

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан МФ



/С.Ю. Труднев/

«23» октября 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Судовая электроника и силовая преобразовательная техника»**

по специальности  
по направлению подготовки  
13.03.02 «Энергетика и электротехника»  
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»  
квалификация: бакалавр

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 02.10.2024 г., протокол № 2

Составитель рабочей программы  
Старший преподаватель кафедры «ЭУЭС»



Рогожников А.О.

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

## 1. Цели и задачи учебной дисциплины

**Целью** освоения дисциплины «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника» является формирование теоретических знаний, умений и практических навыков, необходимых для понимания элементной базы и схемотехники современных систем управления, измерения и контроля судового оборудования, а также обслуживания, настройки и ремонта в судовых условиях технических средств, в состав которых входят элементы силовой преобразовательной техники.

**Задачи** дисциплины: ознакомление с физическими процессами в преобразователях электрической энергии на судах; изучение принципа действия функциональных, структурных и принципиальных схем выпрямителей и инверторов, преобразователей частоты, регуляторов постоянного и переменного тока, компенсаторов реактивной мощности; освоение методов анализа, расчета и выбора элементов электронных схем; овладение основами проектирования электронных схем; приобретение навыков поиска неисправностей, настройки и замены электронных компонентов.

**Освоение дисциплины предполагает:** изучение физических основ электронной техники, основных типов полупроводниковых приборов и компонентов электронных схем; изучение основных разновидностей электронных схем на полупроводниковой элементной базе; освоение методов анализа, расчета и моделирования электронных схем; ознакомление с основами проектирования электронных схем.

## 2. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих *профессиональных компетенций*:

1. Способен осуществлять безопасное техническое использование, техническое обслуживание, диагностирование судового электрооборудования, электроники и электротехнических средств автоматизации машинного отделения, включая системы управления главной двигательной установки, вспомогательных механизмов, гребной электрической установки и электростанции. (ПК-1).

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлены в таблице.

Код компетенции	Планируемые результаты освоения образовательной программы	Код и наименования индикатора достижения компетенции	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
ПК-1	Способен производить оценку технического состояния электрооборудования.	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> . Знает устройство (конструкцию) электрооборудования и устройств автоматизации	<b>Знать:</b> – устройство, принцип действия и техникоэксплуатационные характеристики отдельных элементов и системы в целом; – физические процессы и свойства судовой электроэнергетической системы в статических и динамических режимах работы; – принципы управления и автоматизации судовой электроэнергетической системы; – организацию технической эксплуатации, технического обслуживания и ремонта судовой электроэнергетической системы; – основы безопасной эксплуатации и требования Регистра, предъявляемые к судовой электроэнергетической системе и ее элементам.	3(ПК-1)1
		ИД-2 <sub>ПК-1</sub> . Знает гребные электрические установки судов, электродвигатели и системы управления		3(ПК-1)2
		ИД-3 <sub>ПК-1</sub> . Знает высоковольтные технологии, включая специальный тип высоковольтных систем и опасности, связанные с рабочим напряжением более 1000 вольт		3(ПК-1)3
		ИД-4 <sub>ПК-1</sub> . Умеет анализировать параметры технического состояния электрооборудования		3(ПК-1)4
		ИД-5 <sub>ПК-1</sub> . Умеет работать с технической документацией по эксплуатации электрооборудования и автоматизации		3(ПК-1)5

			<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбирать состав действующих технических средств и режим работы судовой электроэнергетической системы в зависимости от производственной необходимости и режима работы судна;</li> <li>– оценивать режим работы и техническое состояние работающих элементов электроэнергетической системы по контрольным параметрам и косвенным характеристикам их работы;</li> <li>– управлять процессом работы судовой электроэнергетической системы в ручном и автоматическом режиме;</li> <li>– осуществлять поиск и устранение неисправностей, организовывать техническое обслуживание и ремонт элементов судовой электроэнергетической системы.</li> </ul>	<p><b>У(ПК-1)1</b></p> <p><b>У(ПК-1)2</b></p> <p><b>У(ПК-1)3</b></p> <p><b>У(ПК-1)4</b></p>
			<p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– эксплуатацией судовой электроэнергетической системы и ее элементов;</li> <li>– управлением режимами работы судовой электроэнергетической системы;</li> <li>– построением и чтением электрических схем;</li> <li>– использованием технической документации и ведении судовой эксплуатационной документации.</li> </ul>	<p><b>В(ПК-1)1</b></p> <p><b>В(ПК-1)2</b></p> <p><b>В(ПК-1)3</b></p> <p><b>В(ПК-1)4</b></p>

### 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений в структуре основной профессиональной образовательной программы, обеспечивает подготовку студентов в области силовых преобразовательных устройств и электронной техники.

При изучении дисциплины используются знания и навыки, полученные при освоении дисциплин «Математика», «Физика», «Теоретические основы электротехники», «Информатика», «Теория автоматического управления».

Результаты освоения дисциплины используются при изучении последующих дисциплин профессионального цикла ООП, обеспечивающих дальнейшую подготовку в указанной области: «Микропроцессорные системы управления», «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики», «Судовые электроприводы», «Судовые автоматизированные электроэнергетические системы», «Гребные электрические установки», «Основы технической эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики», «Системы управления судовыми энергетическими процессами».

Знания, умения и навыки, полученные по программе дисциплины, используются и углубляются при прохождении студентами практик и научно-исследовательской работы, выполнении выпускной квалификационной работы.

## 4. Содержание дисциплины

### Тематический план дисциплины заочной формы обучения

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>4 курс</b>								
Полупроводниковые приборы (биполярные и полевые транзисторы, диоды, тиристоры)	18	8	4	4		10	Контроль СРС, защита отчетов по практическим работам.	
Газоразрядные и электро-вакуумные приборы	18					18		
Усилители электрических сигналов. Основные свойства усилителей с включением транзисторов по схеме ОЭ, ОБ, ОК. Дифференциальные усилители.	18	12	4	4	4	6		
Операционные усилительные каскады	15					15		
Мощные усилительные каскады с трансформаторной связью.	18					18		
Схемы выпрямления и основные соотношения при работе выпрямителя на активную нагрузку.	22	16	6	4	6	6		
Транзисторные ключи. Элементы логических схем. Логические функции. Минимизация логических функций.	22	4	4			18	Контроль СРС, защита отчетов по практическим работам.	
Назначение и классификация триггерных устройств. Триггеры на интегральных схемах	19					19		
Счётчики: суммирующие, вычитающие, с параллельным переносом, универсальные.	19					19		
Регистры: параллельные, последовательные, универсальные. Сумматоры: двоичный полусумматор, одноразрядный	19					19		
Шифраторы. Дешифраторы. Мультиплексоры. Демультимплексоры	19					19		
Запоминающие устройства. ПЗУ. Оперативные запоминающие устройства (ОЗУ).	19					19		
Управляемые выпрямители и тиристорные регуляторы	13					13		
<b>Курсовая работа</b>							Защита	
<b>Экзамен</b>	<b>9</b>						Опрос, тест	<b>9</b>
<b>Всего</b>	<b>252</b>	<b>40</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>199</b>		

### 4.2. Содержание дисциплины

#### Тема 1. Общие понятия об элементах и устройствах электроники.

##### Лекция

Краткий исторический обзор развития теории и техники электронных приборов. Классификация электронных приборов и устройств.

##### Лабораторное занятие

Лабораторная работа 1. Ознакомление с лабораторным оборудованием.

Литература: [10, с. 10-27]

#### Тема 2. Полупроводниковые приборы (биполярные и полевые транзисторы, диоды, тиристоры)

### *Лекция*

Электропроводность твердых тел. Собственные и примесные полупроводники. Электронно-дырочный переход. Полупроводниковые диоды. Характеристики, способы проверки исправности. Типы диодов, их параметры, свойства, применение. Биполярные транзисторы. Устройство, принцип действия. Схемы включения (ОЭ, ОБ, ОК); характеристики, способы проверки исправности. Полевые транзисторы. Классификация, устройство, принцип действия. Схемы включения (ОИ, ОС, ОЗ); характеристики, способы проверки исправности. С управляющим электродом, МОП – структуры, МДП – специального назначения, свойства, применение. Тиристоры. Основные параметры и их ориентировочные значения.

### *Лабораторное занятие*

*Лабораторная работа 2.* Исследование выпрямительного полупроводникового диода.

*Лабораторная работа 3.* Исследование биполярного транзистора.

*Литература:* [10, с. 28-36, с. 37-53]

*Практическая работа № 1.* Расчет питающего силового трансформатора для источников вторичного электропитания судовой радиоаппаратуры

*Литература:* [10, с. 113-121; 12, с. 8-29]

### **Тема 3. Газоразрядные и электро-вакуумные приборы.**

#### *Лекция*

Электрорадиотехнические приборы. Устройство, принцип работы. Основные типы ЭВП. Электронно-лучевые трубки. Классификация, применение. Газоразрядные приборы. Устройство, принцип работы. Основные типы ГРП. Классификация, применение.

### **Тема 4. Усилители электрических сигналов. Основные свойства усилителей с включением транзисторов по схеме ОЭ, ОБ, ОК. Дифференциальные усилители.**

#### *Лекция*

Усилители электрических сигналов. Общие сведения, принцип действия усилителя. Основные характеристики усилителей. Основные параметры усилителей (коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление, динамический диапазон, полоса пропускания и т.д.), способы их определения. Способы задания режимов работы электронных усилителей и их влияние на параметры и характеристики усилителей. Искажение сигналов в усилителях (линейные и нелинейные), способы их определения. Способы включения транзисторов в усилителях. Основные свойства усилителей с включением транзисторов по схеме ОЭ, ОБ и ОК. Обратная связь в усилителях. Основные свойства усилителей с включением транзисторов по схеме ОИ, ОЗ и ОС. Обратная связь в усилителях. Положительная и отрицательная обратная связи, их влияние на характеристики и параметры усилителей. Комбинированные соединения транзисторов в усилителях. Дифференциальные усилители. Основные параметры, схемы соединения с источником сигнала и с нагрузкой. Симметричный и несимметричный выход. Парафазный усилитель. Переход от симметричного выхода к несимметричному. Схема сдвига уровня.

#### *Лабораторное занятие*

*Лабораторная работа 4.* Исследование однофазных выпрямительных устройств.

*Лабораторная работа 5.* Исследование фильтров выпрямителей.

*Литература:* [10, с. 54-81, с. 82-112]

### **Тема 5. Операционные усилители.**

#### *Лекция*

Основные схемные решения. Характеристики схем на операционных усилителях. Инвертирующий, неинвертирующий и дифференциальный усилители на ОУ. Применение ОУ в судовой аппаратуре. Характеристики схем на операционных усилителях. Инвертирующий, неинвертирующий и дифференциальный усилители на ОУ. Применение ОУ в судовой аппаратуре.

#### *Лабораторное занятие*

*Лабораторная работа 6.* Исследование транзисторных RC-усилителей.

#### *Практическое занятие*

*Практическая работа № 2.* Электрический расчет резисторно-ёмкостного RC-усилителя.

*Литература:* [10, с. 113-121; 12, с. 30-41]

## **Тема 6. Общие сведения.**

### *Лекция*

Введение. Задачи и предмет курса. Содержание дисциплины. Современная элементная база. Общие сведения об импульсных процессах. Линейные элементы импульсных устройств.

## **Тема 7. Транзисторные ключи.**

### *Лекция*

Работа транзисторов в ключевом режиме. Схема транзисторного ключа с общим эмиттером. Сокращение длительности переходных процессов в транзисторном ключе.

### *Практическое занятие*

*Практическая работа № 3.* Обоснование и электрический расчет сглаживающего LC-фильтра выпрямительного устройства.

*Литература:* [12, с. 42-43]

## **Тема 8. Элементы логики.**

### *Лекция*

Общие сведения о логических схемах (элементы логики: «ИЛИ», «И», «НЕ», «ИЛИ-НЕ», «И-НЕ», схема равнозначности – «ИЛИ-ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ»). Логические функции. Основные формулы и законы булевой алгебры. Переключательные функции и способы их представления. Функционально-полная система логических элементов. Минимизация переключательных функций.

### *Лабораторное занятие*

*Лабораторная работа 1.* Исследование элементов логики.

*Литература:* [11, с. 21-28]

## **Тема 9. Цифровые автоматы.**

### *Лекция*

Триггеры. Общие сведения о цифровых автоматах. Структурная схема автомата с памятью. Классификация триггеров. D-триггеры, R-S-триггеры, J-K-триггеры. Триггеры с динамическим управлением. T-триггеры.

### *Лабораторное занятие*

*Лабораторная работа 2.* Исследование D и RS-триггеров.

*Литература:* [11, с. 29-35]

## **Тема 10. Счётчики. Регистры.**

### *Лекция*

Классификация счётчиков. Асинхронные и синхронные счётчики. Счётчики с последовательным и параллельным переносом. Суммирующие и вычитающие счётчики. Параллельные (статические) регистры. Последовательные (сдвигающие) регистры. Универсальные регистры. Применение.

### *Лабораторное занятие*

*Лабораторная работа 3.* Исследование двоичных и двоично-десятичных счётчиков.

*Литература:* [11, с. 36-43]

## **Тема 11. Шифраторы. Дешифраторы. Мультиплексоры. Демультимплексоры**

### *Лекция*

Шифраторы. Дешифраторы. Схемные решения. Область применения. Сумматоры и полусумматоры. Схемные решения. Область применения. Цифровые компараторы. Схемные решения. Область применения. Преобразователи кодов. Схемные решения. Область применения.

### *Лабораторное занятие*

*Лабораторная работа 4.* Исследование преобразователей кодов ПЗУ K155ПР6, K155ПР6.

*Лабораторная работа 5.* Исследование RG – регистров (микросхемы K155ИР1, K155ИР13).

### *Практическое занятие*

*Практическая работа № 4.* Электрический расчёт сглаживающего фильтра (LC) для нестабилизированного выпрямителя

*Литература:* [11, с. 44-49, с. 50-61; 12, с. 44-45]

## **Тема 12. Цифровая обработка сигналов.**

### *Лекция*

Импульсно-кодовая модуляция. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) – параллельного взвешивания. АЦП – поразрядного взвешивания. АЦП – последовательного счёта компенсационного типа. Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) на резистивной матрице  $R-2R$ .

*Лабораторное занятие*

*Лабораторная работа 6.* Исследование оперативного запоминающего устройства (микросхема К155РУ2).

*Литература:* [11, с. 62-67]

### **Тема 13. Силовые управляемые выпрямители.**

*Лекция*

Однофазный мостовой управляемый выпрямитель. Трёхфазный управляемый выпрямитель с выводом от средней точки трансформатора. Трёхфазный мостовой управляемый выпрямитель. Шести-фазные схемы. Последовательное и параллельное включение выпрямительных схем. Реверсивные управляемые выпрямители.

*Лабораторное занятие*

*Лабораторная работа 7.* Исследование четырёхразрядного сумматора типа К155ИМ3.

*Литература:* [11, с. 68-74]

### **Тема 14. Преобразователи.**

*Лекция*

Преобразователи частоты. Преобразователи переменного напряжения. Переключатели постоянного тока. Системы управления тиристорными преобразователями. Защита тиристорных преобразователей. Защита силовых вентилях от перенапряжений

*Лабораторное занятие*

*Лабораторная работа 8.* Исследование дешифратора (микросхема К155ИД1) и мультиплексора (микросхема К155 КП7).

*Литература:* [11, с. 75-81]

## **5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся**

### **5.1. Внеаудиторная самостоятельная работа курсантов / студентов**

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника» является важной составляющей частью подготовки студентов выполняется в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) и учебным планом КамчатГТУ.

#### **Самостоятельная работа студентов ставит своей целью:**

1. развитие навыков ведения самостоятельной работы;
2. приобретение опыта систематизации полученных результатов исследований, формулировку новых выводов и предложений как результатов выполнения работы;
3. развитие умения использовать научно-техническую литературу и нормативно-методические материалы в практической деятельности;
4. приобретение опыта публичной защиты результатов самостоятельной работы.

#### **Темы СРС:**

Тема 1. Полупроводниковые резисторы: термо-, фото-, магниторезисторы, варисторы, терморезисторы, датчики Холла и т.д.. Конденсаторы в дискретном и интегральном исполнении. Общие сведения о компонентах оптоэлектроники. Управляемые источники света. Основные параметры светодиодов. Фотоприёмники. Мощные усилительные каскады. Общие сведения о мощных усилительных каскадах. Каскад с ОБ, трансформаторным входом и трансформаторным выходом. Двухтактные выходные каскады. Бестрансформаторные мощные выходные каскады.

Тема 2. Основные сведения о выпрямителях. Однополупериодный выпрямитель. Двухполупериодный выпрямитель. Однофазная мостовая схема выпрямления. Трехфазный выпрямитель. Выпрямитель на тиристоре. Выпрямление с умножением напряжения. Стабилизаторы напряжения. Сглаживающие фильтры.

Тема 3. Сглаживающие и активные фильтры. Статические преобразователи напряжения.

Основные типы сглаживающих фильтров, расчёт их параметров. Выбор элементов фильтров. Регулирование и стабилизация тока и напряжения. Инверторы на транзисторах и тиристорах. Основные схемы. Расчёт основных параметров. Автономные инверторы. Инверторы, ведомые сетью. Схемы управления силовыми преобразователями. Активные фильтры.

Тема 4. Многокаскадные усилители. Усилители в интегральном исполнении. Операционные усилители. Параметры и характеристики операционных усилителей. Операционные усилители с улучшенными характеристиками. Особенности включения и свойства операционных усилителей, охваченных обратной связью. Устойчивость усилителей и коррекция их характеристик.

