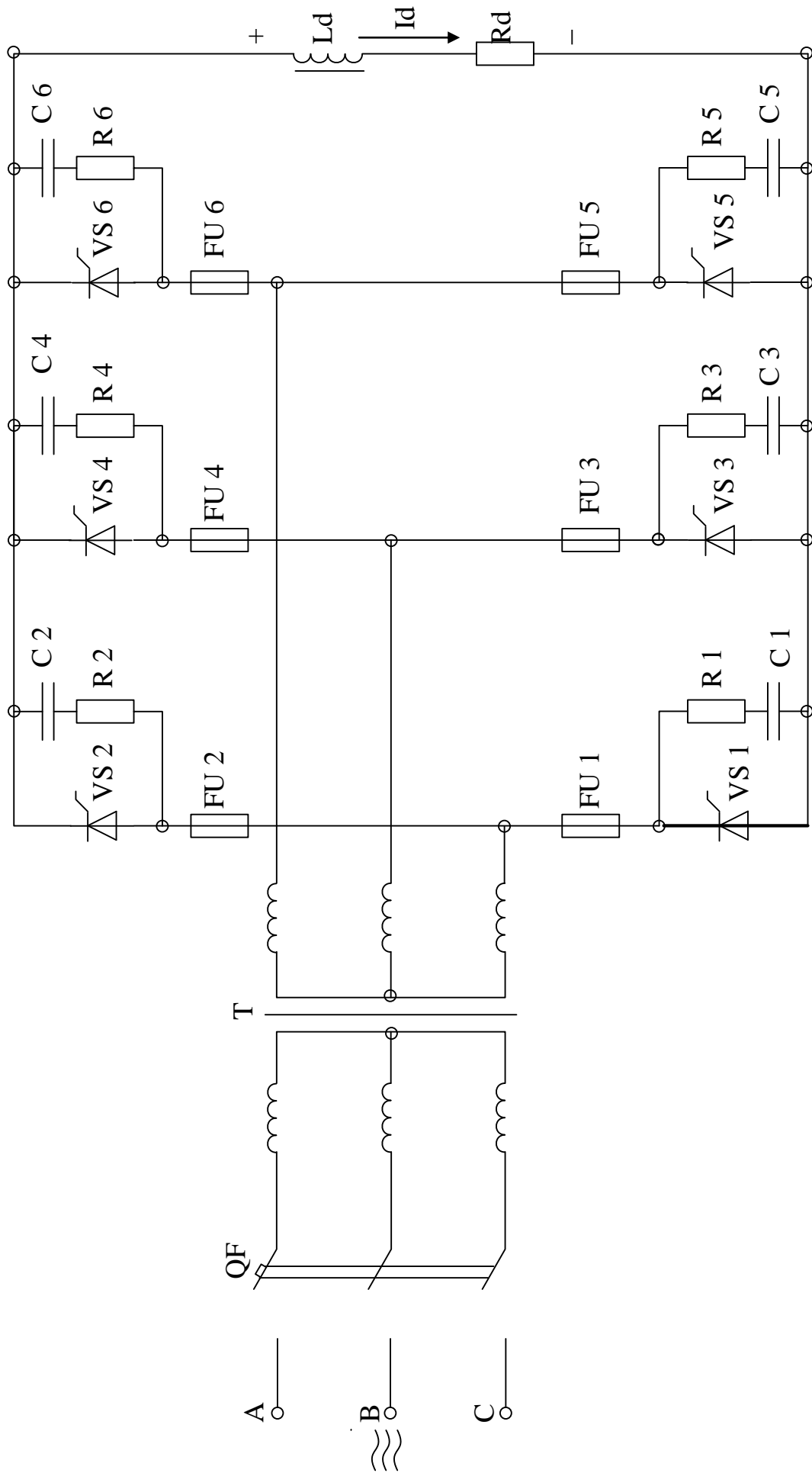
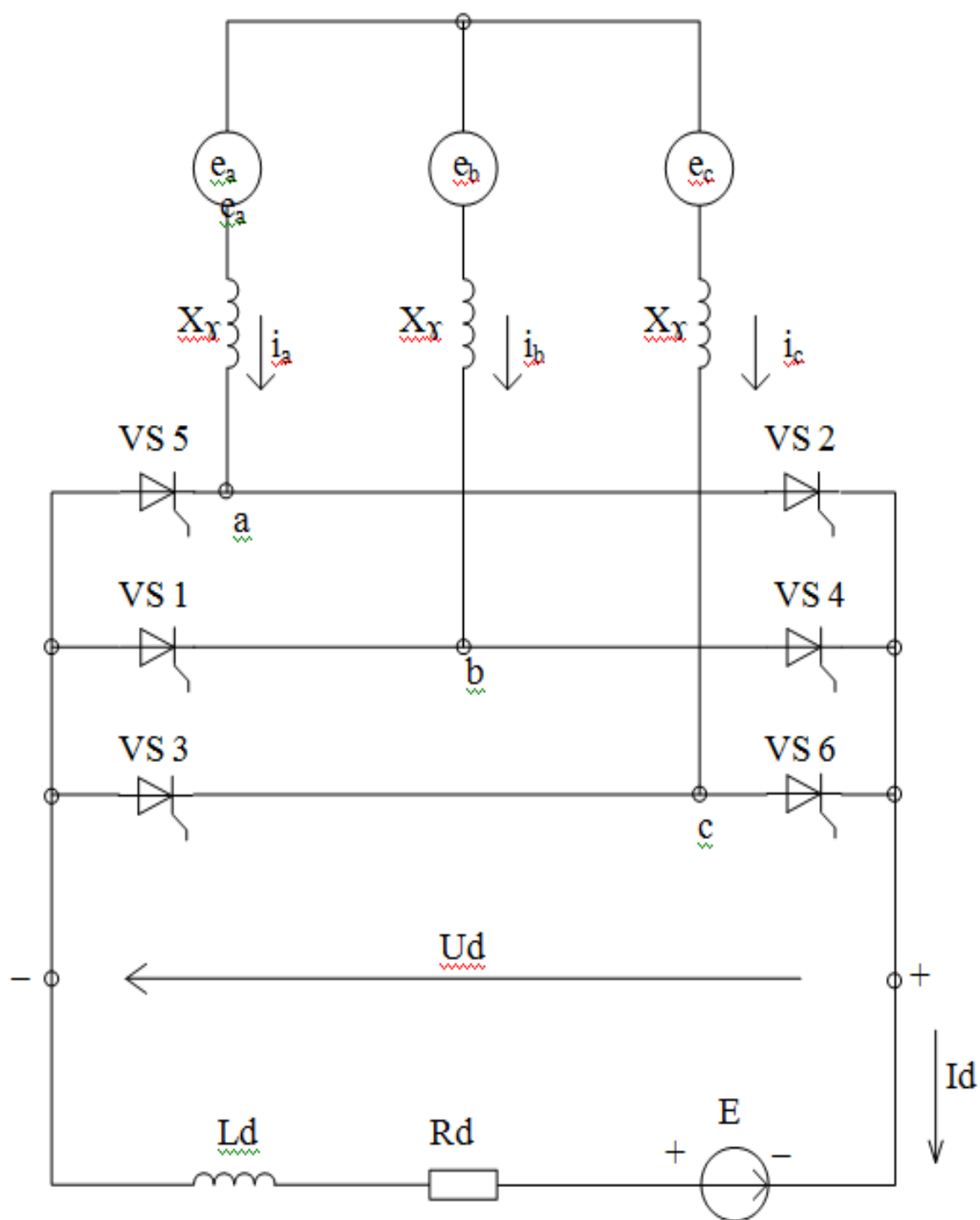


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема трехфазного мостового управляемого (тиристорного) выпрямителя



Активные R равны 0; намагничивающий I равен 0. P выпрямителя от десятков до сотен кВт.

Рисунок 2.2 – Эквивалентная схема мостового выпрямителя средней мощности

Результаты расчетов приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные электромагнитные параметры трёхфазного мостового выпрямителя

№ расчетов	Величины и параметры							
	U d	Id	Ed	E _{2 мф}	X _γ	γ	γ	I d _{кз}
	-	-	В	В	Ом	град	рад	А
1	0,75	0,236	78,133	47,239	0,019	24,58	0,429	2,541×10 ³
2	0,80	0,15	73,25	44,287	0,011	16,9	0,295	4,013×10 ³

Результат расчета занесли в таблицу 2.1.

По данным таблицы выирали тиристоры моста Т133-400.

Результаты письменных расчетов свели в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Действующее значение n – ой гармоники выпрямленного напряжения:

C ₁ и C ₂	Ud (n), В			
	13,73	4,949	2,039	2,505
C ₁	-0,142	0,063	-0,023	-2,811 × 10 ⁻³
C ₂	-0,082	7,2758 * 10 ³	0,022	-0,032

Результаты письменных расчетов свели в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Значение гармоник выпрямленного напряжения

S ₁ и S ₂	Ua (n), В			
	5	7	11	13
	12,157	3,598	3,645	3,296
S ₁	0,083	-0,043	6,869 × 10 ³	-0,012
S ₂	0,246	0,083	0,082	-0,072

Результаты письменных расчетов свели в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Значение гармоник выпрямленного напряжения

C ₁ и C ₂	U _a (n), В			
	3	6	9	12
	11,76	7,73	4,90	2,49
C ₁	-0,04	-0,14	-0,03	0,06
C ₂	0,32	-0,11	-0,11	8,597 × 10 ⁻³

Результаты письменных расчетов свели в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Характеристики режимов

Точки								
	0	15		30	45	60	70	80
U _{d1}	106,54	102,91	94,43	92,27	75,33	53,27	36,44	18,50
U _{d2}	94,24	90,61	82,13	79,96	63,03	40,97	24,13	6,19

Таблица 2.6 – Внешние характеристики режима и граница между режимами

Напряжен ие	I _d , А								
		445,99	490	535	580	625	670	715	772,4
								8	8
U _d , В	79,71	76,91	73,65	69,93	65,67	60,76	55,03	46,02	0

По таблицам 2.5 и 2.6 и вычисленным по формулам точкам, построили семейство внешних характеристик, отображенное на рисунке 2.3.