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

### **Вопросы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (экзамен)**

1. Классификация электронных приборов и устройств.
2. Электропроводность твердых тел
3. Собственные и примесные полупроводники
4. Электронно-дырочный переход. Полупроводниковые диоды
5. Типы диодов, их параметры, свойства, применение
6. Полевые транзисторы. Классификация, устройство, принцип действия
7. Биполярные транзисторы. Устройство, принцип действия. Схемы включения (ОЭ, ОБ, ОК); характеристики
8. МОП – структуры, МДП – специального назначения, свойства, применение.
9. Тиристоры. Основные параметры и их ориентировочные значения.
10. Электровакуумные приборы. Устройство, принцип работы
11. Основные типы ЭВП. Электронно-лучевые трубки. Классификация, применение
12. Газоразрядные приборы. Устройство, принцип работы.
13. Основные типы ГРП. Классификация, применение
14. Усилители электрических сигналов. Общие сведения, принцип действия усилителя
15. Искажение сигналов в усилителях (линейные и нелинейные), способы их определения
16. Способы включения транзисторов в усилителях. Основные свойства усилителей с включением транзисторов по схеме ОЭ, ОБ и ОК
17. Обратная связь в усилителях. Основные свойства усилителей с включением транзисторов по схеме ОИ, ОЗи ОС
18. Обратная связь в усилителях. Положительная и отрицательная обратная связи, их влияние на характеристики и параметры усилителей

19. Дифференциальные усилители. Основные параметры, схемы соединения с источником сигнала и с нагрузкой
20. Характеристики схем на операционных усилителях
21. Инвертирующий, неинвертирующий и дифференциальный усилители на О
22. Применение ОУ в судовой аппаратуре. Характеристики схем на операционных усилителях
23. Инвертирующий, неинвертирующий и дифференциальный усилители на ОУ. Применение ОУ в судовой аппаратуре
24. Работа транзисторов в ключевом режиме
25. Схема транзисторного ключа с общим эмиттером
26. Логические функции. Основные формулы и законы булевой алгебры.
27. Функционально-полная система логических элементов. Минимизация переключательных функций.
28. Триггеры. Общие сведения о цифровых автоматах
29. Классификация триггеров. D-триггеры, R-S-триггеры, J-K-триггеры. Триггеры с динамическим управлением. Т-триггеры.
30. Классификация счётчиков. Асинхронные и синхронные счётчики. Счётчики с последовательным и параллельным переносом. Суммирующие и вычитающие счетчики.
31. Шифраторы
32. Дешифраторы. Схемные решения Сумматоры и полусумматоры. Схемные решения. Область применения

## **7. Рекомендуемая литература**

### **7.1. Основная литература**

1. Белов О.А. Электротехника и электроника на судах рыбопромыслового флота. – МОРКНИГА, 2017. – 344 с.
2. Браммер Ю.А., Пащук И.Н. Импульсные и цифровые устройства. М.: Высшая школа, 2002. – 350 с.

### **7.2. Дополнительная литература**

3. Белоусов В.В. Судовая электроника и электроавтоматика. – М.: Колос, 1980. – 645 с.
4. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы. Справочник. М.: Радио и связь, 1987. – 352 с.
5. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника. М.: Высшая школа, 2008. – 797 с.

### **7.3. Методическое обеспечение:**

1. Парфенкин А.И. Судовая электроника и силовая преобразовательная техника. Ч. 1 : методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов очной и заочной форм обучения / А. И. Парфёнкин. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2015. – 122 с.
2. Парфенкин А.И. Судовая электроника и силовая преобразовательная техника (часть 11): методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника» для студентов очной и заочной форм обучения / А.И. Парфёнкин – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2015 – 82 с.
3. Парфенкин А.И. Методическое пособие к выполнению практических работ по дисциплине «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника» для студентов очной и

заочной форм обучения . Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. – 46с.

4. Парфенкин А.И. Методическое пособие к выполнению курсового проекта для студентов очной и заочной форм обучения / А.И. Парфенкин Парфёнкин – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2015 – 84 с.

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Электронно-библиотечная система «eLibrary»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elibrary.ru>
2. Electrichepl.ru – сайт для электриков

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

При преподавании дисциплины «**Судовая электроника и силовая преобразовательная техника**» следует учитывать, что большинство студентов после изучения курса физики имеют недостаточное представление о физике полупроводников. Поэтому в начале курса следует подробно рассмотреть физические основы процессов, лежащих в основе работы полупроводниковых приборов. В дальнейшем при рассмотрении различных классов электронных схем не следует упускать возможности указать студентам на связь характеристик схемы с особенностями работы полупроводниковых приборов. Например, в таких разделах как «Нелинейные преобразователи сигналов» и «Ключевые преобразователи сигналов» полезно показать влияние характеристик полупроводниковых приборов на выбор схемотехнических решений, влияние обратных токов запертых переходов на выбор номиналов резисторов и т.п.

Практически во всех разделах (за исключением разве что логических схем) необходимо продемонстрировать сильное влияние характеристик пассивных компонентов на стабильность характеристик электронных устройств и точность преобразования сигналов. В особенности это касается конденсаторов, при выборе которых следует учитывать их полярность, частотные свойства, температурный коэффициент емкости и токи утечки. Характеризуя различные классы электронных схем, следует по возможности указывать, какое применение они находят в конкретных устройствах и системах судовой автоматики. Тем самым обеспечивается связь с изучающимися впоследствии дисциплинами «Судовая силовая преобразовательная техника», «Микропроцессорные системы управления», «Системы управления судовыми энергетическими процессами», «Судовые информационно-измерительные системы».

При выборе конкретных схем для подробного рассмотрения следует отдавать предпочтение тем, которые будут использоваться в последующих дисциплинах. Необходимо учитывать, что судовой электромеханик должен быть подготовлен для эксплуатации судовой автоматики на судах самых различных поколений. Поэтому он должен обладать широким кругозором и познаниями практически во всех областях полупроводниковой схемотехники. В связи с этим набор изучаемых схемотехнических решений должен включать как классические примеры транзисторной реализации, так и самые современные достижения интегральной электроники. Изучение судовой электроники дает хорошую возможность продемонстрировать студентам практическое применение теоретических методов анализа, изученных ранее в дисциплинах «Математический анализ» и «Теоретические основы электротехники», чем достигается прочное усвоение упомянутых методов. Так, не следует упускать возможность при анализе любого электронного функционального устройства показывать, как использование законов Кирхгофа, символического метода расчета цепей переменного тока позволяет определить происходящие в устройстве процессы, рассчитать его характеристики. При рассмотрении примеров динамических звеньев следует напомнить преимущества использование приемов операционного исчисления. Изложение основ цифровой электроники должно вестись с широким использованием методов алгебры логики. Вместе с тем методика преподавания дисциплины должна учитывать эксплуатационную направленность специальности. Поэтому важнейшим

результатом обучения должна быть выработка у студентов навыка качественного анализа схем, умения наглядно представлять происходящие в схеме процессы преобразования сигналов, принимать оптимальные решения при поиске и устранении неисправностей. Расчеты, используемые при проектировании электронных схем, следует давать в ограниченном объеме, обеспечивающем правильное понимание соотношений электрических величин, правильную оценку результатов измерения и осциллографирования при наладке и диагностике, выбор элементов для замены при ремонте.

Необходимым условием успешного освоения дисциплины является прочное знание основных законов электротехники, без которого невозможно правильное понимание принципов работы электронных схем. Кроме того, важнейшим инструментом анализа линейных электронных устройств является операционное исчисление, позволяющее описывать функционирование динамических звеньев с помощью передаточных функций. Поэтому обучающийся должен при наличии пробелов в предшествующем образовании обратить первоочередное внимание на указанные разделы.

Необходимо уделить большое внимание уяснению физических принципов работы основных полупроводниковых приборов: диодов, транзисторов, тиристоров. Главное, чем характеризуется каждый тип прибора – это характеристики и основные параметры. Для разработки устройств, содержащих полупроводниковые приборы, для поиска неисправностей, для подбора замены отказавших элементов необходимо очень хорошо представлять характеристики и параметры каждого вида приборов. Понимания принципов работы электронных схем невозможно достичь только изучением теоретического материала. Каждый изучаемый тезис должен быть закреплен в процессе решения задач и выполнения лабораторных работ. При решении задач следует осознавать, что каждый прием решения привязан к конкретной постановке задачи, и может быть совершенно непригодным в иной ситуации. Поэтому следует не копировать «слепо» готовые решения, а наоборот, стремиться понять, как именно тот или иной прием позволяет решить задачу. То же самое относится и к моделированию электронных схем. Не приносит никакой пользы механическое воспроизведение моделей, созданных другими.

#### **Рекомендации по освоению лекционного материала, подготовке к лекциям**

Лекции являются основным видом учебных занятий в высшем учебном заведении. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных взглядов и освещение основных проблем изучаемой области знаний. Значительную часть теоретических знаний студент должен получать самостоятельно из рекомендованных основных и дополнительных информационных источников (учебников, Интернет-ресурсов, электронной образовательной среды университета). В тетради для конспектов лекций должны быть поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. В конспектах рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись. Вопросы, возникшие в ходе лекций, рекомендуется делать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснениями к преподавателю. После окончания лекции рекомендуется перечитать записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций рекомендуется использовать при подготовке к практическим занятиям (лабораторным работам, семинарам), экзамену/зачету, контрольным тестам, коллоквиумам, при выполнении самостоятельных заданий.

#### **Рекомендации по подготовке к практическим занятиям**

Для подготовки к практическим занятиям необходимо заранее ознакомиться с перечнем вопросов, которые будут рассмотрены на занятии, рекомендуемой основной и дополнительной литературы, содержанием рекомендованных Интернет-ресурсов. Необходимо прочитать соответствующие разделы из основной и дополнительной литературы, рекомендованной преподавателем, выделить основные понятия и процессы, их закономерности и движущие силы и взаимные связи. При подготовке к занятию не нужно заучивать учебный материал. На практических занятиях нужно выяснять у преподавателя ответы на интересующие или затруднительные вопросы, высказывать и аргументировать свое мнение.

**Подготовка к лабораторным занятиям.** В ходе лабораторных занятий студенты приобретают навыки использования лабораторного оборудования при экспериментальных исследованиях электронных приборов и устройств, знакомятся с эксплуатационными особенностями электронных приборов и устройств.

## **Рекомендации по организации самостоятельной работы**

Самостоятельная работа включает изучение учебной литературы, поиск информации в сети Интернет, подготовку к практическим занятиям, экзамену, выполнение домашних практических заданий (рефератов, расчетно-графических заданий/работ, курсовых работ, оформление отчетов по лабораторным работам и практическим заданиям, решение задач, изучение теоретического материала, вынесенного на самостоятельное изучение, изучение отдельных функций прикладного программного обеспечения и т.д.).

Другие, более детальные методические указания по освоению дисциплины, выполнению курсовой работы, лабораторных и практических работ приведены в учебно-методических пособиях дисциплины.

### **10. Курсовой проект (работа)**

Целью курсовой работы является закрепление и углубление знаний по дисциплине, приобретение навыков анализа сложных судовых систем автоматического регулирования, определение их передаточных функций и частотных характеристик, основных параметров статического и динамического режимов работы.

Выполненная работа оформляется в виде пояснительной записки с приложением графической части и сдается преподавателю на проверку. Правильно выполненная работа допускается к защите. Во время защиты студент должен сделать краткое сообщение по теме и основному содержанию работы, показать её глубокое понимание и самостоятельность выполнения, ответить на вопросы преподавателя.

#### **Указания по структуре курсовой работы**

Пояснительная записка к курсовой работе выполняется на листах писчей бумаге формата А4 (210 x 297) без рамок. Объем пояснительной записки не должен превышать, как правило, 15...20 страниц машинописного текста.

Пояснительная записка должна содержать:

- титульный лист (приложение 1);
- содержание;
- техническое задание на курсовую работу с исходными данными (приложение 2);
- введение;
- раздел «Анализ технического задания»;
- расчеты в соответствии с индивидуальным заданием;
- заключение;
- список использованной литературы.

Графическая часть курсовой работы состоит из структурной и принципиальной схемы узла САР (или чертежа устройства), статических характеристик элементов и всего устройства, графиков переходного процесса и других графиков, предусмотренных индивидуальным заданием. Все чертежи и схемы выполняются на листах формата (А4) в соответствии с требованиями ГОСТ 2.701 – 84. Допускается выполнение графической части на масштабной координатной бумаге с обязательным соблюдением требований ЕСКД.

#### **Оформление пояснительной записки**

Пояснительная записка к курсовой работе предоставляется в распечатанном виде на ксероксной бумаге формата А4 (набранным в текстовом редакторе Microsoft Word, шрифт 14 Times New Roman, абзац сопровождается отступом в 1,0 см; печатать через 1,5 интервала). Поля: верхнее – 2,3 см, нижнее – 2,3 см, правое – 2,3 см, левое – 2,3 см. Допускается выполнение пояснительной записки рукописным способом чернилами или шариковой ручкой (черного, синего или фиолетового цвета).

Комбинирование разных способов выполнения и разных шрифтов не допускается.

Содержание пояснительной записки разделяют на разделы, подразделы и при необходимости на пункты. Заголовки разделов должны быть выделены: расстояние между заголовком и последующим текстом делается 1,0 см.

Разделы пояснительной записки целесообразно начинать на новой странице.

Все страницы нумеруются, номер проставляется в верхнем правом углу или середине верхней строки страницы. На титульном листе номер не указывается.

Пояснительная записка должна иметь опрятный вид без заметных помарок и подчисток.

Язык пояснительной записки должен быть ясным и четким, со строгим соблюдением правил правописания, без малоупотребляемых и жаргонных слов и сокращений (кроме общепринятых).

В формулах в качестве символов можно применять только обозначения, предусмотренные стандартами. Перед первым применением формулы дается её пояснение. Повторное её использование допускается без пояснения. Не следует забывать о знаках препинания при написании формул.

Текстовые рисунки (схемы, графики и т.д.) рекомендуется выполнять на той же ксероксной бумаге формата А4 с использованием программ Splan 5, Splan7; допускается их выполнение черной тушью или чернилами. Все рисунки должны иметь сквозную нумерацию, в пределах всей пояснительной записки (например: Рис. 1 Рис 2. и т.д.). Надписи к рисункам помещаются под ними, а надписи к таблицам – над ними.

Текст таблиц, подписи к рисункам набираются курсивом, 12 кеглем, через 1,0 интервал. Рисунки небольшого формата могут быть сверстаны в виде «фортчоек» (т.е. обтекаемые текстом). При этом расстояние между текстом и контуром рисунка должно быть равно 0,9 см.

Перед расчетами указывается литература, из которых взята методика этих расчетов. Ссылка на литературу (по-рядковый номер по списку) делается в квадратных скобках (без буквы «Л») : [1, 12].

На последней странице пояснительной записки должны быть дата её представления и подпись курсанта.

Объём пояснительной записки не должен превышать, как правило 25 – 35 страниц машинописного текста.

Графическая часть к курсовой работе состоит из функциональной и структурной схем радиостанции, принципиальной и структурной схем устройства, рекомендованного для детального расчета, графиков и диаграмм, которые будут способствовать качественному докладу по проделанной работе по курсовой работе

#### **Требования к содержанию пояснительной записки**

Содержание является первой страницей записки и включает перечисление всех разделов работы с указанием начальной страницы каждого.

Техническое задание (на специальном бланке) содержит все параметры, заданные руководителем на курсовую работу.

Во Введении дается обоснование актуальности данной темы, указываются возможные области применения результатов выполненной работы.

В разделе «Анализ технического задания» проводится оценка достаточности исходных данных для выполнения курсовой работы, выписываются из справочной литературы параметры судового источника вторичного электропитания систем радиооборудования, подлежащего расчету.

Если исходные данные технического задания делают возможными несколько вариантов выполнения курсовой работы, то путем рассуждений осуществляется выбор одного из них. При этом обосновываются и приводятся параметры, необходимые для выполнения уточненного задания, не противоречащего исходному. В случае если анализ технического задания показал невозможность его реализации, задание на курсовую работу корректируется по согласованию с преподавателем.

Приводятся соображения по выбору методов анализа предложенного задания и его отдельных элементов, намечаются пути решения поставленных в техническом задании задач. Как правило, это сопровождается рассмотрением 2...3 возможных вариантов и выбором наилучшего, по вашему мнению, по надежности результатов, простоте расчетов.

Положения, принятые в этом разделе, являются исходными для дальнейших расчетов.

Расчёты, их обоснования, пояснения и выводы представляют собой грамотно написанный отчет о проделанной работе, а не сводку использованных в работе формул.

При выполнении расчетов используются, как правило, усредненные параметры и числа, по-

этому запись результатов с большим количеством значащих цифр – грубая ошибка. Будущий инженер должен уметь оценивать результат не с точки зрения калькулятора (даже импортного), а по исходному материалу, положенному в основу расчётов.

Не имеет смысла приводить и промежуточные преобразования алгебраических выражений (приведение к общему знаменателю, раскрытие скобок и т.п.), если при этом не применяются оригинальные решения.

Многочисленные вычисления по одной формуле с разными числовыми параметрами целесообразно выполнять на калькуляторе или ЭВМ, при этом следует приводить в пояснительной записке программу и результаты расчетов.

В Заключении кратко анализируются полученные результаты и намечаются пути их использования, выходящие за пределы технического задания. Можно привести и собственные рассуждения о полезности данной курсовой работы в процессе изучения дисциплины «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника».

Список литературы содержит названия книг, журнальных статей и других опубликованных материалов, использованных при выполнении курсовой работы. Правила оформления этого раздела можно понять по разделу «Литература» настоящего пособия.

### **Задание на курсовое проектирование**

Исходные данные для курсовой работы выдаются преподавателем из числа приведенных ниже вариантов или разрабатываются курсантом самостоятельно при обязательном согласовании с преподавателем. При досрочной работе курсант выбирает вариант по своему номеру в списке группы по учебному журналу.

Выполнить графическую часть курсовой работы, включающую структурную и принципиальную схему электронного устройства, графики, которые помогут Вам при защите курсовой работы.

Все графические материалы должны содержаться и в пояснительной записке к курсовой работе.

### **Варианты заданий на курсовую работу**

(вариант выбирается по последней цифре шифра)

Разработать блок питания для электронного устройства с приведенными ниже параметрами, для чего:

- выбрать и обосновать тип выпрямительного устройства.
- выбрать и обосновать тип сглаживающего фильтра.
- обосновать необходимость стабилизатора и при его необходимости выбрать и обосновать схему стабилизатора;
- выбрать элементы: диоды (вентили), транзисторы, трансформатор, другие необходимые элементы;
- выполнить расчет параметров элементов схемы;
- выполнить электрический и конструктивный расчёт силового трансформатора
- оценить параметры выходного напряжения блока питания и сравнить с заданными.

### **Защита курсовой работы**

Работа представляется руководителю для проверки за 2...3 дня до защиты.

В обсуждении работы могут принимать участие все присутствующие студенты, которые могут задавать вопросы по курсовой работе и высказывать о ней свое мнение.

В докладе (не более 5 минут) студент должен сообщить об основном содержании технического задания, обосновать выбранное решение поставленной задачи и все этапы проделанной работы. Не следует излишне детализировать доклад описанием известных положений. Необходимо обратить внимание на оригинальные решения. Ответы на задаваемые вопросы должны быть краткими и четкими.

При защите курсовой работы могут задаваться и теоретические вопросы по дисциплине, при правильных обоснованных ответах комиссия может принять решение о выставлении двух оценок: за курсовую работу и теоретический курс (экзамен или зачет)

### **Методические указания к выполнению расчётов**

Электропитание электронной аппаратуры осуществляется средствами вторичного электропитания, которые подключаются к источникам первичного электропитания, преобразуют их переменное или постоянное напряжение в ряд выходных напряжений различных номиналов как постоянного, так и переменного тока с характеристиками, обеспечивающими нормальную работу электронной аппаратуры в заданных режимах. Для выполнения этих задач в состав средств вторичного электропитания входят как сами источники питания, так и ряд дополнительных устройств, обеспечивающих их работу в составе комплекса электронной аппаратуры. Средства вторичного электропитания – составная часть любой электронной аппаратуры, которая входит в неё и, используя энергию от систем энергоснабжения промышленной частоты или автономных источников питания, формирует необходимые для работы комплекса питающие напряжения с требуемыми параметрами. Полные методические указания содержатся в разделе списка литературы методического обеспечения в работе [4].

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационно-справочных систем**

### ***11.1 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса***

1. электронные образовательные ресурсы, представленные в п. 6 и 7 данной рабочей программы;
2. использование слайд-презентаций;

### ***11.2. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса***

При освоении дисциплины используется лицензионное программное обеспечение:

1. текстовый редактор Microsoft Word;
2. электронные таблицы Microsoft Excel;
3. презентационный редактор Microsoft Power Point;

## **12. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

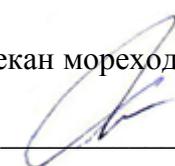
1. для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы учебная аудитория № 3-411 с комплектом учебной мебели на 32 посадочных места;
2. доска аудиторная;
3. комплект лекций по темам курса «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника»;
4. мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор);
5. лабораторные стенды: лабораторный комплект К-32 с комплектом сменных устройств (УС-11–УС-17); лабораторный стенд 87Л-01 с комплектом сменных панелей.
6. контрольно-измерительная аппаратура: низкочастотный генератор сигналов (ГЗ-120); осциллографы (С1-65); цифровые вольтметры (В7-38); низкочастотный частотомер комплекта БИС.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет МОРЕХОДНЫЙ

Кафедра «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан мореходного факультета



С.Ю. Труднев

«23» октября 2024 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Судовая электроника и силовая преобразовательная техника»**

по направлению подготовки  
13.03.02 «Энергетика и электротехника»  
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»  
квалификация: бакалавр

Петропавловск-Камчатский  
2024

Фонд оценочных средств дисциплины составлен на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 23.10.2024 г., протокол № 2.

Составитель фонда оценочных средств  
Ст. преподаватель кафедры «ЭУЭС»

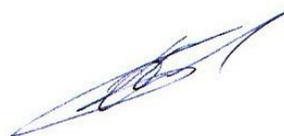
  
(подпись) Рогожников А.О.  
(ФИО.)

Фонд оценочных средств рассмотрен на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»

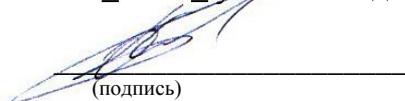
«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

**АКТУАЛЬНО НА**

2025 / 2026 учебный год

  
(подпись)

Белов О.А.  
(ФИО. зав.кафедрой)

2026 / 2027 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2027 / 2028 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2028 / 2029 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2029 / 2030 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

**1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы**

**Этапы формирования компетенции**

Код дисциплины из УП	Наименование дисциплины (в соответствии с УП)	1 курс		2 курс		3 курс		4 курс	
		1 сем.	2 сем.	3 сем.	4 сем.	5 сем.	6 сем.	7 сем.	8 сем.
Б1.В.08	Судовая электроника и силовая преобразовательная техника					з	Э		
	Теория автоматического управления						Э		
	Практика								30
	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы								

**2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания, итоговое оценивание**

**2.1 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования**

Код Компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения				
		1	2	3	4	5
ПК1 – Способен производить оценку технического состояния электрооборудования	Знает нормальные, аварийные, послеаварийные и ремонтные режимы работы отдельных воздушных и кабельных линий электропередачи, допустимые перегрузки по току и температурам воздушных и кабельных линий электропередачи; Марки, конструктивное исполнение кабелей; основы	Неудовлетворительная оценка результатов обучения. Отсутствие знаний. Данный результат указывает на несформированность порогового уровня знаний.	Неудовлетворительная оценка результатов обучения. Фрагментарные знания.	Удовлетворительная оценка результатов обучения, неполные представления о представленном вопросе.	Достаточно высокая оценка результатов обучения. Определенные пробелы в знаниях	Высокая оценка результатов обучения. Сформированные систематические представления о методах и приемах саморазвития, самореализации, использования творческого потенциала

	<p>         трудового законодательства Российской Федерации в объеме, необходимом для выполнения трудовых обязанностей; передовой производственный опыт организации эксплуатации и ремонта линий электропередачи; порядок сдачи в ремонт и приемки из ремонта кабельных линий электропередачи; правила пользования инструментом и приспособлениями, применяемыми при ремонте и монтаже энергетического оборудования; правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей; технические характеристики, конструктивные особенности основного оборудования и       </p>					
--	--	--	--	--	--	--

	сооружений воздушных и кабельных линий					
	<p><b>Уметь:</b></p> <p>- Умеет вести техническую и отчетную документацию; выявлять дефекты на кабельных линиях электропередачи; применять справочные материалы, анализировать научно-техническую информацию в области эксплуатации кабельных линий электропередачи; применять автоматизированные системы мониторинга и диагностики кабельных линий; работать с текстовыми редакторами, электронными таблицами, электронной почтой и браузерами, специализированными компьютерными программами</p>	<p>Неудовлетворительная оценка результатов обучения. Отсутствие умений. Данный результат указывает на несформированность порогового уровня умений.</p>	<p>Неудовлетворительная оценка результатов обучения. Фрагментарные умения.</p>	<p>Удовлетворительная оценка результатов обучения. Несистематическое использование знаний.</p>	<p>Достаточно высокая оценка результатов обучения. Определенные пробелы в умении использовать соотв. знания.</p>	<p>Высокая оценка результатов обучения. Сформированное умение использовать полученные знания</p>
	<p><b>Владеть:</b></p> <p>- Владеет навыками подготовки, согласования и передачи</p>	<p>оценка результатов обучения. Отсутствие навыков. Данный</p>	<p>Неудовлетворительная оценка результатов обу-</p>	<p>Удовлетворительная оценка результатов обучения. В целом</p>	<p>Достаточно высокая оценка результатов</p>	<p>Высокая оценка результатов обучения. Успешное</p>

	<p>исполнителям ремонта утвержденных дефектных ведомостей, проектов проведения работ, карт организации труда и технологической ремонтной документации, необходимой для производства работ на закрепленном оборудовании; подготовки статистической отчетности в соответствии с утвержденным перечнем; проведения тренировок, занятий по отработке действий персонала при чрезвычайных ситуациях, обучению безопасным приемам и методам труда и оказанию первой помощи пострадавшим; сбора и анализа информации об отказах новой техники и электрооборудования</p>	<p>результат указывает на несформированность порогового уровня навыков.</p>	<p>чения. Фрагментарные навыки.</p>	<p>успешное, но не систематическое применение навыков.</p>	<p>обучения. В целом успешное, но содержащее определенные пробелы применения навыков.</p>	<p>и систематическое применение навыков.</p>
--	--	---	-------------------------------------	--	---	--

## 2.2 Описание шкал оценивания

Формы контроля	Шкала оценивания
устный опрос	<p><b>Оценка «отлично» / «зачтено»:</b> ответы на поставленные вопросы излагаются четко, логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений, демонстрируются глубокие знания, соблюдаются нормы литературной речи.</p> <p><b>Оценка «хорошо» / «зачтено»:</b> ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно, материал излагается уверенно, демонстрируется умение анализировать материал, соблюдаются нормы литературной речи, обучающийся демонстрирует хороший уровень освоения материала.</p> <p><b>Оценка «удовлетворительно» / «зачтено»:</b> допускаются нарушения в последовательности изложения ответов на поставленные вопросы, демонстрируются поверхностные знания вопроса, имеются затруднения с выводами, допускаются нарушения норм литературной речи.</p> <p><b>Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено»:</b> материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине, имеются заметные нарушения норм литературной речи, обучающийся допускает существенные ошибки в ответах на вопросы, не ориентируется в понятийном аппарате.</p>
доклад (сообщение)	<p><b>Критерии оценки доклада:</b> новизна текста, степень раскрытия сущности вопроса, соблюдения требований к оформлению.</p> <p>Оценка «отлично» – выполнены все требования к написанию доклада: обозначена проблема и обоснована ее актуальность; сделан анализ различных точек зрения на рассматриваемую проблему и логично изложена собственная позиция; сформулированы выводы, тема раскрыта полностью, выдержан объем; соблюдены требования к внешнему оформлению.</p> <p>Оценка «хорошо» – основные требования к докладу выполнены, но при этом допущены недочеты. В частности, имеются неточности в изложении материала; отсутствует логическая последовательность в суждениях; не выдержан объем доклада; имеются упущения в оформлении.</p> <p>Оценка «удовлетворительно» – имеются существенные отступления от требований к написанию доклада. Например: тема освещена лишь частично; допущены фактические ошибки в содержании доклада; отсутствуют выводы.</p> <p>Оценка «неудовлетворительно» – тема доклада не раскрыта, обнаруживается существенное непонимание проблемы или доклад не представлен во все.</p>
выполнение заданий в тестовой форме	<p>Для оценивания результатов <b>тестирования</b> возможно использовать следующие критерии оценивания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– правильность ответа или выбора ответа.</li> <li>– скорость прохождения теста.</li> <li>– наличие правильных ответов во всех проверяемых темах (дидактических единицах) теста,</li> </ul> <p>Общее количество вопросов принимается за 100%, оценка выставляется по значению соотношения правильных ответов к общему количеству вопросов в процентах.</p> <p><b>Оценка «отлично» / «зачтено»</b> - 85–100% правильных ответов;</p> <p><b>Оценка «хорошо» / «зачтено»</b> - 70–84% правильных ответов;</p> <p><b>Оценка «удовлетворительно» / «зачтено»</b>- 55–69% правильных ответов;</p> <p><b>Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено»</b> - 54% и менее правильных ответов;</p>
Экзамен	<p><b>Оценка «отлично»</b> выставляется, если обучающийся показывает всесторонние и глубокие знания программного материала, знание основной и дополнительной литературы; последовательно и четко отвечает на вопросы;</p>

	<p>уверенно ориентируется в проблемных ситуациях; демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, делать правильные выводы, проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании программного материала; подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой.</p> <p><b>Оценка «хорошо»</b> выставляется, если обучающийся показывает полное знание программного материала, основной и дополнительной литературы; дает полные ответы на теоретические вопросы, допуская некоторые неточности; правильно применяет теоретические положения к оценке практических ситуаций; демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.</p> <p><b>Оценка «удовлетворительно»</b> выставляется, если обучающийся показывает знание основного материала в объеме, необходимом для предстоящей профессиональной деятельности; при ответе на вопросы не допускает грубых ошибок, но испытывает затруднения в последовательности их изложения; не в полной мере демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой на минимально допустимом уровне.</p> <p><b>Оценка «неудовлетворительно»</b> выставляется, если обучающийся имеет существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по разделу; не способен аргументировано и последовательно его излагать, допускает грубые ошибки в ответах, неправильно отвечает на задаваемые преподавателем вопросы или затрудняется с ответом; не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.</p>
--	--

### *3.3. Итоговое оценивание обучающегося по дисциплине «Техника высоких напряжений»*

Для оценки качества подготовки студента по дисциплине в целом составляется рейтинг – интегральная оценка результатов всех видов деятельности обучающегося, осуществляемых в процессе ее изучения.

Промежуточная аттестация для обучающихся по заочной форме обучения проводится по итогам изучения дисциплины во время сессии, в соответствии с рабочим учебным планом по направлению подготовки – в форме экзамена.

Преподаватель на первом занятии знакомит обучающихся группы с программой учебной дисциплины, в том числе с порядком определения количества ЗЕ, графиком, формами и процедурой прохождения текущего контроля, а также примерными вопросами для подготовки к итоговому контролю знаний по дисциплине (промежуточной аттестации).

Промежуточная аттестация – это форма контроля теоретических знаний, полученных студентом в процессе изучения всей учебной дисциплины или ее части, и умения их применять в практической деятельности. Он должен учитывать выполнение студентом всех видов работ, предусмотренных программой дисциплины, в том числе самостоятельную работу, участие в семинарах.

### ***4. Типовые контрольные задания или материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций***

#### **Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации**

1. Классификация электронных приборов и устройств.

2. Электропроводность твердых тел
3. Собственные и примесные полупроводники
4. Электронно-дырочный переход. Полупроводниковые диоды
5. Типы диодов, их параметры, свойства, применение
6. Полевые транзисторы. Классификация, устройство, принцип действия
7. Биполярные транзисторы. Устройство, принцип действия. Схемы включения (ОЭ, ОБ, ОК); характеристики
8. МОП – структуры, МДП – специального назначения, свойства, применение.
9. Тиристоры. Основные параметры и их ориентировочные значения.
10. Электровакуумные приборы. Устройство, принцип работы
11. Основные типы ЭВП. Электронно-лучевые трубки. Классификация, применение
12. Газоразрядные приборы. Устройство, принцип работы.
13. Основные типы ГРП. Классификация, применение
14. Усилители электрических сигналов. Общие сведения, принцип действия усилителя
15. Искажение сигналов в усилителях (линейные и нелинейные), способы их определения
16. Способы включения транзисторов в усилителях. Основные свойства усилителей с включением транзисторов по схеме ОЭ, ОБ и ОК
17. Обратная связь в усилителях. Основные свойства усилителей с включением транзисторов по схеме ОИ, ОЗи ОС
18. Обратная связь в усилителях. Положительная и отрицательная обратная связи, их влияние на характеристики и параметры усилителей
19. Дифференциальные усилители. Основные параметры, схемы соединения с источником сигнала и с нагрузкой
20. Характеристики схем на операционных усилителях
21. Инвертирующий, неинвертирующий и дифференциальный усилители на О
22. Применение ОУ в судовой аппаратуре. Характеристики схем на операционных усилителях
23. Инвертирующий, неинвертирующий и дифференциальный усилители на ОУ. Применение ОУ в судовой аппаратуре
24. Работа транзисторов в ключевом режиме
25. Схема транзисторного ключа с общим эмиттером
26. Логические функции. Основные формулы и законы булевой алгебры.
27. Функционально-полная система логических элементов. Минимизация переключательных функций.
28. Триггеры. Общие сведения о цифровых автоматах
29. Классификация триггеров. D-триггеры, R-S-триггеры, J-K-триггеры. Триггеры с динамическим управлением. Т-триггеры.
30. Классификация счётчиков. Асинхронные и синхронные счётчики. Счётчики с последовательным и параллельным переносом. Суммирующие и вычитающие счётчики.
31. Шифраторы
32. Дешифраторы. Схемные решения Сумматоры и полусумматоры. Схемные решения. Область применения

***5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций***

По дисциплине предусмотрены следующие формы контроля качества подготовки:

- текущий (осуществление контроля за всеми видами аудиторной и внеаудиторной деятельности обучающегося с целью получения первичной информации о ходе усвоения отдельных элементов содержания дисциплины);
- промежуточный (оценивается уровень и качество подготовки по конкретным темам дисциплины).
- контроль самостоятельной работы обучающегося.

Результаты текущего и промежуточного контроля качества выполнения студентом запланированных видов деятельности по усвоению учебной дисциплины являются показателем качества работы обучающегося за время изучения дисциплины. Итоговый контроль проводится в форме промежуточной аттестации– дифференцированного зачета (зачета с оценкой).

Текущий контроль успеваемости предусматривает оценивание хода освоения дисциплины, промежуточная аттестация обучающихся – оценивание результатов обучения по дисциплине, в том числе посредством испытания в форме дифференцированного зачета (зачета с оценкой).

Оценивание знаний, умений и навыков по учебной дисциплине «Техника высоких напряжений» осуществляется посредством использования следующих видов оценочных средств:

- устные опросы;
- выполнение практических заданий;
- дискуссии по вопросам для обсуждения.

### **Опросы**

Устные опросы проводятся во время занятий и при проведении промежуточного контроля знаний по разделам дисциплины. Вопросы опроса, проводимого во время практических занятий, не должны выходить за рамки объявленной для данного занятия темы. Устные опросы необходимо строить так, чтобы вовлечь в тему обсуждения максимальное количество обучающихся в группе, проводить параллели с уже пройденным учебным материалом данной дисциплины и смежными курсами, находить удачные примеры из современной действительности, что увеличивает эффективность усвоения материала на ассоциациях. Основные вопросы для устного опроса доводятся до сведения студентов на предыдущем занятии. Индивидуальные устные блиц-опросы (по форме «вопрос-ответ») по разделам дисциплины проводятся с целью определения степени усвоения теоретического материала и понятийного аппарата по всему разделу дисциплины. Примерный перечень вопросов для индивидуального устного блиц-опроса представлены в рабочей программе дисциплины и доводятся до сведения студентов до начала курса. При оценке опросов анализу подлежит точность формулировок, связность изложения материала, обоснованность суждений, опора на методические материалы.

### **Выполнение практических заданий**

Выполнение заданий осуществляется по предложенным преподавателям условиям. Задания выполняются индивидуально, при этом не запрещается обсуждение хода выполнения задания и результатов обучающимися.

### **Дискуссии по вопросам для обсуждения**

Вопросы для обсуждения представлены в рабочей программе дисциплины. Обучающийся самостоятельно готовится к занятию по предложенным вопросам. Обучающийся может воспользоваться рекомендуемой литературой, самостоятельно подобранными источниками литературы, ресурсами сети Интернет.

### **Экзамен**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Техника высоких напряжений» завершает изучение курса и проходит в виде экзамена. Экзамены проводятся согласно расписанию зачетно-экзаменационной сессии. Экзамен может быть выставлен автоматически по результатам текущего и промежуточного контроля знаний и достижений, продемонстрированных обучающимися на занятиях. Фамилии обучающихся, получивших экзамен автоматически, объявляются в день проведения экзамена до начала промежуточной аттестации.

Оценка знаний обучающегося носит комплексный характер и определяется его:

- ответом на экзамене;
- оценкой самостоятельной работы (подготовка доклада);
- оценками, полученными обучающимися по итогам аудиторных занятий, решением тестовых заданий, опросов и т.д.

Основой для определения оценки служит уровень усвоения обучающимися материала, предусмотренного рабочей программой. В случае неудовлетворительного результата испытания назначается день и время повторного (по графику ликвидации задолженностей). Присутствие посторонних лиц в ходе проведения аттестационных испытаний без разрешения ректора или проректора по учебной работе не допускается (за исключением работников университета, выполняющих контролирующие функции в соответствии со своими должностными обязанностями). В случае отсутствия ведущего преподавателя аттестационные испытания проводятся преподавателем, назначенным письменным распоряжением декана факультета.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допускаются на аттестационные испытания в сопровождении ассистентов-сопровождающих.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Камчатский государственный технический университет»

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

## **СУДОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

Методические указания к самостоятельной работе  
*для студентов,*  
*обучающихся по специальности 13.03.02*  
*«Электроэнергетика и электротехника»*  
*профиль «Электрооборудование и*  
*автоматика судов»*  
*заочной формы обучения*

Петропавловск-Камчатский  
2024

Рецензент

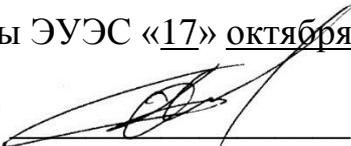
**Белов Олег Александрович, к.т.н., доцент кафедры ЭУЭС**

Судовая электроника и силовая преобразовательная техника: методические указания к курсовой работе по дисциплине для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» заочной формы обучения / О.А. Белов – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2024. – с.57

Методические указания к курсовой работе составлены в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов», утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28 февраля 2018 г. № 144 (уровень бакалавриат).