2.3 Расчет сглаживающего фильтра выпрямителя при активной нагрузке (рис. 2.4).

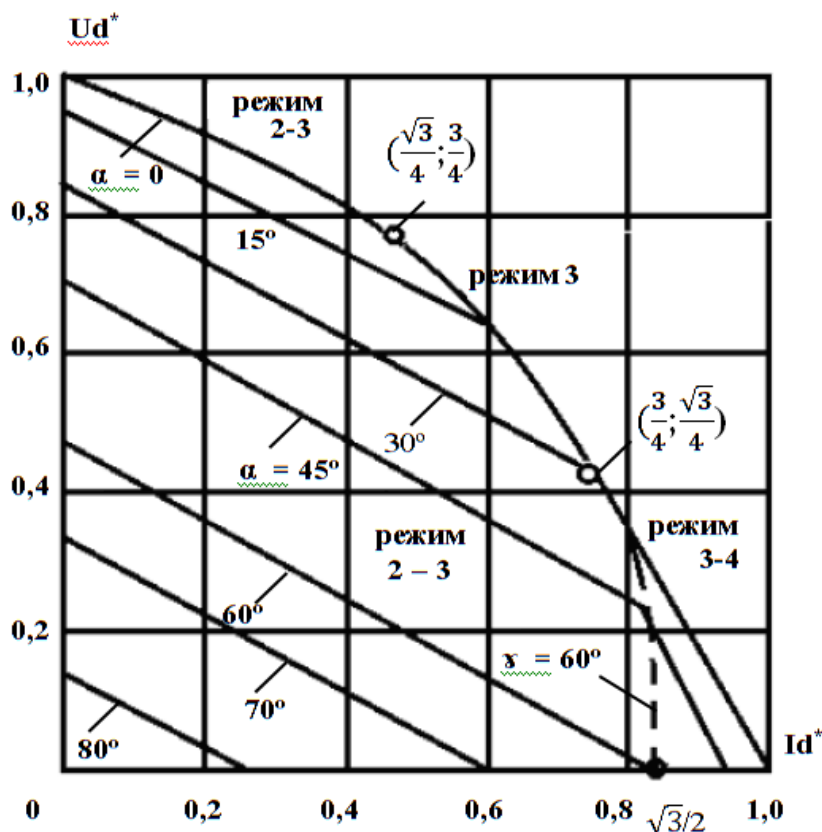


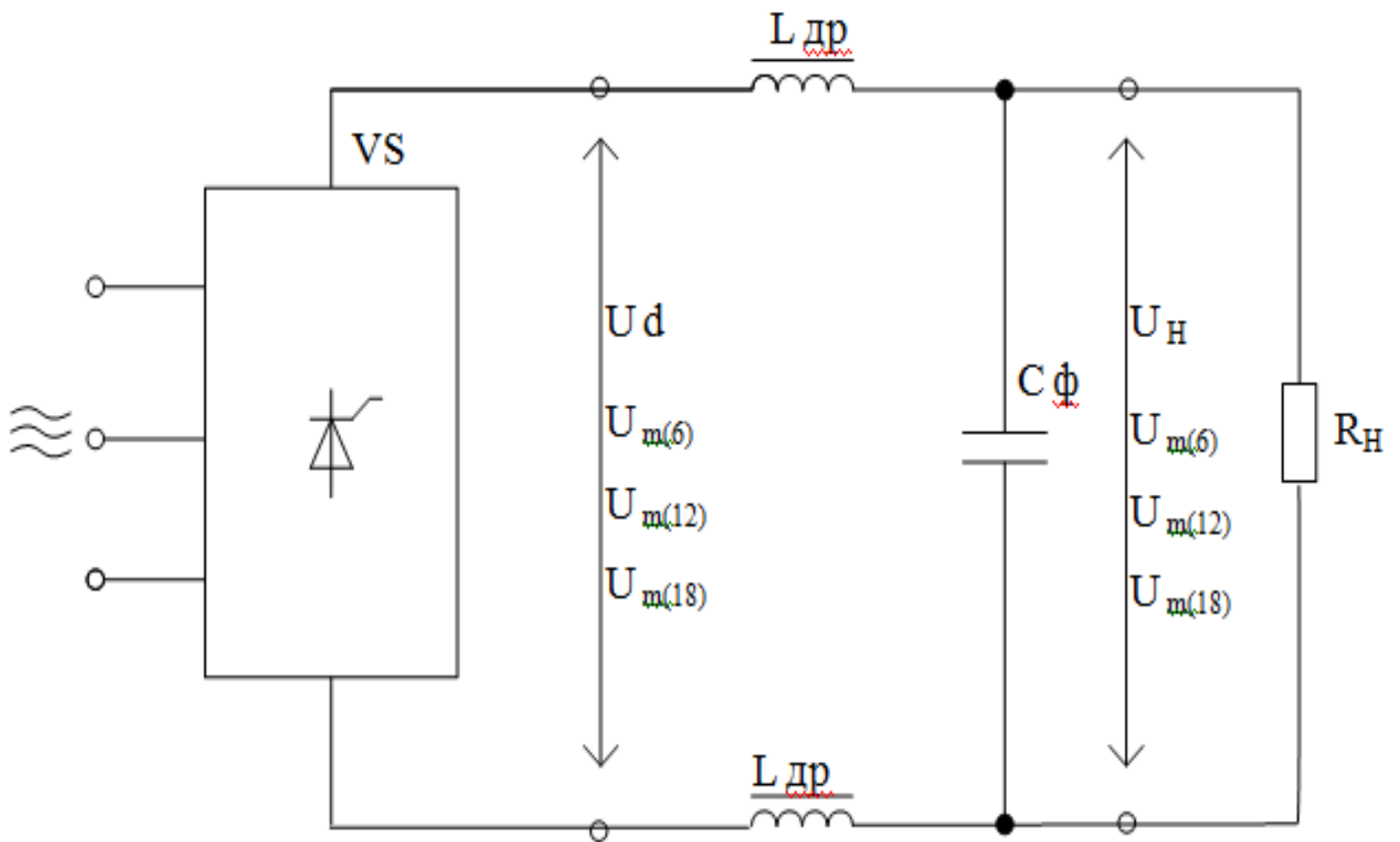
Рисунок 2.3 – Внешние характеристики мостового выпрямителя в относительных единицах

Режим 2-3 – поочередно открыты 2 или 3 тиристора; Режим 3 – постоянно открыты 3 тиристора; Режим 3-4 – поочередно открыты 3 или 4 тиристора.

2.4 Электромагнитный расчет выглаживающего дросселя

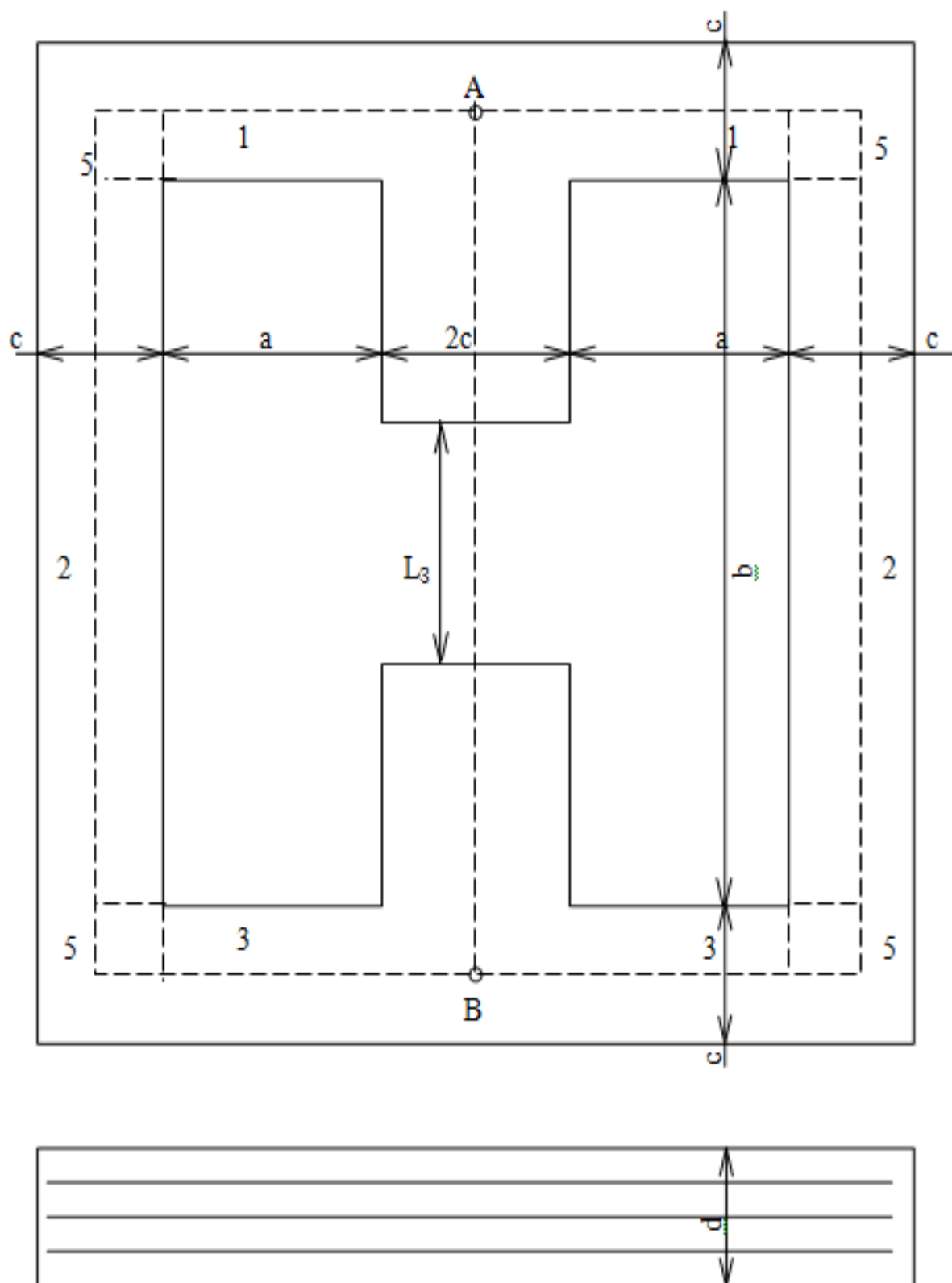
Фильтр (рис. 2.4) используется для понижения пульсаций выпрямленного тока. По дроссельной обмотке проходит переменная и постоянная составляющая для выпрямленного тока. Постоянная такого тока воспроизводит вынужденный поток намагничивания дроссельного сердечника. Индуктивность дросселя зависит от величины его магнитного потока. Для ослабления такой зависимости в сердечнике выполняют немагнитные зазоры. Разомкнутый магнитопровод сглаживающего дросселя представлен на рисунке 2.5 (7).