Обсуждены:

на заседании кафедры ЭУЭС «17» октября 2024 г., протокол № 4

Зав. кафедрой ЭУЭС  О.А. Белов

Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника» рассмотрены и утверждены на заседании УМС протокол № 2 от «02» октября 2024 г.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Курсовая работа студентов (КРС) по дисциплине «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника» является важной составляющей частью подготовки студентов по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» и выполняется в соответствии с ФГОС ВО. Основной целью КРС является:

- развитие навыков ведения самостоятельной работы;
- приобретение опыта систематизации полученных результатов исследований, формулировку новых выводов и предложений как результатов выполнения работы;
- развитие умения использовать научно-техническую литературу и нормативно-методические материалы в практической деятельности;
- приобретение опыта публичной защиты результатов самостоятельной работы.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» изучение дисциплины «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника» направлено на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

- способность производить оценку технического состояния электрооборудования (**ПК-1**).

1.2. В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- нормальные, аварийные, послеаварийные и ремонтные режимы работы отдельных воздушных и кабельных линий электропередачи, допустимые перегрузки по току и температурам воздушных и кабельных линий электропередачи;
- марки, конструктивное исполнение кабелей; основы трудового законодательства Российской Федерации в объеме, необходимом для выполнения трудовых обязанностей;
- передовой производственный опыт организации эксплуатации и ремонта линий электропередачи;
- порядок сдачи в ремонт и приемки из ремонта кабельных линий электропередачи;
- правила пользования инструментом и приспособлениями, применяемыми при ремонте и монтаже энергетического оборудования;
- правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей; технические характеристики, конструктивные особенности основного оборудования и сооружений воздушных и кабельных линий.

1.3. В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

- вести техническую и отчетную документацию;
- выявлять дефекты на кабельных линиях электропередачи;
- применять справочные материалы, анализировать научно-техническую информацию в области эксплуатации кабельных линий электропередачи;
- применять автоматизированные системы мониторинга и диагностики кабельных линий;
- работать с текстовыми редакторами, электронными таблицами, электронной почтой и браузерами, специализированными компьютерными программами.

1.4. В результате изучения дисциплины студент должен владеть:

- навыками подготовки, согласования и передачи исполнителям ремонта утвержденных дефектных ведомостей, проектов проведения работ, карт организации труда и технологической ремонтной документации, необходимой для производства работ на закрепленном оборудовании;
- подготовки статистической отчетности в соответствии с утвержденным перечнем;
- проведения тренировок, занятий по отработке действий персонала при чрезвычайных ситуациях, обучению безопасным приемам и методам труда, и оказанию первой помощи пострадавшим;
- сбора и анализа информации об отказах новой техники и электрооборудования.

## **2. Курсовая работа**

Целью курсовой работы является закрепление и углубление знаний по дисциплине, приобретение навыков анализа сложных судовых систем автоматического регулирования, определение их передаточных функций и частотных характеристик, основных параметров статического и динамического режимов работы.

Выполненная работа оформляется в виде пояснительной записки с приложением графической части и сдаётся преподавателю на проверку. Правильно выполненная работа допускается к защите. Во время защиты студент должен сделать краткое сообщение по теме и основному содержанию работы, показать её глубокое понимание и самостоятельность выполнения, ответить на вопросы преподавателя.

### **Указания по структуре курсовой работы**

Пояснительная записка к курсовой работе выполняется на листах писчей бумаге формата А4 (210 х 297) без рамок. Объем пояснительной записки не должен превышать, как правило, 15...20 страниц машинописного текста.

Пояснительная записка должна содержать:

- титульный лист (приложение 1);

- содержание;
- техническое задание на курсовую работу с исходными данными (приложение 2);
- введение;
- раздел «Анализ технического задания»;
- расчеты в соответствии с индивидуальным заданием;
- заключение;
- список использованной литературы.

Графическая часть курсовой работы состоит из структурной и принципиальной схемы узла САР (или чертежа устройства), статических характеристик элементов и всего устройства, графиков переходного процесса и других графиков, предусмотренных индивидуальным заданием. Все чертежи и схемы выполняются на листах формата (А4) в соответствии с требованиями ГОСТ 2.701 – 84. Допускается выполнение графической части на масштабнo-координатной бумаге с обязательным соблюдением требований ЕСКД.

### **Оформление пояснительной записки**

Пояснительная записка к курсовой работе предоставляется в распечатанном виде на ксероксной бумаге формата А4 (набранным в текстовом редакторе Microsoft Word, шрифт 14 Times New Roman, абзац сопровождается отступом в 1,0 см; печатать через 1,5 интервала). Поля: верхнее –2,3 см, нижнее -2,3 см, правое – 2,3 см, левое – 2,3 см. Допускается выполнение пояснительной записки рукописным способом чернилами или шариковой ручкой (черного, синего или фиолетового цвета).

Комбинирование разных способов выполнения и разных шрифтов не допускается.

Содержание пояснительной записки разделяют на разделы, подразделы и при необходимости на пункты. Заголовки разделов должны быть выделены: расстояние между заголовком и последующим текстом делается 1,0 см.

Разделы пояснительной записки целесообразно начинать на новой странице.

Все страницы нумеруются, номер проставляется в верхнем правом углу или середине верхней строки страницы. На титульном листе номер не указывается.

Пояснительная записка должна иметь опрятный вид без заметных помарок и подчисток.

Язык пояснительной записки должен быть ясным и четким, со строгим соблюдением правил правописания, без малоупотребляемых и жаргонных слов и сокращений (кроме общепринятых).

В формулах в качестве символов можно применять только обозначения, предусмотренные стандартами. Перед первым применением формулы дается её пояснение. Повторное её использование допускается без пояснения. Не следует забывать о знаках препинания при написании формул.

Текстовые рисунки (схемы, графики и т.д.) рекомендуется выполнять на той же ксероксной бумаге формата А4 с использованием программ Splan 5, Splan7; допускается их выполнение черной тушью или чернилами. Все рисунки

должны иметь сквозную нумерацию, в пределах всей пояснительной записки (например: Рис. 1 Рис 2. и т.д.). Надписи к рисункам помещаются под ними, а надписи к таблицам – над ними.

Текст таблиц, подписи к рисункам набираются курсивом, 12 кеглем, через 1,0 интервал. Рисунки небольшого формата могут быть свёрстаны в виде «форточек» (т.е. обтекаемые текстом). При этом расстояние между текстом и контуром рисунка должно быть равно 0,9 см.

Перед расчетами указывается литература, из которых взята методика этих расчетов. Ссылка на литературу (порядковый номер по списку) делается в квадратных скобках (без буквы «Л»): [1, 12].

На последней странице пояснительной записки должны быть дата её представления и подпись студента.

Объём пояснительной записки не должен превышать, как правило 25 – 35 страниц машинописного текста.

Графическая часть к курсовой работе состоит из функциональной и структурной схем радиостанции, принципиальной и структурной схем устройства, рекомендованного для детального расчета, графиков и диаграмм, которые будут способствовать качественному докладу по проделанной работе по курсовой работе.

## **Требования к содержанию пояснительной записки**

**Содержание** является первой страницей записки и включает перечисление всех разделов работы с указанием начальной страницы каждого.

**Техническое задание** (на специальном бланке) содержит все параметры, заданные руководителем на курсовую работу.

Во **Введении** дается обоснование актуальности данной темы, указываются возможные области применения результатов выполненной работы.

В разделе **«Анализ технического задания»** проводится оценка достаточности исходных данных для выполнения курсовой работы, выписываются из справочной литературы параметры судового источника вторичного электропитания систем радиооборудования, подлежащего расчету.

Если исходные данные технического задания делают возможными несколько вариантов выполнения курсовой работы, то путем рассуждений осуществляется выбор одного из них. При этом обосновываются и приводятся параметры, необходимые для выполнения уточненного задания, не противоречащего исходному. В случае если анализ технического задания показал невозможность его реализации, задание на курсовую работу корректируется по согласованию с преподавателем.

Приводятся соображения по выбору методов анализа предложенного задания и его отдельных элементов, намечаются пути решения поставленных в техническом задании задач. Как правило, это сопровождается рассмотрением

2...3 возможных вариантов и выбором наилучшего, по вашему мнению, по надежности результатов, простоте расчетов.

Положения, принятые в этом разделе, являются исходными для дальнейших расчетов.

**Расчёты**, их обоснования, пояснения и выводы представляют собой грамотно написанный отчёт о проделанной работе, а не сводку использованных в работе формул.

При выполнении расчетов используются, как правило, усредненные параметры и числа, поэтому запись результатов с большим количеством значащих цифр – грубая ошибка. Будущий инженер должен уметь оценивать результат не с точки зрения калькулятора (даже импортного), а по исходному материалу, положенному в основу расчётов.

Не имеет смысла приводить и промежуточные преобразования алгебраических выражений (приведение к общему знаменателю, раскрытие скобок и т.п.), если при этом не применяются оригинальные решения.

Многочисленные вычисления по одной формуле с разными числовыми параметрами целесообразно выполнять на калькуляторе или ЭВМ, при этом следует приводить в пояснительной записке программу и результаты расчетов.

В **Заключении** кратко анализируются полученные результаты и намечаются пути их использования, выходящие за пределы технического задания. Можно привести и собственные рассуждения о полезности данной курсовой работы в процессе изучения дисциплины «Схемотехника».

**Список литературы** содержит названия книг, журнальных статей и других опубликованных материалов, использованных при выполнении курсовой работы. Правила оформления этого раздела можно понять по разделу «Литература» настоящего пособия.

### **Задание на курсовое проектирование**

Исходные данные для курсовой работы выдаются преподавателем из числа приведенных ниже вариантов или разрабатываются студентом самостоятельно при обязательном согласовании с преподавателем. При досрочной работе студент выбирает вариант по своему номеру в списке группы по учебному журналу.

Выполнить графическую часть курсовой работы, включающую структурную и принципиальную схему электронного устройства, графики, которые помогут Вам при защите курсовой работы.

Все графические материалы должны содержаться и в пояснительной записке к курсовой работе.

### **Варианты заданий на курсовую работу**

(вариант выбирается по последней цифре шифра)

Разработать блок питания для электронного устройства с приведенными ниже параметрами, для чего:

- выбрать и обосновать тип выпрямительного устройства.
- выбрать и обосновать тип сглаживающего фильтра.
- обосновать необходимость стабилизатора и при его необходимости выбрать и обосновать схему стабилизатора;
- выбрать элементы: диоды (вентили), транзисторы, трансформатор, другие необходимые элементы;
- выполнить расчет параметров элементов схемы;
- выполнить электрический и конструктивный расчёт силового трансформатора
- оценить параметры выходного напряжения блока питания и сравнить с заданными.

### **Защита курсовой работы**

Работа представляется руководителю для проверки за 2...3 дня до защиты.

В обсуждении работы могут принимать участие все присутствующие студенты, которые могут задавать вопросы по курсовой работе и высказывать о ней свое мнение.

В докладе (не более 5 минут) студент должен сообщить об основном содержании технического задания, обосновать выбранное решение поставленной задачи и все этапы проделанной работы. Не следует излишне детализировать доклад описанием известных положений. Необходимо обратить внимание на оригинальные решения. Ответы на задаваемые вопросы должны быть краткими и четкими.

При защите курсовой работы могут задаваться и теоретические вопросы по дисциплине, при правильных обоснованных ответах комиссия может принять решение о выставлении двух оценок: за курсовую работу и теоретический курс (экзамен или зачет).

### **Методические указания к выполнению расчётов**

Электропитание электронной аппаратуры осуществляется средствами вторичного электропитания, которые подключаются к источникам первичного электропитания, преобразуют их переменное или постоянное напряжение в ряд выходных напряжений различных номиналов как постоянного, так и переменного тока с характеристиками, обеспечивающими нормальную работу электронной аппаратуры в заданных режимах. Для выполнения этих задач в состав средств вторичного электропитания входят как сами источники питания, так и ряд дополнительных устройств, обеспечивающих их работу в составе комплекса электронной аппаратуры. Средства вторичного электропитания – составная часть любой электронной аппаратуры, которая входит в неё и, используя энергию от систем энергоснабжения промышленной

частоты или автономных источников питания, формирует необходимые для работы комплекса питающие напряжения с требуемыми параметрами.

## Технические требования

К источникам вторичного электропитания (ИВЭ) предъявляются специальные технические требования, которые указываются в техническом задании на разработку.

1. **Номинальное значение выходного питающего напряжения** постоянного тока и допуск на точность его установки. Их величины (в вольтах) должны выбираться из следующего ряда: 0,25; 0,4; 0,6; 1,2; 2,4; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; (6,3); 9,0 (10); 12,0 (12,6); 15; 20; 24; 27; 30; 40; 48; 60; 80; 100 (125); 150; 200; 250; (300); 400 (500); 600; 800; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 4000; 5000; 6000; 8000; 10000; 12000; 15000; 20000; 25000.

Номинальные значения напряжений переменного тока (в вольтах действующего значения) должны выбираться из ряда: 1,2; 2,4; 3,15; 5,0; 6,0 (6,3); 9; 12 (12,6); 15; 24; 27; 36; 40; 60; 80; 110(115); 127; 200; 220; 380.

Напряжения, указанные в скобках, применять не рекомендуется; при необходимости их применение в промышленных разработках должно быть согласовано в установленном порядке.

Практически номинальные значения выходного напряжения определяются элементной базой проектируемого комплекса электронной аппаратуры и ограничиваются небольшим числом номиналов напряжений. Например, для аппаратуры на интегральных микросхемах (аналоговых и логических) используются напряжения 5, 6, 9, 12, 15 В. Для периферийных и выходных устройств ЭВМ, а также некоторых видов аппаратуры на транзисторах этот ряд дополняется напряжениями 20, 27, 40 В.

Допуск на точность установки номинала напряжения определяется выбранной элементной базой и требованиями к выходным параметрам электронной аппаратуры.

неизменном входном напряжении питающей сети. Этот параметр определяет внутреннее сопротивление ИВЭ при медленных изменениях тока. При импульсном потреблении тока указывается допустимое динамическое внутреннее сопротивление или частотная характеристика;

- температурная нестабильность (ТКН) - допустимое изменение выходного напряжения при изменении температуры окружающей среды в заданных пределах. Обычно температурная нестабильность задается совместно с частными нестабильностями по напряжению и току.

Нестабильности и пульсации выходных постоянных напряжений являются важнейшими параметрами, которые оказывают существенное влияние на массогабаритные характеристики ИВЭ, поскольку для их реализации требуется применять сложные схемотехнические решения, большее число элементов.

Коэффициент полезного действия ИВЭ или потребляемая мощность от источника первичной энергии в различных режимах работы: непрерывном,

повторно-кратковременном или импульсном. Значение КПД зависит от многих факторов:

- уровня выходного напряжения и мощности, способа регулирования и требуемой точности, гальванической развязки от входной питающей сети и др.;

- частота преобразования, ограничение по ее выбору, необходимость регулировки частоты преобразования в заданных пределах и возможность ее синхронизации от внешнего задающего генератора или соседнего источника питания (для ИВЭ со статическими преобразователями);

- гальваническая развязка выходных цепей питания от шин источника входной электроэнергии;

- электрическая защита потребителей от превышения выходного напряжения, допустимый уровень превышения питающего напряжения;

- электрическая защита источника питания от перегрузки или короткого замыкания в нагрузке, автоматическое восстановление работоспособности источника питания при снятии перегрузки или короткого замыкания в нагрузке.

Для источников питания с выходом на переменном токе указываются дополнительные требования, характеризующие специфику их работы:

- характер стабилизации выходного напряжения: по какому значению переменного напряжения должно осуществляться регулирование – действующему, среднему или амплитудному

- допустимое искажение формы кривой выходного напряжения.

- характер нагрузки, её коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ ).

### 3. ВВЕДЕНИЕ

Источники электропитания, являющиеся неотъемлемой частью любых радиотехнических устройств, представляют собой комплексы элементов, приборов и аппаратов, вырабатывающих электрическую энергию и преобразующих ее к виду, необходимому для нормальной работы радиоустройств.

Все источники электропитания могут быть разделены на две группы – на источники первичного и вторичного питания.

К источникам первичного питания относятся устройства, преобразующие различные виды энергии в электрическую (электромагнитные генераторы, электрохимические источники тока, термоэлектрические и термоэмиссионные преобразователи, фотоэлектрические преобразователи и атомные батареи).

К источникам вторичного питания относятся устройства, преобразующие электрическую энергию одного вида в другой (преобразователи переменного напряжения в постоянное – выпрямители, преобразователи постоянного напряжения в переменное – инверторы, преобразователи переменного напряжения – трансформаторы, преобразователи частоты переменного тока – умножители и делители частоты).

Наиболее распространенной системой электропитания радиотехнической аппаратуры является система, состоящая из источника переменного напряжения и выпрямителей, преобразующих переменное напряжение источника в постоянное напряжение различной величины.

В качестве источников переменного напряжения используются распределительные электрические сети энергосистем, питающиеся от электрических станций с электромашинными генераторами.

Выпрямитель является статическим преобразователем переменного тока в постоянный. Достоинством выпрямителей является отсутствие вращающихся частей, высокая надежность, небольшие размеры, высокий коэффициент полезного действия, простота конструкции.

Основными элементами выпрямителя являются трансформатор, электрические вентили и сглаживающий

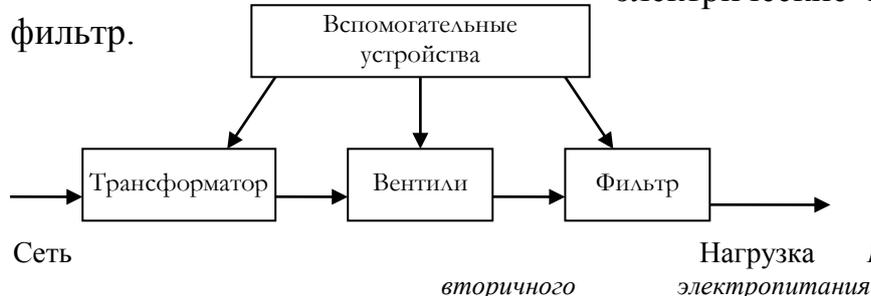


Рис. 1. Структурная схема источника электропитания

Основное назначение трансформатора заключается в том, чтобы преобразовать переменное напряжение источника (сети) до величины соответствующей заданному значению выпрямленного напряжения.

Кроме того, обеспечивает электрическое разделение (изоляцию) цепей постоянного и переменного токов.

Электрические вентили служат для выпрямления, т.е. преобразования переменного напряжения в напряжение одного неизменного направления. Напряжение на выходе выпрямителя является пульсирующим.