2.6.1 Эскиз сердечника изображен на рисунке 2.5.



$U_{m(6)}$ – основная гармоника выпрямленного напряжения

Рисунок 2.4 – Сглаживающий фильтр выпрямителя при активной нагрузке



...5 – номера участков магнитопровода,
 для которых вычисляются магнитные сопротивления

Рисунок 2.5 – Магнитопровод шихтованный разомкнутый
 сглаживающего дросселя

3. Электромагнитный расчет трансформатора

3.1. Исходные данные

Полная мощность:

$$S = 62 \text{ кВ} \times \text{А}$$

Ток вторичной обмотки:

$$I_{1л} = 455 \text{ А}$$

Ток сетевой обмотки:

$$I_{1л} = 94 \text{ А}$$

Фазовое напряжение вентильной обмотки:

$$U_{2\phi} = 46 \text{ В}$$

Фазовое напряжение сетевой обмотки:

$$U_{1\phi} = 220 \text{ В}$$

3.2. Расчет диаметра стержня магнитопровода и числа витков вторичной обмотки

Индукция в магнитопроводе:

$$B_m = 1,6 \text{ Тл}$$

Диаметр магнитопровода. Взяли из таблицы 3.2 [10, стр.131], для мощности $S = 62,11 \text{ кВ} \times \text{А}$:

$$D_{ст} = 110 \text{ мм},$$

По таблице 2.1 [10, стр.79] нашли сечение стержня $\Pi_1 = 86,2 \text{ см}^2$, сечение ярма $\Pi_2 = 89,7 \text{ см}^2$, который выбирали согласно $D_{ст}$.

Плотность I в обмотках. Так как первичная обмотка имеет воздушное охлаждение, то плотность тока в ней $j_1 = 2 \times 10^6 \text{ А} / \text{м}^2$, вентильную обмотку выполнили из проводника, имеющего форму прямоугольной трубки, внутри которой проходит охлаждающая жидкость (ОЖ). Приняли $j_2 = 20 \times 10^6 \text{ А} / \text{м}^2$.

Вентильную обмотку сделали из провода, который имеет форму прямоугольной трубки, внутри которой протекает охлаждающая жидкость

(ОЖ). Его внешние размеры: $a = 2,5$ мм, $b = 10$ мм. Толщина стенок трубки $\Delta = 0,2$ мм.

Размеры и сечение сетевой обмотки:

Взяли отношение толщины обмотки к ее высоте 0,5. Тогда толщина и высота сетевой обмотки будут равны, соответственно: $d_s = 53$ мм, $h_s = 106$ мм.

4. Система управления источника питания

4.1. Принцип работы САР

Структурная схема САР приведена на рис. 4.1. где реализован вертикальный способ управления.

Принцип работы САР заключается в следующем. Разница напряжений $U_1 = U_y - U_{oc}$ усиливается усилителем $У$ и поступает на компаратор, где сравнивается с обратным пилообразным напряжением $U_{оп}$. При равенстве опорного пилообразного напряжения $U_{оп}$ и напряжения U_2 на входе компаратора возникает скачок напряжения, сдвинутый по фазе на угол α по отношению к моменту естественной коммутации тиристоров выпрямителя. Формирователь импульсов ФИ формирует импульсы нужной формы и через распределитель импульсов на тиристоры выпрямителя.

Напряжения генератора пилообразного напряжения, компаратора, формирователя импульсов отображены на рис. 4.2.

При изменении выходного напряжения, например, при возрастании U_d , уменьшаются разность напряжений на выходе элемента сравнения $U_y - U_{oc}$ и напряжения U_2 на выходе усилителя (рис. 4.2. а). При этом угол управления увеличивается на величину $\Delta\alpha$, следовательно, напряжение U_d уменьшится. При уменьшении напряжения U_d произойдет уменьшение угла α , а затем увеличение напряжения U_d .

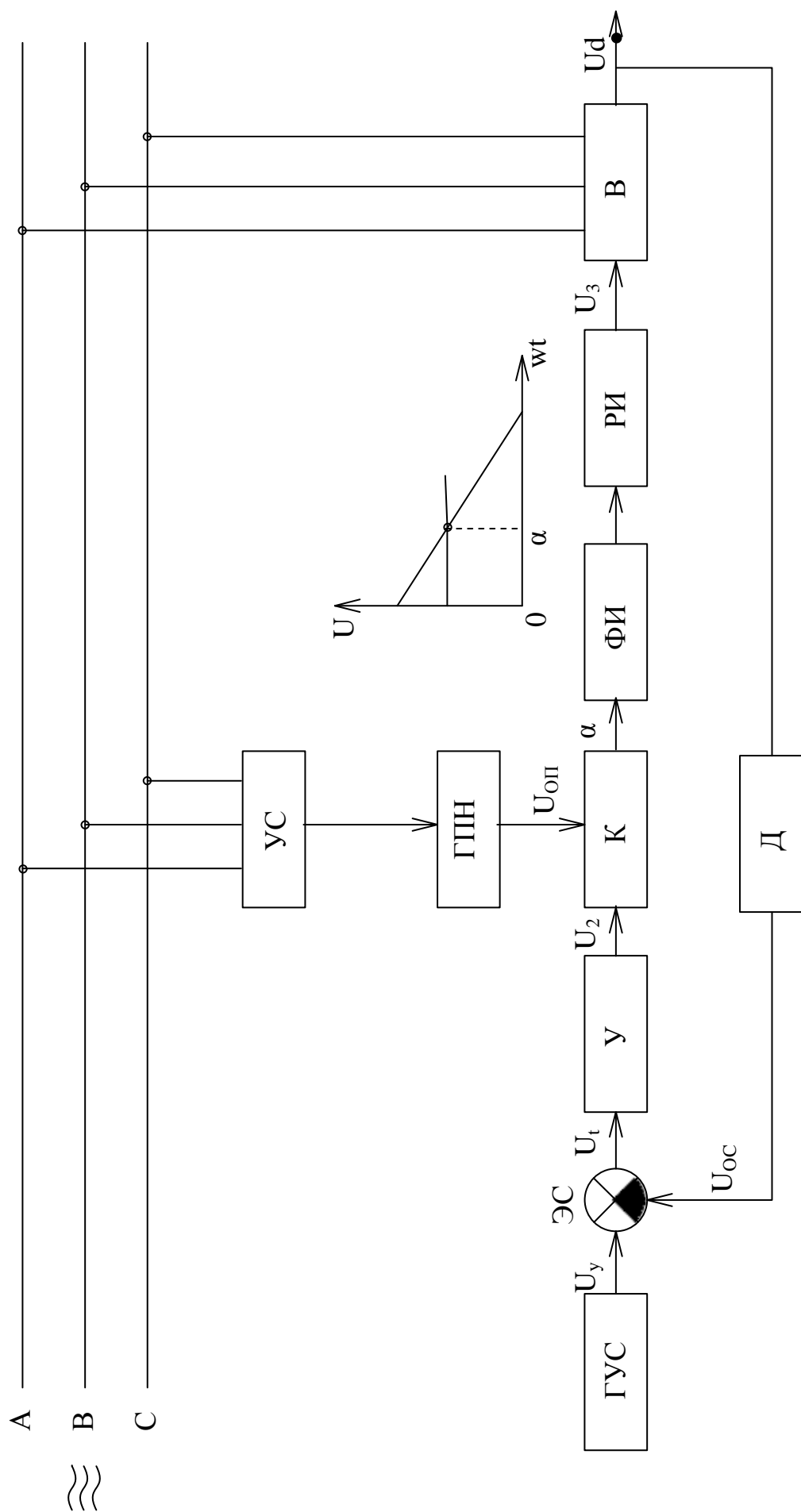


Рисунок 4.1 – Структурная схема системы
Автоматического регулирования

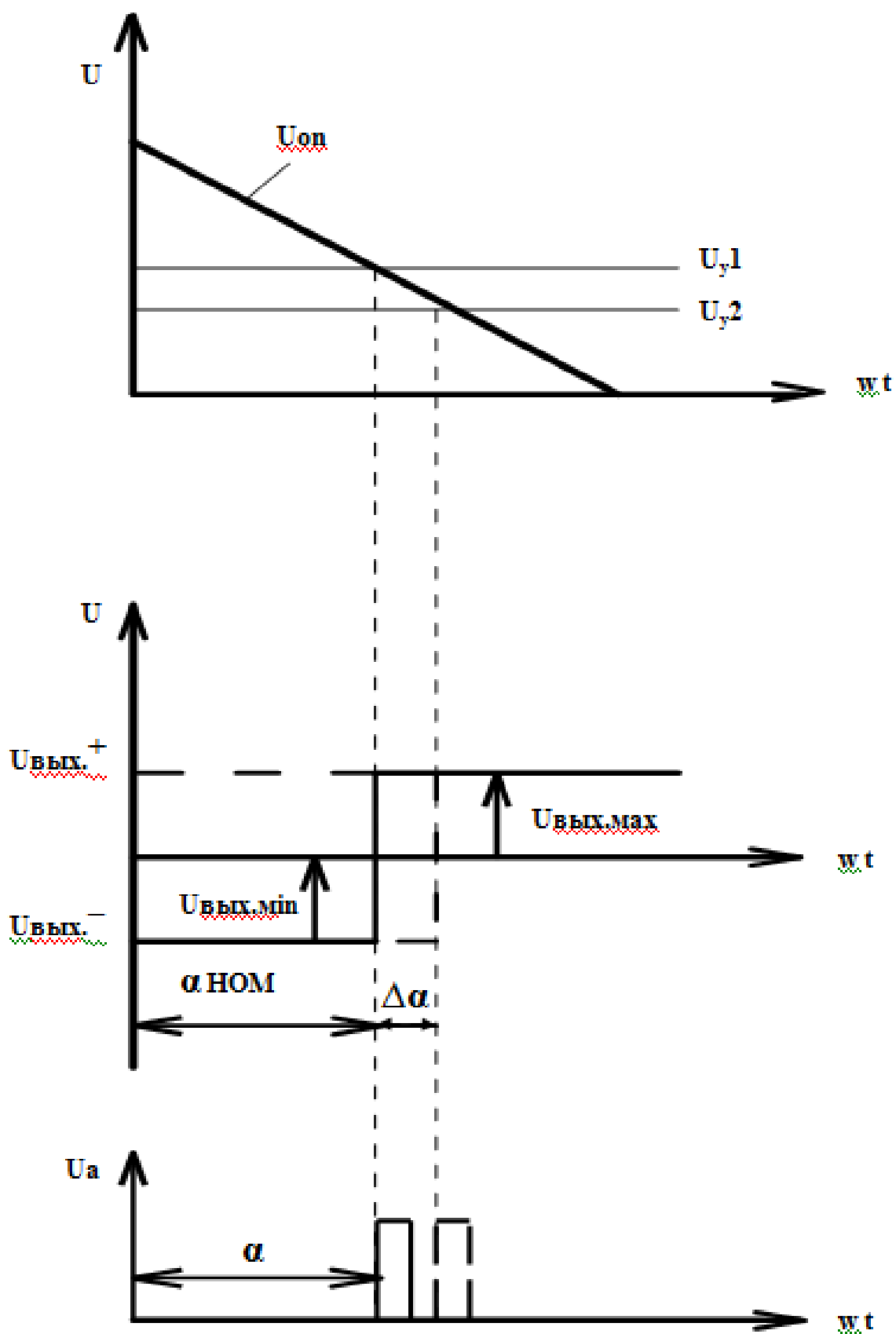


Рисунок 4.2 – Временные диаграммы работы системы управления

Расчет проведем по формуле (4.7).

Коэффициент передачи компаратора и формирователя импульсов

Коэффициент $K_3 = \pi / (2 \times U_m)$ можно определить, если задаться максимальным значением напряжения U_m генератора пилообразного напряжения.

Коэффициент передачи датчика обратной связи

Коэффициент K_1 целесообразно определить при выборе или расчете датчика обратной связи.

4.2 Разработка системы управления выпрямителя

На рис. 4.3 представлена схема синхронного устройства для фазоимпульсного управления выпрямителем.

Если подать на трансформатор 3-х фазное напряжение: U_A, U_B, U_C , то на его вторичных обмотках создаются напряжения в противофазе по отношению друг к другу. На рис. 4.4 представлены синусоидальные U . На R1 – R3 (рис. 4.3), подключенных к 1-ой группе вторичных обмоток, создаются напряжения синхронизации, совпадающие с временем и интервалами работы тиристорной катодной группы выпрямителей (рис. 4.4).

На R4 – R6 создаются напряжения синхронизации, совпадающие по времени с интервалами работы тиристорной анодной группы выпрямителя. Напряжения синхронизации, формируемые R1 – R6 подаются, соответственно, на сетевые фильтры 1 – 6, которые из входного сигнала формируют прямоугольные импульсы напряжения U_A, U_B, U_C и U'_A, U'_B, U'_C с шириной 120° .

U_A и U'_A, U_B и U'_B, U_C и U'_C сдвинуты по отношению друг к другу на 180° . С выходов сетевых фильтров импульсы напряжения подаются на формирователи импульсов синхронизации 7 – 12, которые формируют узкие импульсы напряжения, соответствующие началу каждого входного импульса. С выходов формирователей 7 – 9 импульсы поступают на элемент

13, а с выходов 10 – 12 – элемент 14. Элементы 13 – 14 осуществляют логическое суммирование входных импульсов.

Сигналы с выходов элементов 13 и 14 подаются на генераторы пилообразного напряжения 15 и 16, соответственно. Импульсы пилообразного напряжения U_{r1} и U_{r2} сдвинуты по отношению друг к другу на 60° , длительность каждого импульса составляет 120° .

U_{r1} подается на инвертирующий вход компаратора 17, а U_{r2} подается на инвертирующий вход компаратора 18. На неинвертирующие входы этих компараторов подается напряжение управления:

$$U_y = U - U_{OC}$$

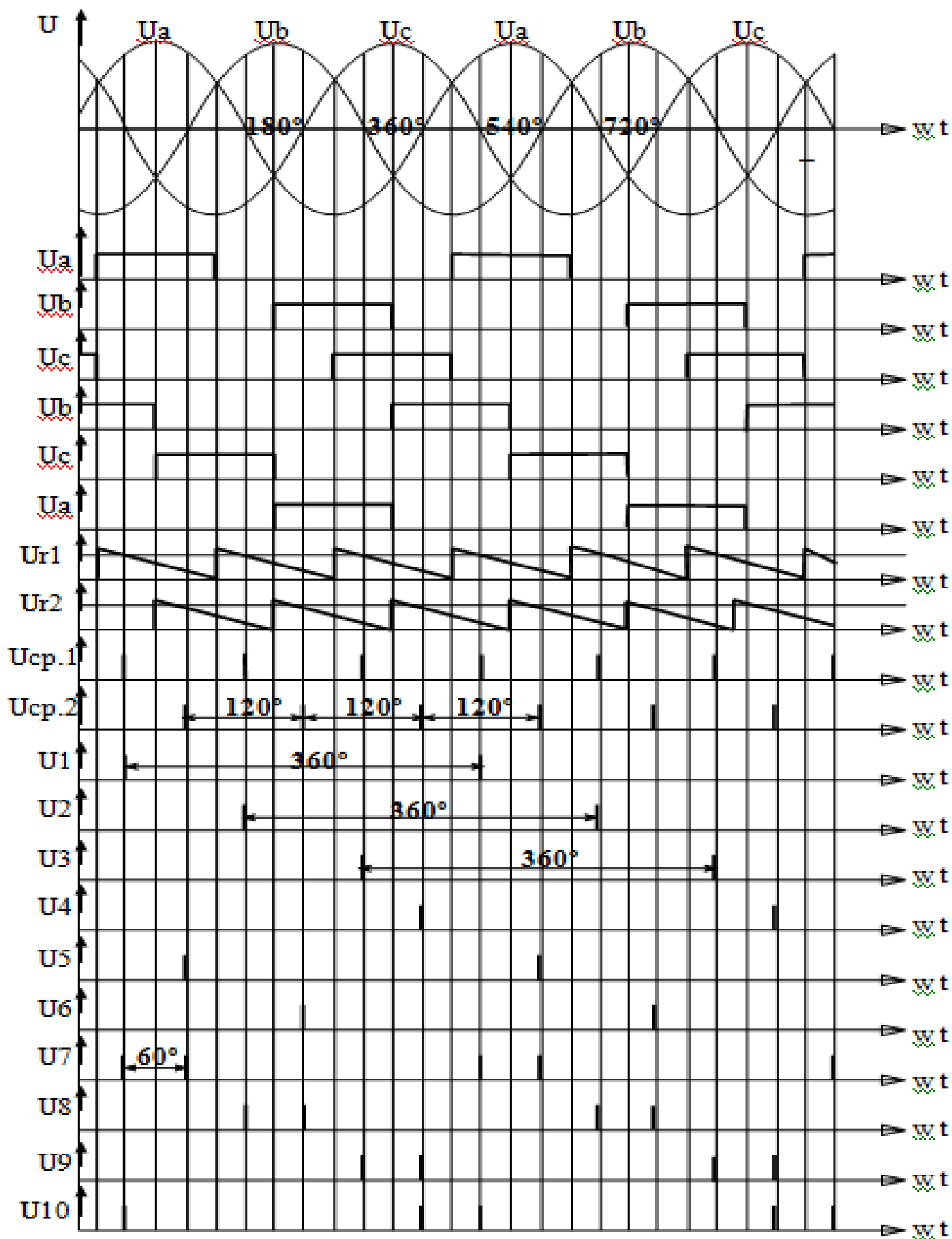


Рисунок 4.4 – Временные диаграммы токов и напряжений устройства управления

В момент равенства этих напряжений на выходах элементов 19 и 20 формируются импульсы U_{CP1} и U_{CP2} . Импульсы U_{CP1} поступают на вторые входы элементов 21 – 23, а импульсы U_{CP2} – на вторые входы элементов 24 – 26. На первые входы этих элементов поступают напряжения синхронизации от сетевых фильтров 1 – 6. Элементы 21 – 26 осуществляют функцию логического умножения входных импульсов U_{CP1} и U_A, U_B, U_C ; U_{CP2} и импульсов U'_A, U'_B, U'_C :

$$U1 = U_A * U_{CP1} ,$$

$$U2 = U_B * U_{CP1} ,$$

$$U3 = U_C * U_{CP1} ,$$

$$U4 = U'_B * U_{CP2} ,$$

$$U5 = U'_C * U_{CP2} ,$$

$$U6 = U'_A * U_{CP2} .$$

5. Выбор устройств защиты от аварийных токов и напряжений

Одним из важнейших требований, предъявляемых к полупроводниковым преобразователям, в том числе и к выпрямителям, является надежность. Ввиду чувствительности полупроводниковых приборов (ПП) к перегрузкам, коротким замыканиям и перенапряжениям и невозможности их восстановления после теплового или электрического пробоя это требование часто удовлетворяется разборщиками преобразователей путем значительного снижения нагрузок ПП, что вызывает удорожание преобразователей и увеличение их габаритов и массы.

Необходимо учитывать также специфику аварийных режимов преобразователя и параметров ПП.