Непосредственное питание радиотехнических схем от выпрямителей в большинстве случаев является недопустимым из-за большой амплитуды переменной составляющей выпрямленного напряжения.

Для уменьшения амплитуды переменной составляющей, т.е. для сглаживания пульсаций, применяют специальные устройства – сглаживающие фильтры.

Кроме трансформаторов, вентилях, сглаживающих фильтров выпрямители могут содержать различные дополнительные и вспомогательные устройства. К их числу следует отнести: устройства для стабилизации выпрямленного напряжения, т.е. для поддержания его величины на определенном, заранее заданном уровне; устройства для регулирования выпрямительного напряжения; устройства для включения и отключения выпрямителя; устройства для защиты выпрямителя при нарушениях нормального режима работы и др.

## **1. Требования к устройствам схем электропитания радиотехнических систем**

Разработка устройства электропитания заключается в выборе наиболее рациональной схемы выпрямителя, числа и типа вентилях, схемы фильтра и его элементов, в определении параметров трансформатора и сглаживающего дросселя фильтра, в выборе схемы регулирования или схемы стабилизации, определении параметров этих схем, их эксплуатационных характеристик.

Расчет выполняется согласно техническим условиям:

- назначения рассчитываемого устройства;
- номинального напряжения и частоты тока сети;
- номинального значения выпрямленного напряжения и тока;
- допустимого коэффициента пульсации на выходе выпрямителя при номинальной нагрузке;
- пределов изменения напряжения сети и тока нагрузки;
- допустимые пределы изменения напряжения на выходе выпрямителя.

Большинство требований предъявляемых к устройствам электропитания имеет противоречивый характер.

Так, например, высокий КПД и надежность работы трудно обеспечить при минимальном весе; требование стабилизации напряжения приводит к снижению КПД.

Поэтому основная задача, решаемая при расчете устройства электропитания, заключается в техническом обосновании и выборе решения, наиболее полно соответствующего поставленным требованиям.

Источники электропитания по роду тока подразделяются на источники постоянного и переменного напряжения, а по степени постоянства выходного напряжения – на нестабилизированные и стабилизированные.

При разработке нестабилизированного источника постоянного напряжения целесообразен следующий порядок расчета:

- выбор типа вентилей, схемы выпрямления и схемы фильтра;
- предварительный расчет выпрямителя;
- расчет фильтра;
- расчет сглаживающего дросселя;
- расчет трансформатора;
- окончательный расчет выпрямителя и фильтра.

При разработке стабилизированных источников выпрямленного напряжения необходимо соблюдать следующий порядок расчета:

- выбор схемы стабилизации;
- расчет регулирующего элемента;
- расчет измерительного элемента;
- расчет усилительного элемента;
- определение требуемых параметров выпрямителя.

После этого производится расчет нестабилизированного источника постоянного напряжения в последовательности указанной выше.

Разработка нестабилизированного источника переменного напряжения сводится к расчету трансформатора.

При разработке стабилизированных источников переменного напряжения расчет выполняется в следующей последовательности:

- выбор схемы стабилизации;
- предварительный расчет схемы стабилизатора;
- расчет трансформатора;
- окончательный расчет схемы стабилизатора;
- расчет измерительного элемента;
- расчет усилительного элемента.

После выполнения всех расчетов для источников питания всех типов необходимо:

- составить принципиальную электрическую схему с перечнем элементов;
- технические условия, расчетных источников питания.

## **1.1. Выбор вентилей для выпрямительного устройства**

При выполнении расчета выпрямительного устройства необходимо, прежде всего, выбрать тип вентиля. Выбор вентиля того или иного типа зависит от требуемых значений выпрямленного напряжения и тока.

Из выпускаемых промышленностью типов вентилей наиболее широкое применение для питания радиотехнических систем малой и средней мощности нашли кремниевые и германиевые диоды.

Для получения плавной регулировки выпрямленного напряжения в широких пределах используются управляемые вентили – тиристоры.

Селеновые вентили целесообразно применять для получения высоких напряжений при относительно малых силах тока.

Тиратроны преимущественно применяются в схемах, регулируемых и нерегулируемых высоковольтных выпрямителей при напряжениях до 15 – 30 кВ и токах порядка нескольких десятков ампер.

При выборе вентиля необходимо также учитывать их эксплуатационную надежность, срок службы, величину потерь, перегрузочную способность, возможность полного использования по обратному напряжению, необходимость питания накала и стоимость.

По эксплуатационной надежности и сроку службы следует, безусловно, отдать предпочтение полупроводникам по сравнению с электродными и ионными.

Селеновые вентили являются лучшими по перегрузочной способности. Перегрузка электронных и ионных вентилях вообще недопустима, германиевые и кремниевые допускают лишь небольшие перегрузки.

Соединяя последовательно полупроводниковые диоды, допускающие сравнительно небольшие значения обратного напряжения, можно получить вентили с обратным напряжением равным расчетному или близким к нему.

Полупроводниковые вентили не требуют источника питания накала, что повышает КПД выпрямителя и упрощает его схему.

Полупроводниковые вентили могут работать при высокой влажности окружающей среды и при значительных механических нагрузках.

Основной недостаток полупроводниковых вентилях заключается в значительной зависимости выпрямленного тока от температуры окружающей среды.

При известных (заданных) параметрах нагрузки ( $U_0$ ,  $I_0$ ) определяются параметры, необходимые для расчета трансформатора и выбора вентилях.

Для вентилях:

- обратное напряжение ( $U_{обр}$ ), приходящееся на один вентиль;
- среднее, действующее и амплитудное значение тока вентиля ( $I_0$  в,  $I_B$ ,  $I_{B \text{ макс}}$ ).

Эти значения обратного напряжения и тока, должны быть не более допустимых значений для выбранного типа выпрямителя.

*Обратным напряжением*, приходящимся на один вентиль в выпрямительной схеме, называется наибольшее значение разности потенциалов между анодом и катодом вентиля в ту часть периода, когда вентиль не проводит тока.

*Допустимым обратным напряжением* называется такое наибольшее напряжение, которое можно приложить к вентилю, в обратном направлении, не подвергая вентиль опасности теплового пробоя.

$U_{обр.(доп.)}$  – характеризует электрическую прочность вентиля. Действующее значение тока вентиля определяет потери мощности и его нагрев ( $I_B$ ). В полупроводниковых вентилях допустимые токовые нагрузки формируются средним значением тока вентиля ( $I_0$  в).

## 1.2. Выбор схемы выпрямителя

Выбор той или иной схемы выпрямителя зависит от многих факторов:

- типа вентиля, числа фаз питающей сети;
- требуемые напряжения, токи, мощности на выходе выпрямителя;
- коэффициента пульсации выпрямленного напряжения;
- габаритных размеров и веса трансформатора.

Кремниевые, германиевые и селеновые вентили следует использовать преимущественно в двухтактных схемах (однофазной и трехфазной мостовой), так как число вентильных элементов в этих схемах такое же, как и соответствующих однократных, а использование трансформатора значительно лучше, при меньшем коэффициенте пульсаций, что позволяет использовать более компактный фильтр.

В низковольтных выпрямителях выполняемых на напряжения величиной до нескольких вольт, применение однократной двухпериодной схемы выпрямления становится более целесообразным, чем применение двухтактной схемы.

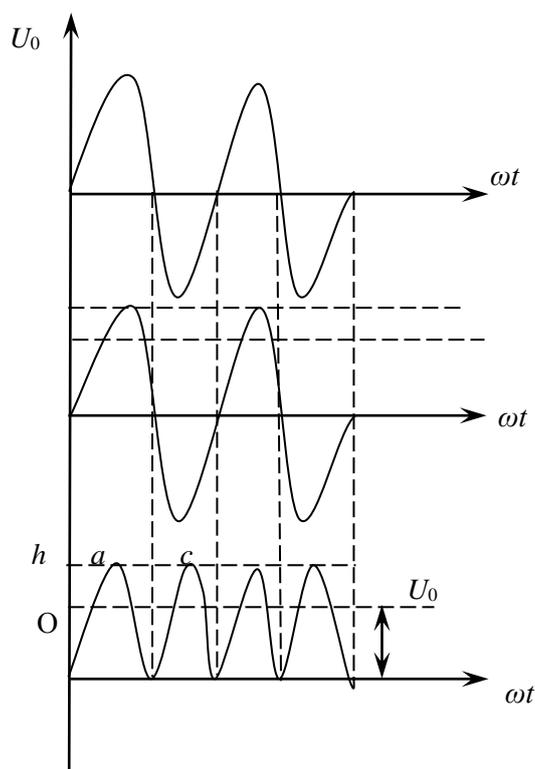


Рис.1. Временные диаграмма выпрямительного устройства.

Это объясняется тем, что в однократной схеме может быть только один вентиль (вместо двух в двухтактной), что вдвое сокращает внутреннее сопротивление, уменьшаются потери мощности.

При однофазной схеме применяют, как правило, двухпериодные схемы выпрямления.

При наличии трехфазной сети можно применять как однофазные, так и трехфазные схемы

Однако для обеспечения равномерной нагрузки трехфазной сети нежелательно применение однофазных схем при мощностях более 1 кВт.

При использовании полупроводниковых вентилях при трехфазной сети применение трехфазной мостовой схемы предпочтительно и при малых мощностях.

Мостовые схемы (однофазная и трехфазная) имеют трансформатор наименьшей удельной мощности по сравнению со всеми остальными схемами выпрямления.

### 1.3. Основные параметры, характеризующие выпрямительное устройство.

1. Постоянная составляющая (среднее значение выпрямленного напряжения –  $U_0$  и тока –  $I_0$ ). Графически может быть представлена высотой прямоугольника – ( $U_0$ ) с основанием равным длительности периода ( $T$ ) и площадью, равной площади ограниченной кривой выпрямленного напряжения.

2. Амплитудное значение выпрямленного тока, напряжения ( $I_M$ ,  $U_M$ ) – амплитуда тока, напряжения переменной составляющей основной частоты.

3. Коэффициент пульсаций. Определяется как отношение амплитуды переменной составляющей основной частоты к среднему значению выпрямленного напряжения.

$$k_n = \frac{U_M}{U_0},$$

где  $U_M$  – амплитудное значение переменной составляющей основной гармоники;  $U_0$  – среднее значение выпрямленного напряжения.

Среднее значение выпрямленного напряжения и коэффициент пульсаций зависят как от выбранного типа выпрямителя, так и от питающей сети (однофазная, трехфазная, многофазная).

### 1.4. Выбор схемы и элементов фильтра

Зависит от типа вентилях, схемы выпрямления, мощности и сопротивления нагрузки, характера нагрузки, требуемого коэффициента фильтрации и частоты тока сети.

Если в качестве вентилях используются газотроны или тиратроны, то следует применять фильтры только с индуктивной реакцией ( $L$ -образные  $LC$ -фильтры). Это объясняется меньшим амплитудным значением анодного тока при индуктивном характере нагрузки по сравнению с величиной тока при ёмкостном характере нагрузки.

Для германиевых и кремниевых вентилях по тем же соображениям желательно применение фильтров, начинающихся с индуктивности. В

выпрямителях с кенотронами и селеновыми вентилями можно применять любой вид фильтра.

Габаритные размеры фильтра уменьшаются при увеличении основной частоты пульсации выпрямительного напряжения, поэтому при питании от однофазного сети целесообразно применять двухполупериодные схемы выпрямления, а при трехфазной сети – трехфазную мостовую схему.

Фильтры выпрямителей малой мощности выполняются ёмкостными.

При больших коэффициентах фильтрации целесообразно применять многозвенные фильтры, так как суммарный объём и вес многозвенного фильтра меньше, чем однозвенного, (рассчитанного на одно и то же сглаживание пульсаций).

### **1.5. Требования, предъявляемые к сглаживающим фильтрам**

1. Максимально возможное уменьшение переменной составляющей, при минимальном уменьшении постоянной составляющей выпрямленного напряжения.

2. Фильтры не должны заметно искажать формы тока нагрузки (при импульсном характере нагрузки).

3. Собственная частота колебаний фильтра, представляющего собой колебательную систему ( $L$ ,  $C$ ,  $r$ ), должна быть меньше низшей частоты переменной составляющей выпрямленного напряжения и тока.

4. Переходные процессы в фильтре, возникающие при включении и выключении выпрямителя или его нагрузки, не должны вызывать чрезмерного повышения напряжения или броска тока.

5. Фильтр должен быть экономичен, т.е. иметь небольшую стоимость, малые размеры и вес.

Основным параметром, по которому оценивается сглаживающее действие фильтра, является его коэффициент фильтрации\

$$k_{\phi} = \frac{k_{\phi}}{k_{\phi}'},$$

где  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации;  $k_{\phi}$  – коэффициент пульсаций на входе фильтра;  $k_{\phi}'$  – коэффициент пульсаций на выходе фильтра.

### **1.6. Выбор схем регулирования и стабилизации**

Выбор схемы регулирования зависит от величины выпрямленного напряжения и мощности выпрямительного устройства.

При напряжениях не более 400 В и мощности порядка (5÷10) Вт регулировку целесообразно вести на стороне выпрямительного напряжения, используя для этого потенциометры.

В выпрямителях с электронными и транзисторными стабилизаторами при мощностях от (10÷150) Вт можно осуществить плавную регулировку

выпрямленного напряжения в пределах порядка ( $\pm 10\%$ ), изменяя падение напряжения на регулирующей лампе или транзисторе.

Глубокая регулировка в пределах ( $10\div 100\%$ ) может быть получена при использовании транзисторных стабилизаторов.

При более высоких напряжениях и больших мощностях регулировку выгоднее осуществить на стороне переменного напряжения.

Полупроводниковые управляемые вентили (тиристоры) могут применяться как при больших, так и при малых мощностях.

Большинство радиотехнических устройств требует, как правило, высокой стабильности выпрямленных напряжений и малого коэффициента пульсации.

Наиболее полно данным требованиям отвечают стабилизаторы, содержащие электронные или транзисторные регулирующие элементы.

Мощность на выходе электронных, транзисторных и комбинированных стабилизаторов ограничивается предельно-допустимой мощностью рассеяния в регулирующих элементах.

### **1.6.1. Основные параметры стабилизаторов напряжения**

1. Напряжение и частота питающей сети (однофазной, трехфазной) и пределы изменения.
2. Выходное напряжение (выпрямительное, стабилизированное) и величина тока нагрузки.
3. Допустимые пределы изменения выходного напряжения.
4. Допустимый коэффициент пульсаций на выходе стабилизатора.

## **2. Расчёт устройств схем электропитания радиотехнических систем**

*Исходные данные для расчета устройства источников вторичного электропитания:*

1. Первичный источник – переменное напряжение (однофазное)  $U_c = 220$  В, промышленной частоты  $f_c = 50$  Гц.
2. Выпрямительное устройство (нестабилизированное):
  - а) величина выпрямительного напряжения  $U_{02} = 30$  В;
  - б) номинальный ток нагрузки  $I_{02} = 3$  А;
  - в) допустимый коэффициент пульсаций на выходе выпрямительного устройства  $k_{2п} = 6,7\%$ .
3. Выпрямительное устройство (стабилизированное):
  - а) величина выпрямленного напряжения  $U_{03(ст.)} = 7,5$  В;
  - б) номинальный ток нагрузки  $I_{03} = 0,4$  А;
  - в) допустимые пределы изменения выходного напряжения  $\Delta U_{03(ст.)} = \pm 0,3\%$ ;
  - г) допустимый коэффициент пульсаций на выходе стабилизатора напряжения  $k_{3п} = 0,2\%$ .

#### 4. Нестабилизированное переменное напряжение:

- а) величина переменного напряжения  $U_4 = 115$  В с частотой  $f_c = 50$  Гц;
- б) номинальный ток нагрузки  $I_4 = 0,7$  А.

### 2.1. Расчет нестабилизированного выпрямительного устройства

В качестве статического электромагнитного преобразователя будет использован Ш-образный трансформатор, расчёт которого будет приведен ниже.

На предварительном этапе необходимо определиться со схемой выпрямителя, выбором типа вентилялей и сглаживающего фильтра.

При использовании в качестве первичного источника питания однофазной цепи переменного тока  $f = 50$  Гц наиболее предпочтительной является мостовая схема выпрямителя. Данная схема имеет ряд преимуществ перед двухполупериодной схемой с нулевым выводом трансформатора:

- размеры и вес трансформатора меньше вследствие лучшего использования обмоток ( $P$  тип трансформатора на 20% меньше), где  $P_{тип}$  – типовая мощность трансформатора;

- не требует специального вывода от средней точки вторичной обмотки;

- напряжение на зажимах вторичной обмотки вдвое меньше;

- обратное напряжение ( $U_{обр}$ ), приходящееся на один вентиль, вдвое меньше.

В качестве сглаживающего фильтра используется П-образный LC-фильтр, т.к. типовая мощность выпрямителя значительно больше 10 Вт.

На основании выше изложенного составляем электрическую схему выпрямительного устройства.

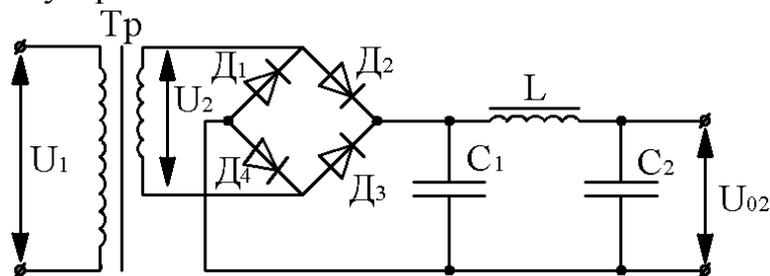


Рис.2.1. Принципиальная схема однофазного мостового выпрямительного устройства

По данным таблицы 1.8 (приложения) определяем параметры вентилялей для однофазной мостовой схемы выпрямителя с индуктивной реакцией нагрузки:

- требуемая величина среднего тока вентиля

$$I_{02(вент)} = 0,5 \cdot I_{02} = 0,5 \cdot 3,0 = 1,5 \text{ (А)}.$$

- действующее значение тока вентиля

$$I_{2(вент.)} = 0,707 \cdot D \cdot I_{02} = 0,707 \cdot 1,0 \cdot 3,0 = 2,121 \text{ (А)}, \text{ (предварительно принимая } D = 1,0).$$

- допустимое обратное напряжение на вентиле

$$U_{обр.(вент.)} = 1,57 \cdot U_{02} = 1,57 \cdot 30,0 = 47,1 \text{ (В)}$$

- число вентилялей в схеме – 4.

- коэффициент пульсаций на выходе мостовой схемы  $k'_{2п} = 0,67 \cdot H = 0,67 \cdot 100 = 67\%$  (предварительно принимая коэффициент  $H = 100$ ).

По полученным данным выбираем в качестве вентиля кремниевые диоды типа Д242.

### Паспортные данные диодов типа Д242

Амплитудное значение тока – 5,0 А.