Для защиты преобразователя коротких замыканий применили:

- 1) плавкие быстродействующие предохранители ПП57-3737, рассчитанные на ток 400 А, номинальные потери мощности плавкой вставки 100 Вт [2].
- 2) автоматический выключатель серии А 3711 Б. Номинальный ток автоматического выключателя 160 А [2].

Переходные процессы в цепях полупроводниковых преобразователей часто сопровождаются перенапряжением. Основные из них: перенапряжения, обусловленные внутренними процессами в ПП в моменты коммутации тока; коммутационные перенапряжения, возникающие в момент отключения внешних цепей с индуктивностями; перенапряжения, поступающие из питающей сети. Перенапряжения могут привести к электрическому пробоем приборов, вызывающему, как правило, возникновение КЗ. Для защиты в таких ситуациях используются:

- 1) Защита от перенапряжений в момент коммутации тока. При изменении направления тока в ПП возникают обратные токи, ограниченные только сопротивлением трансформатора. Появление этих токов обусловлено конечным временем рекомбинаций носителей в базовой области, накопленных в период проводящего состояния приборов. Время протекания

обратного тока практически равно времени жизни носителей заряда. С окончанием рекомбинаций носителей обратный ток резко падает, что приводит к появлению напряжения на выключавшемся приборе. Для предотвращения перенапряжения, возникающего в момент выключения ПП, применяются RC – цепочки, включаемые параллельно приборам. В момент включения ПП обратный ток из цепи прибора коммутируется в RC – цепочку. В большинстве выпрямителей промышленной частоты RC – цепи имеют следующие параметры: емкость $C = 0,5$ мкФ, сопротивление $R = 20 - 50$ Ом.

В нашем преобразователе применили RC – цепи с параметрами: $C = 0,51$ мкФ, $R = 20$ Ом.

2) Защита от внешних перенапряжений с помощью RC – цепочек, RC – цепи подключаются ко вторичной обмотке силового трансформатора и предназначаются для ограничений внешних коммуникационных перенапряжений.

Полная принципиальная схема выпрямителя, с устройствами защиты, представлена в графической части дипломного проекта.

6. Компьютерное моделирование

6.1 Современные программы моделирования

Многие программы дают возможность автоматизировать все имеющиеся стадии проектирования электронных устройств, включая подготовку принципиальных схем, моделирование процессов в аналоговых и цифровых цепях, компоновку и трассировку печатных плат, редактирование и расширение библиотек компонентов.

Это объясняется тем, что преобразователи содержат элементы с резко нелинейными характеристиками. Аналитический расчет таких устройств является весьма трудоемким.

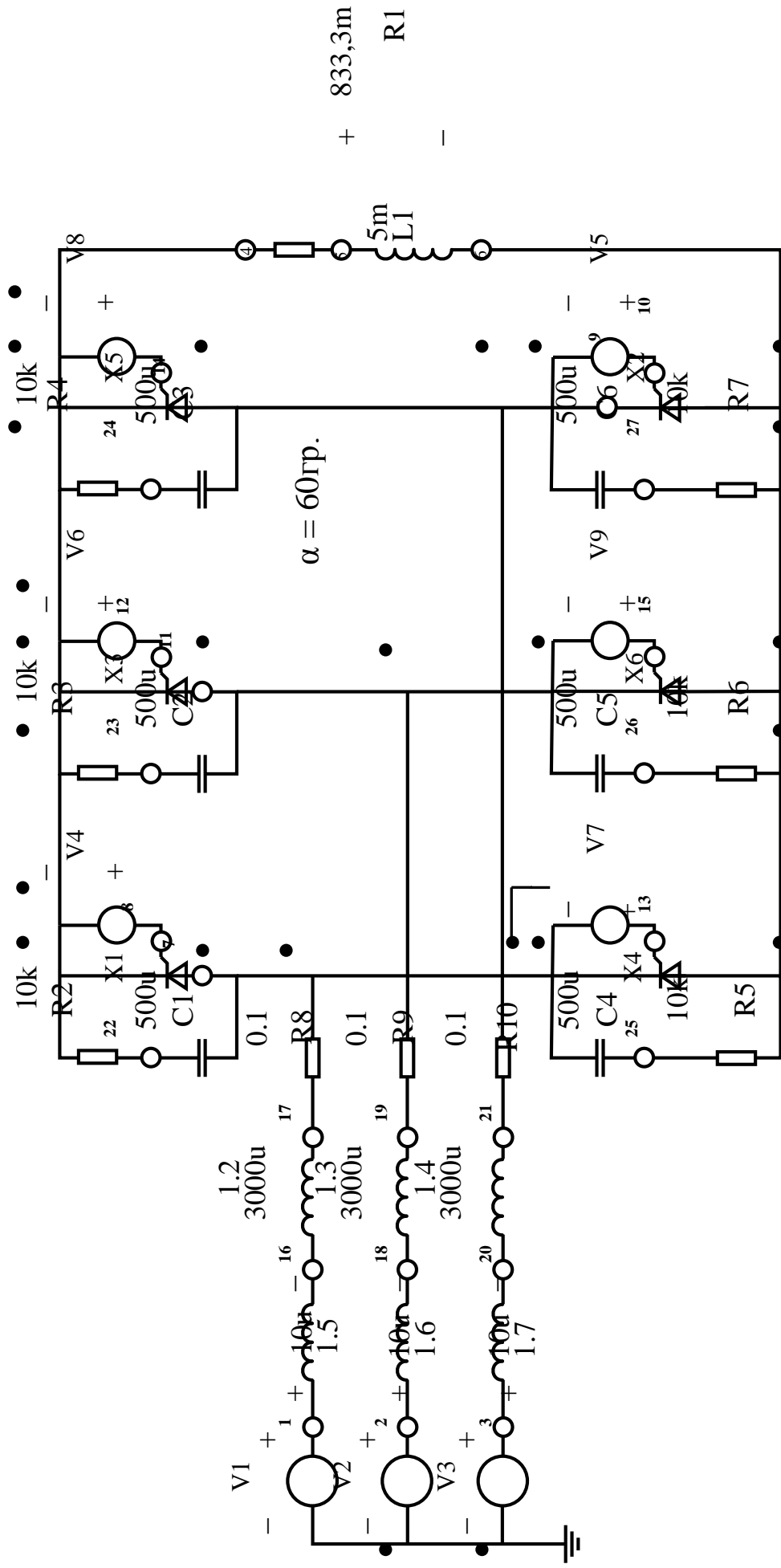
Моделирование устройств преобразовательной техники имеет существенные отличия. Эти отличия вызваны следующими причинами.

1. Как правило, поведение силовых устройств во временной области описывается «жесткими» дифференциальными уравнениями, т.е. уравнениями, постоянные времени которых различаются в сотни и тысячи раз.

2. Схемы преобразователей содержат ключевые элементы, имеющие резко нелинейные характеристики. Это в ряде случаев приводит к проблемам сходимости решения или к низкой точности получаемых результатов.

3. Модели силовых электронных приборов на сайтах фирм-изготовителей часто отсутствуют. Самостоятельная разработка модели требует

глубокого знания процессов, происходящих в приборе. Кроме того справочная информация, необходимая для построения модели, часто также отсутствует.



До начала фронта импульса управления тиристора:

угол управления $\alpha = 60$ гр.

X1 – 5000мкс, X3 – 11666мкс, X5 – 18333мкс,

X2 – 8333мкс, X4 – 15000мкс, X6 – 21666мкс,

Ширина импульса $t_u = 3334\text{мкс}$;

Амплитуда импульса $U_m = 20\text{В}$;

Период импульсов $T_u = 20$ мс;

Амплитуда фазного напряжения $E_m = 310$ В

Обозначения размерностей:

m – мс ; u – мкс ; k – кило

Нагрузка активно-индуктивная R1, L1

L2, L3, L4 – индуктивности рассеяния

вторичной обмотки трансформатора;

R8, R9, R10 – активные сопротивления обмоток

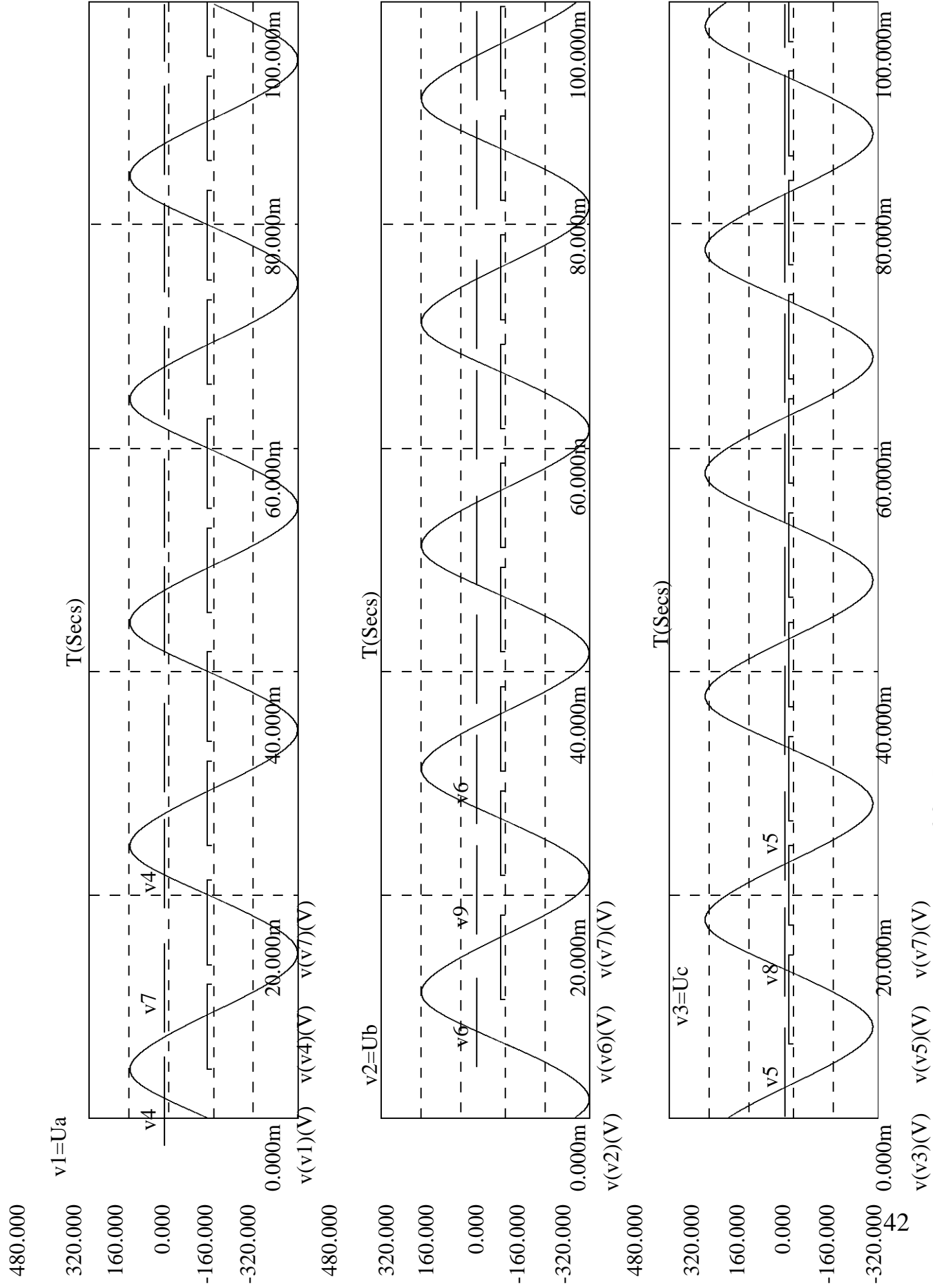


Рисунок 6.2 – Расстановка импульсов управления

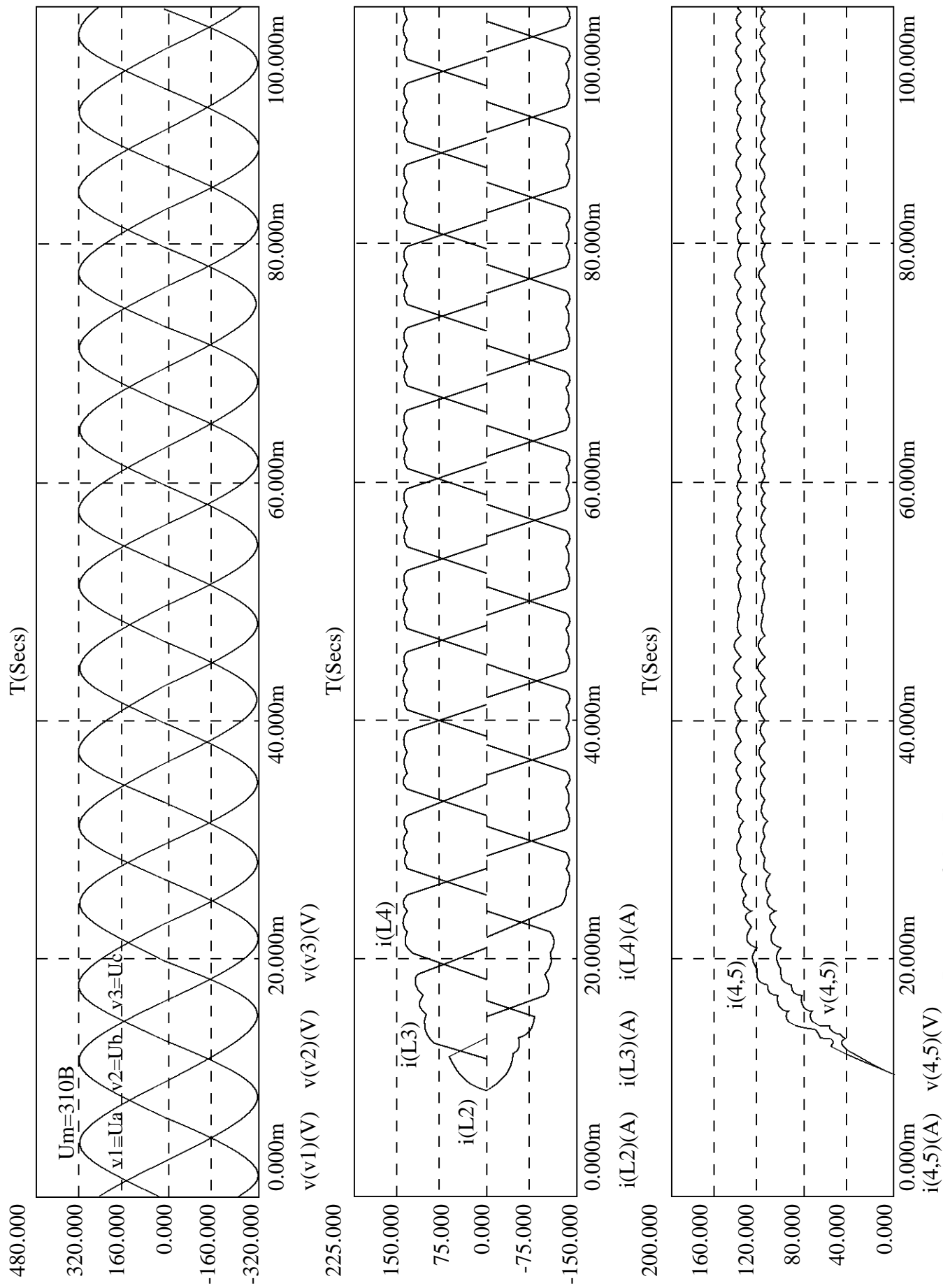


Рисунок 6.3 – Временные диаграммы выпрямителей

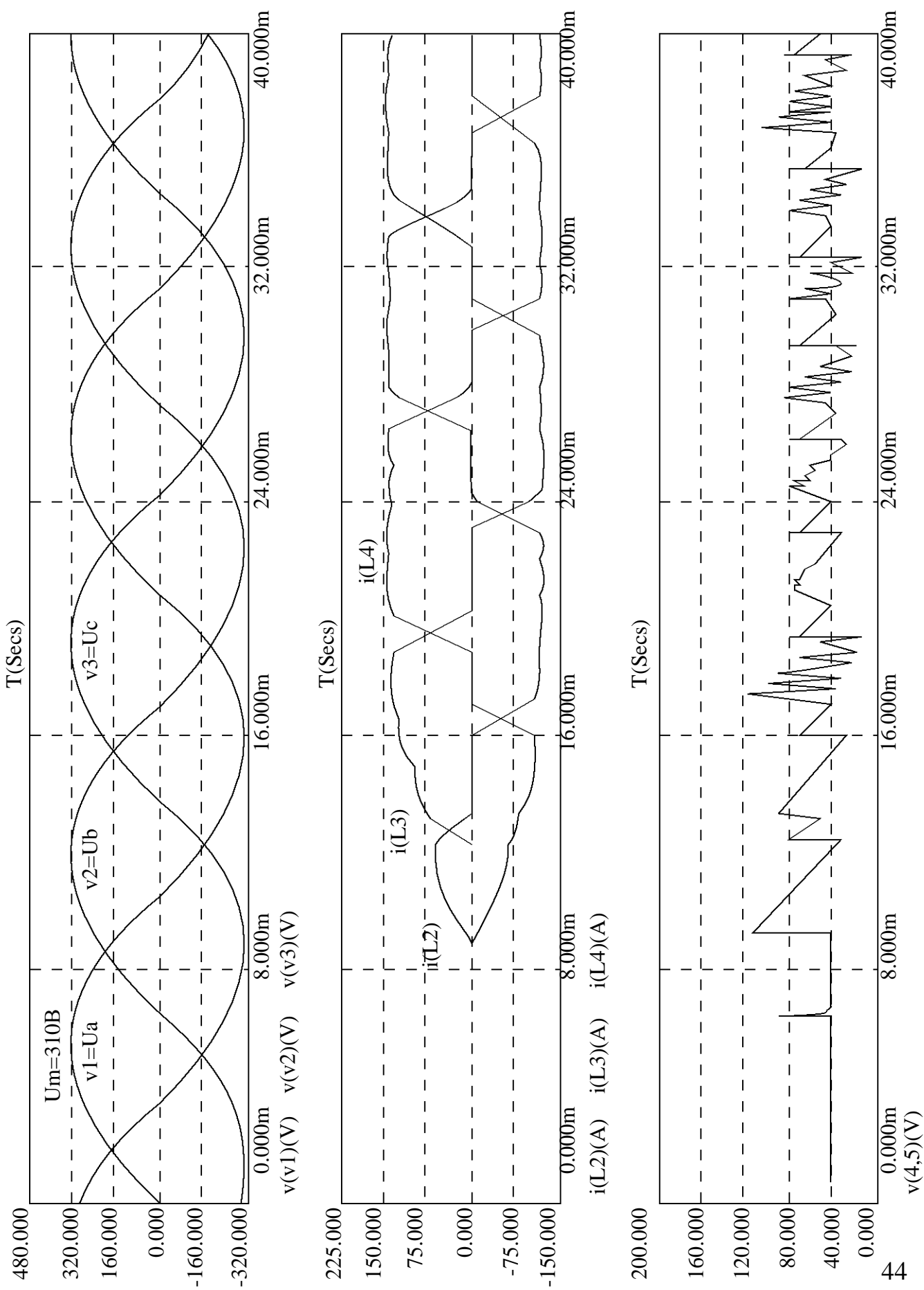


Рисунок 6.4 – Временные диаграммы выпрямителей

7. Экологичность и безопасность проекта

Организация технической эксплуатации локальной электроэнергетической системы. Техническая эксплуатация – это комплекс мероприятий. Обеспечивающие использование электроустановки по прямому назначению и сохранение её безопасности, работоспособности и долговечности. Она включает в себя техническое использование, т.е. обеспечение работы с установленными параметрами, техническое обслуживание (ТО), т.е. поддержание исправности или работоспособности и долговечности, и ремонт, т.е. восстановление исправности и работоспособности.