Прямое падение напряжения на вентиле – 1,0 В.

Допустимое значение обратного напряжения на вентиле –  $U_{обр.(вент.)} = 100,0$  В.

### 2.2. Предварительный расчет по определению действующих значений тока и напряжения вторичной обмотки ( $W_2$ ) силового трансформатора.

По таблице 1.8 (приложения А) для выбранной схемы выпрямления:

– действующее значение напряжения вторичной обмотки:

$$U_2 = 1,11 \cdot B \cdot U_{02};$$

– действующее значение тока вторичной обмотки:

$$I_2 = D \cdot I_{02};$$

– типовая мощность трансформатора по вторичной обмотке:

$$P_2 = 1,11 \cdot B \cdot D \cdot P_{02};$$

где коэффициенты  $B$  и  $D$  определяются из графиков: рис.1.1, 1.2 (приложения Б) и представляют зависимости:

$$B = f\left(\operatorname{tg}\varphi, \frac{r_\phi}{R_n}\right) \text{ и } D = f\left(\operatorname{tg}\varphi, \frac{r_\phi}{R_n}\right);$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{X_{L(\text{рас.})}}{r_\phi}; \quad r_\phi = r_{\text{тр(общ.)}} + r_{\text{пр(вент.)}}$$

- приближенные значения активные сопротивления обмотки и индуктивности рассеяния ( $L_{\text{рас}}$ ) трансформатора, работающего с реактивной реакцией определяющегося по формулам:

$$r_{\text{тр}} \approx k_{r(\text{инд.})} \frac{U_{02} \cdot 10^{-3}}{I_{02} \cdot f_c \cdot B} \sqrt[4]{\frac{S \cdot f_c \cdot B}{U_{02} \cdot I_{02}}};$$

$$L_{\text{рас}} \approx k_{L(\text{инд.})} \frac{U_{02} \cdot 10^{-5}}{I_{02} \cdot f_c \cdot B} \sqrt[4]{\frac{S^3 \cdot U_{02} \cdot I_{02}}{f_c \cdot B}},$$

где  $k_{r(\text{инд.})}$  и  $k_{L(\text{инд.})}$  – коэффициенты пропорциональности, зависящие от схемы выпрямления.

Для однофазной мостовой схемы с индуктивной реакцией нагрузки согласно таблицы 1.6 (приложения Б):

$$k_{r(\text{инд.})} = 5,1 \cdot 10^3; \quad k_{L(\text{инд.})} = 6,4 \cdot 10^2,$$

где  $U_{02}$ ,  $I_{02}$  – выпрямленное значение напряжения и величина тока нагрузки;  $S$  – число стержней силового трансформатора (для броневое пластинчатого

магнитопровода  $S = 1$ );  $f_c$  – частота питающей сети ( $f_c = 50$  Гц);  $B$  – магнитная индукция.

Для силовых трансформаторов с типовой мощностью (150-300)Вт с броневым пластинчатым магнитопроводом согласно таблицы 1.1 (приложения) принимаем:

$$B = 1,35 \text{ Тл.}$$

Подставляя численные значения определяем  $r_{\text{тр(инд)}}$  и  $L_{\text{рас(инд)}}$ :

$$r_{\text{тр(инд)}} = 5,1 \cdot 10^3 \frac{30,0 \cdot 10^{-3}}{3,0 \cdot 50 \cdot 1,35} \sqrt[4]{\frac{1 \cdot 50 \cdot 1,35}{30,0 \cdot 3,0}} = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ (Ом);}$$

$$L_{\text{рас.}} = 6,4 \cdot 10^2 \frac{30,0 \cdot 10^{-5}}{3,0 \cdot 50 \cdot 1,35} \sqrt[4]{\frac{30,0 \cdot 3,0}{50 \cdot 1,35}} = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн).}$$

Так как трансформатор имеет дополнительные обмотки, то его активное сопротивление определяется:

$$r_{\text{тр(общ)}} = \frac{r_{\text{тр(инд.)}}}{2} \left( 1 + \frac{P_{2\text{тип}}}{P_{\text{тип(общ)}}} \right),$$

где  $P_{\text{тип(общ.)}} \approx 210$  Вт;  $P_{2\text{тип}} = 1,11 \cdot B \cdot D \cdot P_{02} = 1,11 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 30,0 \cdot 3,0 \approx 110,0$  (Вт), предварительно принимая  $B = 1,1$ ;  $D = 1,0$ .

$$r_{\text{тр(общ)}} = \frac{0,703}{2} \left( 1 + \frac{110}{210} \right) = 0,536 \text{ (Ом);}$$

- определяем величину внутреннего активного сопротивления выпрямителя:

$$r_{\phi} = r_{\text{тр(общ)}} + 2r_{\text{пр(вент)}},$$

где  $r_{\text{пр(вент)}}$  – активное сопротивление диода Д242, включенного в прямом направлении

$$r_{\phi} = 0,536 + 2 \frac{1,0}{1,5} = 1,87 \text{ (Ом), где:}$$

$$r_{i\bar{\delta}(\hat{a}\hat{a}i\bar{\delta}.)} = \frac{U_{i\bar{\delta}(\hat{a}\hat{a}i\bar{\delta}.)}}{I_{02(\hat{a}\hat{a}i\bar{\delta}.)}} = \frac{1,0}{1,5} = 0,67 \text{ (Ом);}$$

- определяем величины  $\text{tg}\varphi$  и  $\frac{r_{\phi}}{R_{\text{н}}}$

$$\text{tg}\varphi = \frac{X_{\text{р(инд.)}}}{r_{\phi}} = \frac{2\pi f_c L_{\text{р(инд.)}}}{r_{\phi}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,02 \cdot 10^{-3}}{1,87} = 0,1713 \approx 0,17$$

$$\frac{r_{\phi}}{R_{\text{н}}} = r_{\phi} \frac{J_{02}}{U_{02}} = 1,87 \frac{3,0}{30,0} = 0,187 \approx 0,19.$$

По полученным значениям  $\operatorname{tg}\varphi = 0,17$  и  $\frac{I_{\Phi}}{R_n} = 0,19$  и графикам рис. 1.1, 1.2, 1.3

(приложения Б) находим коэффициенты В, D и Н:

$$B = 1,18; D = 0,973, H = 100,6;$$

-определяем параметры схемы выпрямления и вторичной обмотки силового трансформатора:

действующее значение напряжения вторичной обмотки:

$$U_2 = 1,11 \cdot B \cdot U_{02} = 1,11 \cdot 1,18 \cdot 30,0 = 39,3 \text{ (В)}.$$

действующее значение тока силового трансформатора:

$$I_2 = D \cdot I_{02} = 0,978 \cdot 3,0 = 2,94 \text{ (А)}.$$

типовая мощность силового трансформатора:

$$P_{2\text{тип}} = 1,11 \cdot B \cdot D \cdot P_{02} = 1,11 \cdot 0,978 \cdot 1,18 \cdot 30,0 \cdot 3,0 = 115,3 \text{ (Вт)}.$$

Коэффициенты пульсации на выходе схемы выпрямления:

$$k_n = 0,67 \cdot H = 0,67 \cdot 100,0 = 67 \text{ (\%)}.$$

## 2.3. Расчет сглаживающего фильтра для нестабилизированного выпрямителя.

### 2.3.1. Расчет электрической части фильтра.

При мощностях выпрямительного устройства более 10,0 Вт более предпочтительными являются LC-фильтры и поэтому используем Г-образный фильтр.

Исходными данными для расчета LC-фильтра являются:

- коэффициент пульсации на входе фильтра  $k_n' = 67\%$  (на выходе однофазной мостовой схемы выпрямления);
- коэффициент пульсаций на выходе сглаживающего фильтра  $k_n'' = 6,7\%$ ;
- схема выпрямления однофазная мостовая;
- частота тока сети  $f_{\text{сети}} = 50,0$  Гц;
- выпрямленное напряжение  $U_{02} = 30,0$  В
- выпрямленный ток (ток нагрузки)  $I_{02} = 3,0$  А

Необходимо определить электрические параметры фильтра:

- величину индуктивности дросселя ( $L_{\text{др}}$ );
- ёмкость  $C_1$ ;
- определяем произведение ( $L_{\text{др}} \cdot C_1$ ) для однофазной мостовой схемы выпрямления из выражения:

$$LC = \frac{k_{\Phi} + 1}{(p\omega)^2},$$

где  $k_{\Phi} = \frac{k_n'}{k_n''} = \frac{67\%}{6,7\%} = 10,0$  – коэффициент фильтрации;  $p = 2$  – коэффициент, зависящий от схемы выпрямления (для однофазной мостовой схемы

выпрямления);  $\omega = 2\pi f_{\text{сети}}$  – угловая частота; и если  $L_{\text{др}}$  выразить в генри и  $C$  в микрофарадах, то для частоты сети  $f_{\text{сети}} = 50$  Гц:

$$L_{\text{др}} \cdot C_1 = \frac{10(k_{\phi} + 1)}{p^2} = \frac{10(10 + 1)}{2^2} = 27,5 \text{ (Гн} \cdot \text{мкФ)}.$$

Индуктивная реакция фильтра обеспечивается при некотором (критическом) значении индуктивности дросселя фильтра, т.е. выбранное значение индуктивности дросселя должно быть больше или равным  $L_{\text{др.кр}}$

$$\begin{aligned} L_{\text{др}} \geq L_{\text{др.кр.}} &= \frac{k'_{\text{п}} \cdot U_{020}}{p\omega J_{02}} = \frac{6,7 \cdot 30,0}{100 \cdot 2 \cdot 2\pi f_{\text{сети}} J_{02}} = \\ &= \frac{6,7 \cdot 30,0}{100 \cdot 2 \cdot 6,28 \cdot 50,0 \cdot 3,0} = 1,067 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)} \end{aligned}$$

Считая  $L_{\text{др}} = 0,1$  Гн определяем необходимое значение ёмкости фильтра:

$$C_1 = \frac{10(k_{\phi} + 1)}{p^2 \cdot L_{\text{др}}} = \frac{10(10 + 1)}{2^2 \cdot 0,1} = 275,0 \text{ мкФ}.$$

Рабочее напряжение на конденсаторе должно быть:

$$U_{C_1(\text{ном.})} = \sqrt{2} \cdot U_2 = 1,41 \cdot 1,11 \cdot 1,18 \cdot 30,0 = 55,4 \text{ (В)},$$

где  $U_2$  – действующее значение напряжения на вторичной обмотке.

Согласно полученных требований выбираем конденсатор типа К-330 – на напряжение 100,0 В.

### 2.3.2. Расчет сглаживающего дросселя (конструктивный).

Данные, необходимые для расчета сглаживающего дросселя ( $L_{\text{др}}$ ), получаются в результате расчета фильтра выпрямителя. Этими данными являются индуктивность дросселя ( $L_{\text{др}} = 0,1$  Гн) и ток подмагничивания дросселя ( $I_{02} = 3,0$  А).

Конструктивный расчет сглаживающего дросселя производится в следующей последовательности:

- определение типа и параметров магнитопровода дросселя;
- определение намоточных данных (типа и параметров намоточного провода, числа витков, выбор межслоевой изоляции);
- сопротивление потерь в «меди»;
- вес, габаритные размеры дросселя

### 2.3.3. Определение типа и параметров магнитопровода дросселя фильтра

По кривым зависимости объёма стали магнитопровода дросселя от его электромагнитной энергии (рис. 1.9, приложения Б)  $L_{\text{др}} \cdot I_0^2 = f(V_{\text{ст.}})$  определяем активный объём стали.

Для электромагнитной энергии:

$$L_{\text{др}} \cdot I_0^2 = 0,1 \cdot 3,0^2 = 0,9,$$

где величина  $V_{ст.} \approx 190$  (см<sup>3</sup>).

По данным таблицы 1.21 приложения, выбираем типоразмер магнитопровода по объёму, возможно более близкий к определенному из графика рис. 1.9.

Если в таблице имеются 2 объёма, близкие к требуемому, то следует предпочесть магнитопровод с большим размером окна (с).

Выбираем броневой пластичный магнитопровод со следующими параметрами:

Типоразмер магнитопровода – Ш25 – 40.

Геометрические размеры (мм):  $a = 25$ ,  $h = 62,5$ ,  $c = 25$ ,  $C = 100$ ,  $H = 86,5$ ,  $b = 40$ ;

$S_{ст.} = 9,1$  см<sup>2</sup> (активная площадь сечения среднего стержня);

$L_{ст.} = 21,4$  см (средняя длина магнитной линии);

$S_{ст.} \cdot S_{ок.} = 156$  см<sup>4</sup> (сечение стали  $\times$  сечение окна);

$V_{ст. акт.} = 195,0$  см<sup>3</sup> (активный объём магнитопровода);

$G_{ст.} = 1560$  г (вес магнитопровода);

$n = \frac{b}{d_{пл.}} R_{ст.} = \frac{40,0}{0,35} \cdot 0,91 = 104,0$  (количество пластин).

#### 2.3.4. Определение намоточных данных катушки дросселя фильтра

По кривым зависимости  $\mu = f(M)$  – эффективной проницаемости стали от удельной электромагнитной энергии и  $l_3 \% = f(M)$ , где  $l_3 \%$  – относительный воздушный зазор (рис. 1.10, приложения) определяем численные значения  $\mu$  и  $l_3 \%$ :

$\mu_{эф.} = 92$ ;  $l_3 \% = 1,15$ :

- величина удельной электромагнитной энергии дросселя определяется:

$$M = \frac{L_{др.} I_0^2}{V_{ст. акт.}} = \frac{0,1 \cdot 3^2}{195} = 4,615 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн} \cdot \text{А)} / \text{см}^3;$$

- определяем величину суммарного воздушного зазора дросселя ( $l_3$ ):

$$l_{з.з.} = \frac{l_{з.з.} \%}{100} \cdot l_{ст.} = \frac{1,15}{100} 21,4 = 0,25 \text{ см.};$$

- определяем толщину изоляционной (немагнитной прокладки):

$$\Delta = \frac{l_3}{2} = \frac{2,5}{2} = 1,25 \text{ мм.};$$

- находим число витков обмотки дросселя фильтра:

$$W = 10^4 \sqrt{\frac{L_{др.} \cdot l_{ст.}}{1,26 \cdot \mu_{эф.} \cdot S_{ст. (акт.)}}} = 10^4 \sqrt{\frac{0,1 \cdot 21,4}{1,26 \cdot 92 \cdot 9,1}} = 415 \text{ (витк)},$$

где  $L_{др.} = 0,1$  Гн – выбранное значение индуктивности;  $l_{ст.}$  (см) – средняя длина магнитопровода;  $S_{ст. (акт.)}$  – активная площадь среднего стержня магнитопровода;  $\mu_{эф.}$  – эффективная проницаемость стали.

- определяем необходимое сечение провода катушки дросселя:

$$S_{\text{пр. (мин.)}} = \frac{I_{02}}{\delta} = \frac{3,0}{2,7} = 1,12 \text{ (мм}^2\text{)},$$

где  $I_{02}$  – величина тока нагрузки выпрямителя;  $\delta$  – плотность тока провода катушки.

Выбираем по данным таблицы 1.4 (приложения А) для магнитопровода Ш25-40  $\delta = 2,7$  (А/мм<sup>2</sup>).

Далее необходимо выбрать стандартное сечение и диаметр провода, таблица 1.10 (приложения А), после чего уточнить фактическую плотность тока в проводе, а также выписать из таблицы диаметр изолированного провода ( $d_{\text{из}}$ ) и вес 1 м изолированного провода.

Тип провода – ПЭВ – 1

Сечение провода ГОСТ –  $S_{\text{пр(гост)}} = 1,1310$  мм<sup>2</sup>.

Номинальный диаметр –  $d = 1,2$  мм.

Диаметр провода с изоляцией –  $d_{\text{из}} = 1,28$  мм.

Вес 1 м медной проволоки –  $d_{\text{пр}} = 10,10$  гр/м.

Фактическая плотность тока в обмотке дросселя:

$$\delta_{\text{(факт.)}} = \frac{J_{02}}{S_{\text{пр. (гост)}}} = \frac{3,0}{1,1310} = 2,65 \text{ (А/мм}^2\text{)};$$

- определяем число витков обмотки в одном слое и число слоев:

$$W_{\text{(слоя)}} = \frac{h_{\text{д}}}{k_{\text{у}} \cdot d_{\text{из}}} = \frac{57,5}{1,15 \cdot 1,28} = 40 \text{ (витков)};$$

где  $h_{\text{д}} = h - 5$  (мм) – допустимая осевая длина намотки одного слоя,  $h$  – высота окна магнитопровода;  $k_{\text{у}} = 1,07 \div 1,15$  – коэффициент укладки провода (в зависимости от диаметра провода).

- число слоев:  $N = \frac{W}{W_{\text{(слоя)}}} = \frac{415}{40} = 12,0$  (слоев);

- толщина намотки катушки дросселя определяется:

$$\alpha = \Delta Z + \Delta K + \alpha_1 + \alpha_{10},$$

где  $\Delta Z = (0,5 \div 1,0)$  мм – зазор между внутренней частью каркаса (гильзы) и сердечником магнитопровода; (см. рис. приложения);

$\Delta K = (1,0 \div 2,0)$  мм – толщина каркаса (гильзы);

$\alpha_1 = k_{\text{у}} \cdot N \cdot d_{\text{из}} + (N - 1) \cdot \Delta_{\text{из}}$  – радиальный размер обмотки;

$\Delta_{\text{из}} = 0,12$  мм – межслоевая изоляция (кабельная бумага);

$\alpha_{10}$  – толщина верхнего слоя изоляции – используем двухслойную кабельную бумагу.

$\alpha_{10} = 0,12 \cdot 2 = 0,24$  (мм);

$\alpha_1 = 1,15 \cdot 12 \cdot 1,28 + (12 - 1) \cdot 0,12 = 18,984$  (мм);

$\alpha = 1,0 + 2,0 + 18,984 + 0,24 = 22,224 = 22,3$  (мм).

Проверяем зазор между катушкой и сердечником магнитопровода дросселя:

$$C - \alpha = 25,0 - 22,3 = 2,7 \text{ мм} = 0,27 \text{ см.}$$

где  $C$  – ширина окна магнитопровода дросселя; а т.к.  $l_{\text{заз}} = 0,25 \text{ см} < C - \alpha$ , что подтверждает правильность выбора типа магнитопровода и выполненных расчетов.