Техническое использование электроустановок предусматривает подготовку к действию, включение в действие, проверку работоспособности, контроль и управление во время действия, включение из действия и технический осмотр. Техническое обслуживание состоит из контроля технического состояния, чистки, регулировки, замены изношенных деталей, а ремонт – из технической диагностики и устранения отказов. По своему назначению ТО и ремонт подразделяют на плановые, т.е. предусмотренные нормативными документами и осуществляемые в плановом порядке, и внеплановые, т.е. вызванные необходимостью устранения отказов.

Техническое использование электроустановок, например судовых, осуществляет вахта судового электротехнического персонала, а ТО и ремонт – электротехнический персонал по своему расписанию на береговых базах технического обслуживания (БТО) и судремзаводах (СРЗ).

Основополагающими документами технической эксплуатации служат нормативные документы органов государственного народа, Федерального агентства по рыболовству и др.

Основными нормативными документами органов государственного надзора является ГОСТы, распространяющиеся на судовое электрооборудование, «Правила классификации и постройки морских судов» Регистра РФ и др.

Аналогичные документы Федерального агентства по рыболовству – это Устав службы на судах флота рыбной промышленности, Правила техники безопасности на судах флота рыбной промышленности, Правила эксплуатации судовое электрооборудования, Правила технической эксплуатации автоматизированных средств на судах флота рыбной промышленности РФ, Нормативы ремонта и межрейсового технического обслуживания судов флота рыбной промышленности в отечественных портах и др.

Эксплуатационными документами, отвечающими требованиями ЕСКД, служат отчетные чертежи и схемы судовых электроустановок; технические описания, раскрывающие устройство, принцип действия и технические характеристики изделий; инструкции по эксплуатации и инструкции по техническому обслуживанию, указывающие порядок и правила технической эксплуатации или ТО; паспорта, удостоверяющие гарантированные основные характеристики и параметры изделия; формуляры, дополнительно к паспортам, отражающие техническое состояние изделия и сведения по эксплуатации; ведомости ЗИП, устанавливающие номенклатуру, назначение, количество и места укладки ЗИП, и ведомости эксплуатационных документов.

Специальными эксплуатационными документами, утвержденными и одобренными Федеральным агентством по рыболовству, являются машинный электротехнический журнал, книга учёта инвентаря и запасных частей, книга учета расходных материалов и др. Машинный электротехнический журнал – официальный документ, скрепляемый печатью капитана порта, - круглосуточно ведет вахтенный электромеханик, главный (старший) механик и капитан. Остальные журналы и книги, скрепляемые судовой печатью, ведет электротехнический персонал по распределению старшего электромеханика. Внутрисудовые специальные эксплуатационные документы – это расписание электротехнического персонала по заведованиям, график плановых технических обслуживаний (ПТО) и др.

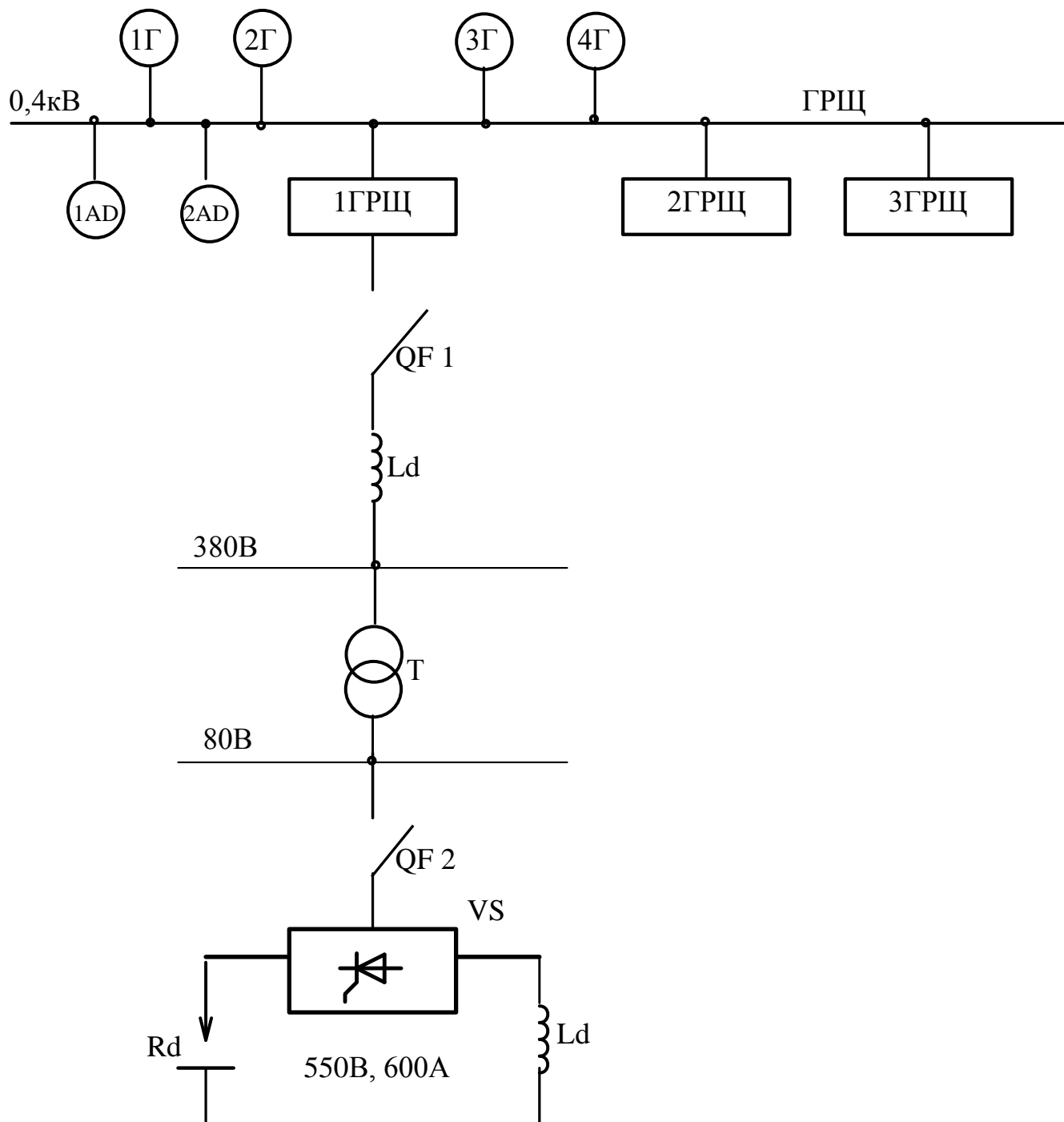
Дополнительными эксплуатационными документами служат акты освидетельствований Регистра РФ, акты и подписания других инспекций; приказы, наставления, дополнения к инструкции по эксплуатации и т.п., издаваемые базами флота и рыбопромышленными объединениями.

Комплекс норм, определяющих организацию и порядок проведения ТО и ремонтов для заданных условий эксплуатации в целях достижения требуемых показателей качества, называют системой ТО. Федеральным агентством по рыболовству принята система непрерывного технического обслуживания (СНТО), позволяющая унифицировать техническую безопасность, повысить качество ТО и увеличить межремонтные сроки эксплуатации, улучшить организацию и планирование ТО, обеспечить ритмичности, работы промыслового флота, БТО и СРЗ. В состав СНТО входят плановое межрейсовое техническое обслуживание (МРТО) без докования и освидетельствования судна, расширенное межрейсовое техническое обслуживание (РМРТО) с докованием и освидетельствования судна, средний ремонт (СР) и капитальный ремонт (КР); СНТО устанавливает единый порядок выполнения работ на однотипных судах через строго определенные промежутки времени. На судах, стоящих в ремонте, ТО неремонтируемого оборудования проводят в те же сроки, что и при эксплуатации судна.

В зависимости от назначения, объема и периодичности проведения работ различают следующие виды ПТО 6 ПТО № 1, предназначен для поддержания изделия в исправности и наружной чистоте, проводят не реже одного раза в месяц без разборки изделия; ПТО № 2, предназначенный для контроля технического состояния и поддержания работоспособности изделия, проводят не реже одного раза в три месяца с частичной разборкой; ПТО № 3, предназначенный для всестороннего контроля технического состояния и наиболее полного восстановления работоспособности, проводят в зависимости от условий эксплуатации с периодичностью 6-12 мес со