Определяем сопротивления потерь в «меди» катушки дросселя:

- сопротивление потерь катушки:

$$r_{\text{др.}} = \frac{2,35 \cdot 10^{-2} \cdot l_{\text{ср. (витка)}} \cdot W}{S_{\text{пр. (гост)}}},$$

$$\text{где } l_{\text{ср. (витка)}} = 2\pi \cdot r_{\text{ср}}; r_{\text{др.}} = r + \frac{\alpha_1}{2} = \frac{a_k + b_k}{\pi} + \frac{\alpha_1}{2}$$

(см. рис.1 приложения);  $a_k = a + \alpha(\Delta 3 + \Delta K)$ ;  $b_k = b + \alpha(\Delta 3 + \Delta K)$ ;  $a = 25,0 \text{ мм}$ ;  $b = 40,0 \text{ мм}$ ;  $\Delta 3 = 1,0 \text{ мм}$ ;  $\Delta K = 2,0 \text{ мм}$ ;  $\alpha_1 = 18,984 \text{ мм}$ ;

Подставляя численные значения получаем:

$$r_{\text{ср}} = 34,01 \text{ мм}; l_{\text{ср}} = 213,61 \text{ мм} = 0,214 \text{ м.}$$

$$r_{\text{др.}} = \frac{2,35 \cdot 10^{-2} \cdot 0,214 \cdot 451}{1,1310} = 200,5 \cdot 10^{-2} = 2,0 \text{ (Ом)};$$

- мощность потерь в обмотке дросселя фильтра:

$$P_{\text{пот. (др)}} = \rho \cdot \delta^2_{\text{факт}} \cdot G_{\text{м}} = 2,7 \cdot 2,65^2 \cdot 0,975 = 18,52 \text{ (Вт)},$$

где  $\rho$  – температурный коэффициент (при  $t^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$   $\rho = 2,26$ ; при  $t^\circ\text{C} = 105^\circ\text{C}$   $\rho = 2,7$ ).

$$G_{\text{меди}} = l_{\text{ср. (витка)}} \cdot W \cdot q_{\text{пр}} \cdot 10^{-3} \text{ (кг)},$$

$$G_{\text{м}} = 0,214 \cdot 451 \cdot 10,10 \cdot 10^{-3} = 0,975 \text{ (кг)},$$

где  $q_{\text{п}}$  – вес 1 метра провода в граммах.

$$P_{\text{пот др}} = I_{02}^2 \cdot r_{\text{др}} = 3,0^2 \cdot 2,0 = 18,0 \text{ Вт};$$

- величина падения напряжения на дросселе:

$$\Delta U_{02(\text{др})} = I_{02} \cdot r_{\text{др}} = 3,0 \cdot 2,0 = 6,0 \text{ (В)}.$$

Найденную величину  $\Delta U_{02(\text{др})}$  следует сравнить с величиной падения напряжения на дросселе предварительно принятой при расчёте выпрямителя.

$$\Delta U_{02 \text{ др (расч.)}} = 1,18 \cdot U_{02} - U_{02} = 35,4 - 30,0 = 5,4 \text{ (В)}$$

Найденная величина  $\Delta U_{02(\text{др})}$  превышает на 0,6 В предварительно принятой и при определении действующего значения напряжения на вторичной обмотке необходимо расчетную величину увеличить на  $0,66 \cdot 1,1 = 0,66 \text{ В}$ .

$$U_{\text{дейст2}} = U_{2(\text{расч})} + 0,66 \text{ (В)}.$$

$$U_{2(\text{факт})} = 39,3 + 0,66 = 40,0 \text{ (В)}.$$

- типовая мощность трансформатора по вторичной обмотке ( $W_2$ ):  $P_{2\text{тип}} = 40,0 \cdot 2,94 = 117,6 \text{ (Вт)}$

### Результаты расчетов:

1. Вес дросселя  $G_{\text{ст(магн)}} + G_{\text{м(дрос)}} = 1,56 + 0,975 = 2,54 \text{ (кг)}$ .
2. Габаритные размеры  $86,5 \times 100 \times 90$ .
3. Тип магнитопровода – броневой, пластинчатый Ш25×40.
4. Намотанный провод: ПЭВ – 1,  $S_{\text{пр(гост)}} = 1,1310 \text{ (мм}^2\text{)}$ .  
Потери мощности в «меди»  $P_{\text{пот(др)}} = 18,52 \text{ (Вт)}$ .

Падение напряжения в обмотке  $\Delta U_{02(\text{др})} = 6,0$  (В).

5. Коэффициент пульсации на выходе фильтра  $k_{\text{п}}'' = 6,7\%$ .

6. Параметры вторичной обмотки силового трансформатора с учетом корректировки:

- действующее значение напряжения вторичной обмотки  $U_{2(\text{кор})} = 1,11 \cdot V \cdot U_{02} + 1,11 \cdot \Delta U_{02} = 1,11 \cdot 1,18 \cdot 30,0 + 1,1 \cdot 0,6 = 40,0$  (В);

- действующее значение тока вторичной обмотки

$$I_{2(\text{кор})} = I_2 = D \cdot I_{02} = 0,978 \cdot 3,0 = 2,94 \text{ (ВТ);}$$

- типовая мощность трансформатора

$$P_{2\text{тип}(\text{кор})} = U_{2(\text{кор})} \cdot I_{2(\text{кор})} = 40,0 \cdot 2,94 = 117,6 \text{ (ВТ).}$$

### 2.3.5. Расчет теплового режима катушки дросселя фильтра.

Определяем поверхность охлаждения катушки дросселя:

$$S_{\text{охл.}(меди)} = h_{\text{д}} \cdot l_{\text{нар. (витка)}};$$

где  $h_{\text{д}} = 62,5 - 5,0 = 57,5$  (мм) – осевая длина намотки;

-  $l_{\text{нар. (витка)}}$  – длина наружного витка обмотки дросселя;

-  $l_{\text{нар. (витка)}} = 2\pi \cdot r_{\text{нар}} = 2\pi [((a_{\text{к}} + v_{\text{к}}) / \pi) + (\alpha - \Delta Z - \Delta K)];$

-  $a_{\text{к}} = a + 2(\Delta Z + \Delta K) = 25,0 + 2(1,0 + 2,0) = 31,0$  (мм);

-  $v_{\text{к}} = v + 2(\Delta Z + \Delta K) = 40,0 + 2(1,0 + 2,0) = 46,0$  (мм);

$h = 22,3$  мм – толщина намотки обмотки дросселя;

-  $l_{\text{нар. (витка)}} = 2 \cdot 3,14 [((31 + 46) / 3,14) + (22,3 - 1,0 - 2,0)] = 275,19$  (мм);

-  $S_{\text{охл.}(меди)} = 57,5 \cdot 275,19 = 15823,4 \text{ мм}^2 = 0,0158 \text{ (м}^2\text{)};$

- определяем удельную поверхность нагрузки катушки дросселя:

$$Q_{\text{м}} = P_{\text{меди}} / S_{\text{охл.}(меди)} = P_{\text{пот}(\text{др})} / S_{\text{охл.}(меди)} = 18,52 \text{ (ВТ)} / 0,0158 \text{ (м}^2\text{)} = 1170,0 \text{ (ВТ/м}^2\text{)}.$$

По графику рис. 1.17 (приложения А) определяем среднюю температуру перегрева проводов катушки дросселя (для магнитопровода Ш 25×40)  $\Delta T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) =  $54^{\circ}\text{C}$ , и при температуре окружающей среды, при которой будет работать дроссель, получим рабочую температуру проводов обмотки. Эта температура не должна превосходить  $+100^{\circ}\text{C}$  для проводов марки ПЭЛ и  $+105^{\circ}\text{C}$  для проводов марки ПЭВ.

$$t^{\circ}\text{C}_{(\text{раб})} = t^{\circ}\text{C}_{(\text{окр})} + \Delta t^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C} + 54^{\circ}\text{C} = 104,0^{\circ}\text{C}.$$

Выше указанное условие для провода марки ПЭВ выполняется.

### 3. Расчет элементов выпрямительного устройства для стабилизированного источника питания:

Исходные данные для расчета элементов выпрямительного устройства для стабилизированного источника питания:

- первичный источник – переменное напряжение (одно - фазное)  $U_1 = 220,0$  В, промышленной частоты  $f_{\text{с}} = 50,0$  Гц;

- напряжение выходное номинальное  $U_{03(\text{ст})} = 7,5$  В;

- номинальный ток нагрузки  $I_{03(\text{НОМ})} = 0,4 \text{ Ом.};$
- допустимые пределы изменения выходного напряжения  $\Delta U_{03(\text{СТ})} = \pm 0,3\%;$
- допустимый коэффициент пульсации на выходе стабилизатора  $k_{\text{П(ВЫХ)}} = 0,2\%$

### 3.1. Расчет выпрямителя и сглаживающего фильтра для питания электронного стабилизатора напряжения по постоянному току.

В качестве выпрямителя используется однофазная мостовая схема выпрямления, а так как мощность выпрямительного устройства не более 10 Вт, то выбираем Г-образный RC-фильтр (с ёмкостной реакцией нагрузки).

Питание первичной цепи – напряжение 220,0 вольт, промышленной частоты  $f_c=50,0 \text{ Гц.}$

В качестве статического электромагнитного аппарата используется трансформатор.

Стабилизатор напряжения по постоянному току – электронный стабилизатор.

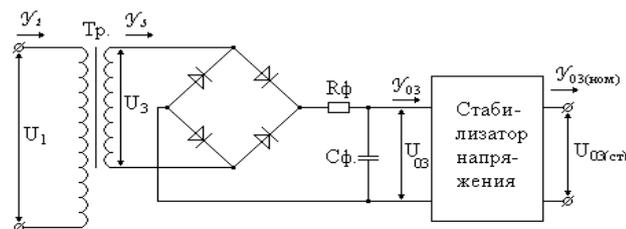


Рис. 3.1. Структурная схема стабилизатора напряжения по постоянному току.

Определяем вентили постоянного напряжения и тока на входе электронного стабилизатора напряжения:

$$U_{03(\text{НОМ})} = (U_{03\text{СТ}} + U_{\text{Э-К МИН}}) / (1 - 0,1) = (7,5 + 3,0) / 0,9 = 11,67 \text{ (В)};$$

где  $U_{\text{Э-К МИН}}$  – минимальное значение напряжения перехода эмиттер-коллектор регулирующего транзистора.

$$I_{03} = I_{03(\text{НОМ})} + I_{\text{УПР}} = 0,4 + 0,15 = 0,55 \text{ (А)};$$

где  $I_{\text{УПР}} = (0,1 \div 0,15) \text{ А}$  – величина тока коллектора регулирующего транзистора электронного стабилизатора;

- величина пульсаций на входе стабилизатора напряжения не должна превышать величины пульсаций:

$$k'_{\text{ПУЛЬС(ВХ)}} = k_{\text{ПУЛЬС(ВЫХ)}} \cdot k_{(\text{СТ})} = 0,2\% \cdot 33,2 = 6,6\%$$

где:  $k_{(\text{СТ})} = \Delta U_{03\%} / \Delta U_{03(\text{СТ})}\%$ ;

$$\Delta U_{03}(\%) = ((U_{03 \text{ МАКС}} - U_{03 \text{ МИН}}) / U_{03 \text{ НОМ}}) 100\%;$$

$$\Delta U_{03}(\%) = (U_{03(\text{НОМ})} \cdot 1,1 - U_{03(\text{НОМ})} \cdot 0,9) / U_{03(\text{НОМ})} \cdot 100\% = ((11,67 \cdot 1,1 - 11,67 \cdot 0,9) / 11,67) \cdot 100\% = 20\%;$$

$$U_{03(\text{СТ})} = 0,6 \%; \quad k_{\text{СТ}} = 20 / 0,6 \approx 33,2.$$

Допустимый коэффициент пульсаций на входе электронного стабилизатора напряжения не должен превышать 6,6 %.

### 3.1.1. Определение параметров вентиляй однофазной мостовой схемы и выбор типа полупроводниковых диодов.

По таблице 1.8 (приложения А) для однофазной мостовой схемы выпрямления с емкостной реакцией нагрузки определяем:

- требуемая величина среднего значения тока вентиля  $I_{03(\text{вент})\text{ср}} = 0,5 \cdot I_{03} = 0,5 \cdot 0,55 = 0,275$  (А);

- амплитудное значение тока вентиля

$$I_{03(\text{вент})\text{макс}} = 0,5 \cdot F \cdot I_{03} = 0,5 \cdot 6,5 \cdot 0,4 = 1,3 \text{ (А)},$$

где  $F$  – коэффициент, зависящий от параметров силового трансформатора

### 3.1.2. Расчет действующих значений тока, напряжения вторичной обмотки силового трансформатора.

Расчет действующих значений тока и напряжения сводится к определению коэффициентов  $B$ ,  $D$  и  $F$ .

По данным таблицы 1.8 приложения определяем зависимости отдельных параметров силового трансформатора по вторичной обмотке (для однофазной мостовой схемы выпрямления с емкостной реакцией нагрузки):

- действующее значение напряжения вторичной обмотки

$$U_3 = B \cdot U_{03};$$

- действующее значение тока вторичной обмотки

$$I_3 = 0,707 \cdot D \cdot I_{03};$$

- типовая мощность силового трансформатора

$$P_{3\text{тип.}} = 0,707 \cdot B \cdot P_{03}.$$

Коэффициенты  $B$ ,  $D$ ,  $F$  определяются из графиков зависимости:

$B = f(A, \varphi)$  рис. 1.12 (приложения).

$D = f(A, \varphi)$  рис. 1.13 (приложения).

$F = f(A, \varphi)$  рис. 1.14 (приложения).

$$\text{где } A = \frac{\pi \cdot r_{\phi}}{p \cdot R_n}; \quad \varphi = \arctg \frac{X_{L(\text{рас.})}}{r_{\phi}};$$

$r_{\phi} = r_{\text{тр.}(\text{общ.})} + 2 \cdot r_{\text{пр.}(\text{вентиль})}$  – общее сопротивление потерь (активное сопротивление потерь трансформатора и потери на одном плече мостовой схемы)

$$p = 2; \quad R_{n(\text{ном.})} = \frac{U_{03}}{I_{03}} = \frac{11,67}{0,55} = 22 \text{ (Ом)};$$

- определяем общее сопротивление потерь трансформатора:

$$r_{гр.(общ)} = 0,5 \cdot r_{гр.} \left( 1 + \frac{P_{3тип.}}{P_{тип.(общ)}} \right),$$

$P_{3тип.} = 0,707 \cdot D \cdot B \cdot P_{03} = 0,707 \cdot 1,2 \cdot U_{03} \cdot I_{03} = 0,707 \cdot 2 \cdot 11,67 \cdot 0,55 = 9,1$  (Вт).  
Предварительно принимая  $B = 1$ ;  $D = 2$ ;  $F = 6,5$ .

$$P_{тип.(общ.)} = P_{2тип.} + P_{3тип.} + P_{4тип.} = 40,0 \cdot 2,94 + 9,1 + 115,0 \cdot 2,94 = 210,0 \text{ (Вт)}.$$

Определяем сопротивление потерь трансформатора:

$$r_{мп.} = k_r \frac{U_{03} \cdot 10^{-3}}{I_{03} \cdot f_{сети} \cdot B} \sqrt[4]{\frac{S \cdot f_{сети} \cdot B}{U_{03} \cdot I_{03}}},$$

где  $k_r = 3,5 \cdot 10^3$  (таблица 1.5 приложения) – для однофазной мостовой с ёмкостной реакцией нагрузки;  $B = 1,35$  Тл - величина магнитной индукции (таблица 1.1 приложения);  $S = 1$  – число стержней в трансформаторе;  $f_{сети} = 50,0$  Гц.

$$r_{тр.} = 3,5 \cdot 10^3 \frac{11,67 \cdot 10^{-3}}{0,55 \cdot 50 \cdot 1,35} \sqrt[4]{\frac{1 \cdot 50 \cdot 1,35}{11,67 \cdot 0,55}} = 1,98 \text{ (Ом)}.$$

При наличии дополнительных обмоток ( $W_2, W_4$ ) активные потери по данной обмотке уменьшаются, вследствие уменьшения потерь «перемагничивания».

$$r_{мп.(общ.)} = 0,5 \cdot r_{мп.} \left( 1 + \frac{P_{2мин.}}{P_{мин.(общ.)}} \right) = 0,5 \cdot 1,98 \left( 1 + \frac{9,1}{210} \right) = 1,03 \text{ (Ом)}$$

- величина внутреннего активного сопротивления состоит из прямого сопротивления вентиля и активного сопротивления обмоток трансформатора.

$$r_{\phi} = r_{мп.(общ.)} + 2r_{пр.(вент.)} = 1,03 + 2 \frac{1,0}{0,5 \cdot 0,55} = 1,03 + 7,27 = 8,3 \text{ (Ом)},$$

где  $r_{пр.(вент.)} = \frac{U_{пр.(вент.)}}{0,5 \cdot J_{03}}$  - прямое сопротивление диода типа Д226Д.

- определяем величину коэффициента  $A$ :

$$A = \frac{\pi \cdot r_{\phi}}{p \cdot R_n} = \frac{3,14 \cdot 8,3}{2 \cdot 22,0} = 0,59 \approx 0,6,$$

где  $\pi = 3,14$ ,  $p = 2$  (для однофазной мостовой схемы выпрямления);

$R_n = \frac{U_{03}}{I_{03}} = \frac{11,67}{0,55} = 22$  (Ом) – номинальное значение сопротивления нагрузки.

- определяем величину угла  $\varphi$  (угол сдвига фаз):

$$\varphi = \arctg \frac{X_{L(рас.)}}{r_{\phi}},$$

где  $r_{\phi} = 8,3$  Ом – общее сопротивление потерь по данной схеме выпрямления;

$X_{L(рас.)} = 2\pi \cdot f \cdot L_{(рас.)}$  – индуктивное сопротивление рассеяния трансформатора.

- величина индуктивности рассеяния определяется:

$$L_{(рас.)} = \frac{U_{03} \cdot 10^{-5}}{I_{03} \cdot f_{сети} \cdot B} \sqrt[4]{\frac{S^3 \cdot U_{03} \cdot I_{03}}{f_{сети} \cdot B}} k_L,$$

где  $f_{\text{сети}} = 50$  Гц;  $B = 1,35$  Тл – магнитная индукция;  $S = 1$  – число стержней трансформатора;  $k_L = 5 \cdot 10^2$  (таблица 1.5 приложения) – для однофазной мостовой схемы выпрямления с емкостной реакцией якоря.

$$L_{(\text{рас.})} = \frac{11,67 \cdot 10^{-5}}{0,55 \cdot 50 \cdot 1,35} \sqrt[4]{\frac{1^3 \cdot 11,67 \cdot 0,55}{50 \cdot 1,35}} \cdot 5 \cdot 10^2 = 0,8727 \cdot 10^{-3} (\text{Гн})$$

- определяем величину индуктивного сопротивления рассеяния:

$$X_{L(\text{рас.})} = 2\pi \cdot f L_{(\text{рас.})} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,873 \cdot 10^{-3} = 0,274 (\text{Ом}).$$

- определяем величину угла сдвига фаз:

$$\varphi = \arctg \frac{X_{L(\text{рас.})}}{r_{\phi}} = \arctg \frac{0,274}{8,3} = \arctg 0,033, \varphi = 1,89^\circ = 1,9^\circ.$$

Согласно графиков, представленных на рис. 1.12, 1.13, 1.14 и 1.15 для  $A = 0,6$  и  $\varphi = 1,9^\circ$  имеем  $B = 1,33$ ,  $D = 1,88$ ,  $F = 4,7$ ,  $H = 800$ .