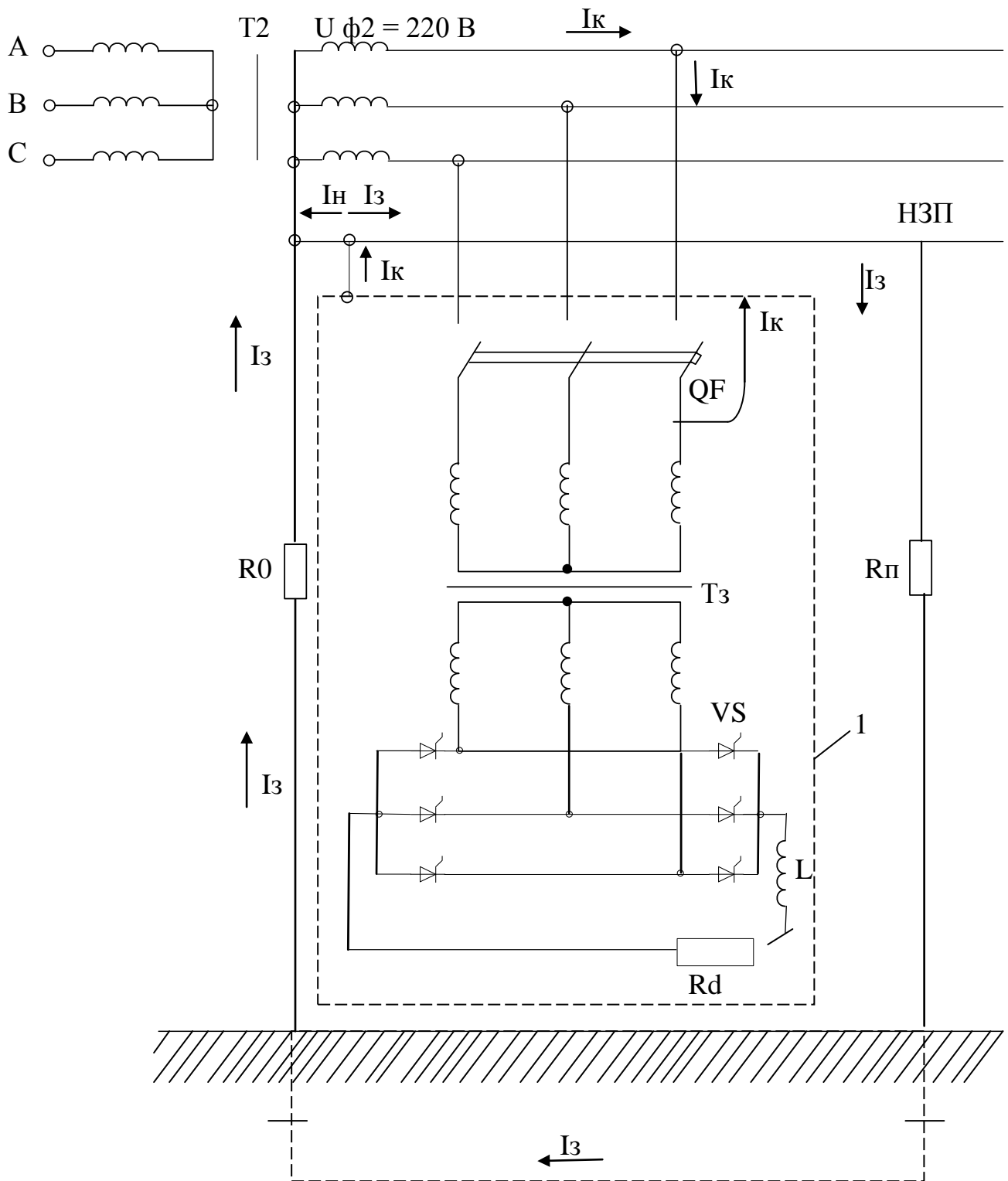
значительной степенью разборки. Периодичность ПТО для электрических машин устанавливается с учётом их типа, исполнения, режима работы и условий эксплуатации, и оно может отличаться от указанной.

Ремонты и межрейсовые ТО в зависимости от типа судна и условий эксплуатации осуществляют по различным схемам технической эксплуатации судов, структура которых установлена четырёхзначными кодами ремонтных циклов судов. Код ремонтного цикла несет следующую информацию: первая цифра указывает число КР в ремонтном цикле; вторая – число СР; третья – число РМРТО; четвёртая – число МРТО, она же соответствует продолжительности ремонтного цикла в годах; частное от деления четвёртой цифры на сумму первой и второй даёт продолжительность межремонтного периода в годах, а сумма всех цифр кода указывает число периодов так называемой «чистой» эксплуатации (ПЧЭ) судна за ремонтный цикл. Согласно «Правилам устройства электроустановок» оборудование сварочных установок с трансформаторами, тиристорными преобразователями и конденсаторами устанавливается в отдельных помещениях или непосредственно в цехе в технологическом потоке производства категорий Г и Д по строительным нормам и правилам; строительные конструкции указанных помещений должны иметь пределы огнестойкости не ниже значений, приведенных для внутрицеховых преобразовательных подстанций. К выполнению сварки допускаются лица, прошедшие обучение, инструктаж и проверку знаний требований безопасности, имеющие квалификационную группу по электробезопасности не ниже II и имеющие соответствующие удостоверения.



Г – генератор;
 АД – асинхронный двигатель;
 ГРЩ – главный распределительный щит;
 Т – трансформатор;
 QF – автоматический выключатель;
 VS – выпрямитель;
 Rd – дуга;
 Ld – дроссель;
 α ном – 27,6 град.;
 Ed – 106 В

Рисунок 7.1 – Система электроснабжения. Схема структурная



1 – корпус источника питания; T2 – понижающий трансформатор;
T3 – сварочный трансформатор; QF – автоматический выключатель;
R0 – сопротивление заземления нейтрали;
RП – сопротивление повторного заземления нулевого защитного
проводника (НЗП); VS - выпрямитель

Рисунок 7.2 – Принципиальная схема зануления
источника питания сварочной установки

8. Стоимостной анализ применения схемотехнического проектирования источника питания

Направление проекта - стабилизированный источник питания (тиристорный). Цель - увеличение точности расчётов, уменьшение затрат по времени и средствам на разработку источника питания установки. Способ решения - схемотехническое моделирование (моделирование на компьютере).

Компьютерное моделирование является в настоящее время важной составной частью процесса проектирования электронных устройств.

Современные программы моделирования электронных цепей представляют виртуальные лаборатории, включающие обширные библиотеки электронных компонентов. Многие программы позволяют автоматизировать все стадии проектирования электронных устройств, включая подготовку принципиальных схем, моделирование процессов в аналоговых и расширение библиотек компонентов.

Программы схемотехнического моделирования широко применяют для автоматизации проектировании интегральных схем, физическое моделирование ИС связано с большими денежными затратами. Аналитический расчет таких устройств является весьма трудоемкими.

Заключение

Разработанный стабилизированный источник питания выполнен на базе трехфазного мостового управляемого выпрямителя. Источник питания с синхронной системой управления вертикального типа.

Номинальное значение угла управления $27,6^\circ$. Номинальное значение угла коммутации $50,1^\circ$. Типовая мощность трансформатора 62 кВА. Стабилизация напряжения обеспечивается отрицательной обратной связью по напряжению. Статическая ошибка 0,1%.

Коэффициент пульсации выпрямленного напряжения на нагрузке 0,05% обеспечивается L_c – фильтром. Индуктивность фильтра 0,2 мГн. Емкость фильтра 0,9Ф. Охлаждение водяное.

Выпрямитель выполнен на тиристорах типа Т 133 – 400 (12 класса).

Выполнено схемотехническое моделирование выпрямителя с помощью программы MicroCap. Выпрямитель выходит на установившийся режим работы за время не более 30 мс при угле управления 60 градусов, активном сопротивлении контура нагрузки 833,3 Ом, индуктивности 5 мГн. Индуктивность коммутации 3 мГн, активное сопротивление 0.1 Ом. Установившиеся значения тока и напряжения на нагрузке 130 А и 108 В.

Литература

1. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: учеб. пособие для вузов / О.З. Попков. 2-е изд., стереот.- М: Издательский дом МЭИ,2007. - 200 с.: ил.
2. Москатов Е.А. Источники питания. – МК-Пресс, КОРОНА-ВЕК, 2012.- 208с.
3. Дмитриев Б.Ф. Судовые полупроводниковые преобразователи /под ред. Б.Ф. Дмитриев, В.М. Рябенский, А.И. Чревко и М.М. Музыка – СПб.:Изд-во СПбГМТУ, 2015.-556 с.
4. Бар В.И. Источники питания электротехнологических установок/ В.И. Бар – Тольятти, 2012 – 32 с.
5. Амелина М. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap/ М. А. Амелина, С. А. Амелин.- М.: Горячая линия- Телеком, 2007.-454 с.
6. Трофимова Л. А. Управление знаниями: учебное пособие/ Л. А. Трофимова, В.В.Трофимов. – СПб.:Изд-во СПбГУЭФ,2012. - 77
7. Кашкаров А.П. Всё об источниках питания. Энциклопедия радиолюбителя. – ДМК-Пресс, 2013.- 184с.
8. Браун М. Источник питания. Расчёт и конструирование – МК-Пресс, 2007.- 288с.
9. Давыдов М.В. Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств. – Мн.: БГУИР, 2013.- 281с.
10. Гаврилов С.А. Искусство схемотехники, Просто о сложном – СПб: Изд-во Наука и техника, 2011.- 352с.
11. Блум Х. Схемотехника и применение мощных импульсных устройств – М.: Изд-во ДОДЭКА-XXI, 2008.- 352с.
12. Ашихмин А.С. Цифровая схемотехника. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2008. – 304 с.: ил.
13. Лачин В.И. Электроника: Учебное пособие для вузов. – 6-е изд., перераб.и доп. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 703с.

14. Уилмсхерст Т. Разработка встроенных систем с помощью микроконтроллеров PIC: Принципы и практические примеры. – Киев; СПб.: МК-Пресс: КОРОНА-Век, 2008. – 1 CD.
15. Бэйли Д. Радиотехника и телеметрия в промышленности: Практическое руководство.; Пер.с. англ. ООО «Пропартнер»; Науч. Ред. А.В. Орлов. – М.: Группа ИДТ, 2008. – 320 с.
16. Alexander, Charles K., Sadiku Matthew N.O. Fundamentals of electric circuits: McGraw-Hill Companies, Inc.5th ed. 2013 y – 995 p.
17. Baker R.J. CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation (3rd Edition): Wiley-IEEE Press, 2010. - 1208 p.
18. Dennis L. Eggleston Basic Electronics for Scientists and Engineers: Монография, Cambridge University Press, 2011, 267 p.
19. Fernandez-Canque H.L. Analog Electronics Applications: Fundamentals of Design and Analysis: Boca Raton: CRC Press, 2016. — 432 p.
20. Floyd T., Buchla D. Electronics Fundamentals: Circuits, Devices & Applications: Монография, 2014, 8th edition, 1065 p.

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	<u>Автоматический выключатель</u>		
QF	A3731Б 16.522.028-74	ТУ 1	
	<u>Тиристоры</u>		
VS1...VS6	T161 – 125 – 8 16.529.716-72	ТУ 6	
	<u>Конденсаторы</u>		
C1...C6	KM-5-H30-4700пФ ОЖО.464.043 ТУ	6	
	<u>Плавкие предохранители</u>		
FU1...FU 6	ТП – 320 А 16.526.468-80	ТУ 6	
	<u>Резисторы</u>		
R1...R6	МЛТ -1 -10 Ом ± 5 % ГОСТ 7113 – 77	6	
Rd	МЛТ -1 -10 Ом ± 5 % ГОСТ 7113 – 77	1	
XT1...XT3	Разъем	3	
XT1...XT3	Вилка	3	
	<u>Впервые разработанные элементы</u>		
T	Трансформатор	1	
Ld	Дроссель	1	