Уточняем параметры трансформатора с учетом полученных коэффициентов:

- действующее значение напряжения вторичной обмотки  $U_3 = B \cdot U_{03} = 1,33 \cdot 11,67 = 15,5$  (В);

- действующее значение тока вторичной обмотки  $I_3 = 0,707 \cdot D \cdot I_{03} = 0,707 \cdot 1,88 \cdot 0,55 = 0,731 = 0,73$  (А);

- типовая мощность трансформатора  $P_{3\text{тип.}} = 0,707 \cdot D \cdot B \cdot U_{03} \cdot I_{03} = 0,707 \cdot 1,88 \cdot 1,33 \cdot 11,67 \cdot 0,55 = 11,34$  (Вт).

#### 4. Расчет силового трансформатора.

Данные для расчета трансформатора питания получили в результате расчета выпрямителей постоянного напряжения (нестабилизованного и стабилизированного) и исходных данных по нестабилизированному переменному напряжению.

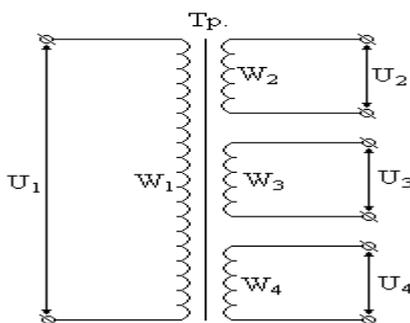


Рис. 4.1. Схема силового трансформатора

Исходные данные для расчета.

1. Первичный источник питания: переменное напряжение (однофазное)  $U_1 = 220,0$  В, промышленной частоты – 50,0 Гц.
2. Действующее значение напряжения на вторичной обмотке ( $W_2$ )  $U_2 = 40,0$
3. Номинальный ток нагрузки  $I_{2(\text{ном})} = 2,94$  А.
4. Типовая мощность трансформатора  $P_{2\text{тип}} = 117,6$  Вт.

5. Действующее значение напряжения на вторичной обмотке ( $W_3$ ):  $U_3 = 15,5$  В.
6. Номинальный ток нагрузки  $I_{2(н)} = 0,73$  А.
7. Типовая мощность трансформатора  $P_{3тип} = U_3 \cdot I_3 = 15,5 \cdot 0,73 = 11,3$  Вт.
8. Действующее значение напряжения на вторичной обмотке ( $W_4$ ) –  $U_4 = 115,0$  В.
9. Номинальный ток нагрузки  $I_{4(ном)} = 0,7$  А.
10. Типовая мощность трансформатора  $P_{4тип} = U_4 \cdot I_{4(ном)} = 115,0 \cdot 0,7 = 80,5$  Вт

#### 4.1. Определение и выбор типа магнитопровода трансформатора:

- определяем общую типовую мощность силового трансформатора.  
 $P_{тип(общ)} = P_{1тип} = P_{2тип} + P_{3тип} + P_{4тип} = 117,6 + 11,3 + 80,5 = 210,0$  Вт.
- действующее значение тока первичной обмотки трансформатора

$$U_1 \cdot I_1 = P_{ти}; \quad \text{откуда:} \quad I_1 = \frac{P_{тип.(общ)}}{U_1} = \frac{210,0}{220,0} = 0,96 \text{ А}$$

По заданной типовой мощности трансформатора, конфигурации магнитопровода и марки стали пластин выписываем исходные данные для определения  $S_{ст} \times S_{окн}$  из таблицы 1.1 приложения А (СТР.63):

- конфигурация магнитопровода – броневая, (пластинчатая).
- марка стали пластин – Э-42, толщина пластин – 3,5 (мм).
- $P_{тип(общ)}$  трансформатора = 210 Вт.
- $B = 1,35$  Тл – магнитная индукция;
- $\delta = 1,7$  амп/мм<sup>2</sup> – плотность тока;
- $k_M = 0,348$  – коэффициент заполнения обмотки медью;
- $k_{ст} = 0,91$  – коэффициент заполнения сечения магнитопровода сталью.
- $\eta = 0,9$  – коэффициент полезного действия.

- определяем величину произведения сечения сердечника на сечение окна магнитопровода:

$$S_{ст.} \times S_{окн.} = \frac{P_{тип.(общ)} \cdot 10^2}{1,11 \left(1 + \frac{1}{\eta}\right) f_{сети} \cdot B \cdot \delta \cdot k_M \cdot k_{ст.}} =$$

$$= \frac{210 \cdot 10^2}{1,11 \left(1 + \frac{1}{0,9}\right) 50,0 \cdot 1,35 \cdot 1,7 \cdot 0,348 \cdot 0,91} = 247,0$$

$$S_{ст} \times S_{окна} = 247,0 \text{ см}^4.$$

По полученному значению  $S_{ст} \times S_{окна}$  и пользуясь данными таблицы 1.9 приложения А выбираем нужный тип магнитопровода, выписываем его геометрические размеры и отдельные параметры:

- типоразмер магнитопровода Ш32×32 (броневой, пластинчатый).
- геометрические размеры (см.рис.1.11 приложения Б):

$a = 32,0$  (мм);  $b = 32,0$  (мм);  $c = 32,0$  (мм);  $h = 80,0$  (мм);  
 $C = 128,0$  (мм);  $H = 112,0$  (мм);  $S_{ст} \times S_{окна} = 261,0$  (см<sup>4</sup>);  
 -  $S_{ст} = 9,32$  см<sup>2</sup> (активная площадь сечения среднего сечения стержня);  
 -  $G_{ст} = 2,02$  кг – вес магнитопровода;  
 -  $Y_{ст(акт)} = 245,0$  см<sup>3</sup> (активный объём магнитопровода);  
 $n = 83$  – число пластин типа Э – 32 магнитопровода.

#### 4.2. Обоснование правильности выбора типа магнитопровода трансформатора:

- определяем полные потери в стали (активные) в режиме холостого хода.

$$P_{(ст)} = p_{ст} \cdot G_{ст} = 3,8 \text{ Вт/кг} \cdot 2,02 \text{ кг} = 7,68 \text{ Вт},$$

где  $p_{ст}$  – удельные потери в стали, определяются по данным таблицы 1.2 приложения (для  $B = 1,35$  Тл  $p_{ст} = 3,8$  Вт/кг).

- активная составляющая тока холостого хода первичной обмотки

$$I_{1(хх)акт.} = \frac{P_{ст.}}{U_1} = \frac{7,68}{220} = 0,0349 \text{ (А)}.$$

- величина намагничивающей мощности трансформатора в режиме холостого хода:

$$Q_{ст} = q_{ст} \cdot G_{ст} = 40 \text{ Вт/кг} \cdot 2,02 \text{ кг} = 80,8 \text{ Вт},$$

где  $q_{ст}$  – удельная намагничиваемая мощность трансформатора (см. таблицу 1.2 приложения, для  $B = 1,35$  Тл),  $G_{ст}$  – вес магнитопровода.

- величина реактивной составляющей тока холостого хода первичной обмотки определяется:

$$I_{1(хх)р} = \frac{Q_{ст.}}{U_1} = \frac{80,8}{220} = 0,367 \text{ (А)},$$

где  $U_1$  – напряжение на первичной обмотке трансформатора.

- величина полного тока холостого хода:

$$I_{1(хх)полн.} = \sqrt{I_{1(хх)акт.}^2 + I_{1(хх)р}^2} = \sqrt{0,0349^2 + 0,367^2} = 0,369 \text{ (А)}.$$

- относительное значение тока холостого хода:

$$I_{1(хх)акт.} (\%) = \frac{I_{1(хх)полн.}}{I_{1(ном.)}} 100\% = \frac{0,369}{0,96} 100\% = 38,4\%,$$

где  $I_{1(н)}$  - действующее значение тока первичной обмотки при номинальной нагрузке.

Если величина  $I_{1(х.х)полн}(\%)$  при частоте сети  $f_c = 50,0$  Гц лежит в пределах  $30 \div 50$ , а при  $f_{сети} = 400$  Гц – в пределах  $5 \div 15$ , то выбор магнитопровода на этой стадии расчёта можно считать окончанным.

Если же  $I_{1(x.x)полн}(\%)$  превышает указанные выше верхние пределы, то следует уменьшить индукцию в сердечнике; при  $I_{1(x.x)полн}(\%)$ , меньше нижних пределов, индукцию следует увеличить.

### 4.3. Расчет по определению намоточных данных трансформатора.

Определение числа витков обмоток трансформатора производится по формулам:

$$W_1 = \frac{U_1 \left(1 + \frac{\Delta U_1 \%}{100}\right) 10^4}{4,44 \cdot f_{сети} \cdot B \cdot S_{ст.}};$$

$$W_{n(для втор. обм.)} = \frac{U_n \left(1 + \frac{\Delta U_2 \%}{100}\right) 10^4}{4,44 \cdot f_{сети} \cdot B \cdot S_{ст.}}$$

где  $U_1$  – действующее значение напряжения на первичной обмотке;  $U_n$  – действующее значение напряжения соответствующей вторичной обмотке;  $f_{сети} = 50,0$  Гц;  $B = 1,35$  Тл;  $S_{ст} = 9,32$  см<sup>2</sup>;  $\Delta U_1 \% = 3,8$ ;  $\Delta U_n (вторичн.) = 7,0$  % (по данным таблицы 1.3 приложения А, для  $P_{тип(общ)} = 210,0$  Вт;  $f_{сети} = 50,0$  Гц.

Число витков первичной обмотки:

$$W_1 = \frac{220,0 \left(1 + \frac{3,8}{100}\right) 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,35 \cdot 9,32} = 818 \text{ (ВИТКОВ).}$$

Число витков для вторичной обмотки:

$$W_2 = \frac{40,0 \left(1 + \frac{7,0}{100}\right) 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,35 \cdot 9,32} = 154 \text{ (ВИТКА).}$$

Число витков третьей обмотки:

$$W_3 = \frac{15,5 \left(1 + \frac{7}{100}\right) 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,35 \cdot 9,32} = 60 \text{ (ВИТКОВ).}$$

Число витков четвертой обмотки:

$$W_4 = \frac{115 \left(1 + \frac{7,0}{100}\right) 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,35 \cdot 9,32} = 441 \text{ (ВИТКОВ).}$$

#### 4.3.1. Расчет и выбор типа намоточных проводов обмоток трансформатора:

- определяем необходимую площадь сечения проводов по формуле:

$$S_{пр.} = \frac{I}{\delta} \text{ (мм}^2\text{)},$$

где  $I$  – действующее значение тока соответствующей области;  $\delta = 1,7$  (А/мм<sup>2</sup>) – плотность тока, определяется по таблице 1.1 приложения А (для  $P_{тип.общ.} = 210,0$ ;  $\delta = 1,7$  А/мм<sup>2</sup>).

- по полученным данным выбираем стандартные сечения и диаметры проводов (таблица 1.10 приложения А), после чего уточняем фактические плотности тока в обмотках по формуле:  $\delta_{(факт.)} = \frac{I}{S_{пр.(станд.)}}$ , полученные данные заносим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Обмотка		S <sub>пр., мм<sup>2</sup></sub>	ПЭВ-1			
W	I, А		S <sub>стали, мм<sup>2</sup></sub>	d/d <sub>из</sub>	q <sub>пр., Г/М</sub>	δ <sub>факт</sub>
W <sub>1</sub>	0,96	0,5647	0,5809	0,86/0,92	5,15	1,65
W <sub>2</sub>	2,94	1,7294	1,767	1,5/1,58	15,7	1,66
W <sub>3</sub>	0,73	0,4294	0,4301	0,74/0,8	3,82	1,7
W <sub>4</sub>	0,7	0,4118	0,4301	0,74/0,8	3,82	1,7

#### 4.3.2. Расчет числа витков в одном слое, число слоев обмоток трансформатора, высота намотки обмоток:

По первичной обмотке трансформатора (число витков  $W_1 = 818$ ; намоточный провод ПЭВ-1,  $d_{из} = 0,92$ (мм) – диаметр провода с изоляцией):

- определяем допустимую осевую длину намотки:

$$h_{доп} = h - 5,0 = 80 - 5 = 75 \text{ (мм)},$$

где:  $h$  – высота окна магнитопровода ( $h_{доп}$  – является общей для всех обмоток);

- определяем число витков в одном слое и число слоёв первичной обмотки:

$$W_{C1} = \frac{h_d}{K_y d_{(из)}} = 74 \text{ (витка)}$$

$$N_1 = \frac{W_1}{W_{C1}} = 12,0 \text{ (слоев)}$$

где:  $h_d$  - допустимая осевая намотка.,  $d_{(из)}$  - диаметр провода ПЭВ-1 с изоляцией, выбранной для первичной обмотки;  $K_y = (1,07-1,15)$  – коэффициент укладки, зависящий от диаметра провода намотки.

- высота намотки первичной обмотки:

$$\alpha_1 = N_1 K_y d_{(из)} + (N_1 - 1) \Delta_{(из1)} = 13,464 \text{ мм}$$

где:  $N_1$  – число слоев обмотки;  $K_y$  - коэффициент укладки;  $\Delta_{(из)} = 0,12$  мм – межслоевая изоляция (кабельная бумага толщиной  $\Delta_{(из)} = 0,12$  мм).

- определяем высоту намотки обмотки трансформатора-  $W_2$  :

Число витков  $W_2 = 154$ ; намоточный провод ПЭВ-1,  
 $d_{(из)} = 1,58$  мм – диаметр провода с изоляцией; в качестве межслоевой  
 изоляции используем телефонную бумагу  $\Delta_{(из)} = 0,05$  мм;  
 $\alpha_2 = N_2 K_y d_{(из)} + (N_2 - 1) \Delta_{(из2)} = 7,102$  мм

где:  $W_{C2} = \frac{h_d}{K_y d_{(из)}} = 41$  (виток);  $N_2 = \frac{W_2}{W_{C2}} = 4$  (слоя)

- высота намотки третьей обмотки  $W_3$ :

Число витков  $W_3 = 60$ ; намоточный провод ПЭВ-1,  
 $d_{(из)пр} = 0,8$  мм – диаметр провода с изоляцией; в качестве межслоевой  
 изоляции используем телефонную бумагу  $\Delta_{(из)} = 0,05$  мм;  
 $\alpha_3 = N_3 K_y d_{(из)} + (N_3 - 1) \Delta_{(из3)} = 0,8$  мм

где:  $W_{C3} = \frac{h_d}{K_y d_{(из)}} = 85$  (витков);  $N_3 = \frac{W_3}{W_{C3}} = 1,0$  (слой)

- высота намотки четвертой обмотки  $W_4$

Число витков  $W_4 = 441$ ; намоточный провод ПЭВ-1,  
 $d_{(из)пров} = 0,8$  мм. – диаметр провода с изоляцией; в качестве межслоевой  
 изоляции используем телефонную бумагу  $\Delta_{(из)} = 0,05$  мм;  
 $\alpha_4 = N_4 K_y d_{(из)} + (N_4 - 1) \Delta_{(из4)} = 5,53$  мм

где:  $W_{C4} = \frac{h_d}{K_y d_{(из)}} = 85$  (витков);  $N_4 = \frac{W_4}{W_{C4}} = 6,0$  (слоёв)

$\Delta_{(из4)}$  - телефонная бумага;

- полная высота намотки обмоток трансформатора:

$\alpha = \Delta_{(з)} + \Delta_{(к)} + \alpha_1 + \alpha_{12} + \alpha_2 + \alpha_{23} + \alpha_3 + \alpha_{34} + \alpha_4 + \alpha_{40} = 29,9$  мм

где:  $\Delta_{(з)} = 0,5$  мм - зазор между внутренней частью каркаса (гильзы) и  
 сердечником;  $\Delta_{(к)} = 1,5$  мм – толщина каркаса

$\alpha_1 + \alpha_{12} + \alpha_2 + \alpha_{23} + \alpha_3 + \alpha_{34} + \alpha_4 + \alpha_{40} = 0,24$  - толщина межблочной изоляции;  
 (кабельная бумага толщиной 0,12 мм (2слоя)).

- определяем величину зазора между катушкой и сердечником:

$L_{\text{заз}} = C - \alpha = 2,1$  мм

Катушка нормально размещается в окне сердечника, если  $C - \alpha > (2 - 4)$  мм.

Если полученный зазор меньше чем 2 мм, то следует либо увеличить  
 индукцию, либо подобрать провода меньших диаметров.

#### 4.3.3. Определение веса меди обмоток трансформатора.

Вес меди в каждой обмотке определяется:

$$G_M = l_{\text{ср(витка)}} W g_{\text{пр}} 10^{-3} \text{ кг}$$

где:  $G_M$  – вес меди обмотки;  $W$  – число витков обмотки;  
 $g_{пр}$  – вес 1м намоточного провода (г/м).

$l_{ср(витка)}$  – средняя длина витка обмотки;

- средняя длина витка первой обмотки  $l_{ср(в1)}$ :

$$l_{ср(в1)} = 2 \cdot 10^{-3} (a_k + b_k + \pi r_1) \\ = 2 \cdot 10^{-3} (36 + 36 + 3,14 \frac{13,464}{2}) = 2 \cdot 10^{-3} 186,26 \approx 0,187 \text{ (м)};$$

где:  $a_k = a + \Delta_k = 32 + 4 + 36$  мм,  $b_k = b + \Delta_k = 32 + 4 = 36$  мм,  $\Delta_k \approx 1 \div 2$  мм – толщина каркаса (гильзы)

$$r_1 = \frac{\alpha_1}{2}.$$

- средняя длина витка второй обмотки  $l_{ср(в2)}$ :

$$l_{ср(в2)} = 2 \cdot 10^{-3} (a_k + b_k + \pi r_2) = 2 \cdot 10^{-3} [a_k + b_k + \pi (\alpha_1 + \alpha_{12} + \frac{\alpha_2}{2})] \\ = 2 \cdot 10^{-3} (36 + 36 + 3,14 (13,76 + 0,24 + 7,1/2)) = 2 \cdot 10^{-3} 127,11 \approx 0,254 \text{ м}$$

где:  $\alpha_{12} = 0,24$  мм – толщина межслоевой изоляции;

$\alpha_2 = 7,1$  мм – высота намотки второй обмотки.

- средняя длина витка третьей обмотки  $l_{ср(в3)}$ :

$$l_{ср(в3)} = 2 \cdot 10^{-3} (a_k + b_k + \pi r_3) = 2 \cdot 10^{-3} [a_k + b_k + \\ + \pi [\alpha_1 + \alpha_{12} + \alpha_2 + \alpha_{22} + \frac{\alpha_3}{2}]] = 2 \cdot 10^{-3} [72 + 3,14 (13,46 + \\ + 0,24 + 7,1 + 0,24 + 0,8/2)] = 2 \cdot 10^{-3} (72 + 3,14 \times 21,44) = \\ = 2 \cdot 10^{-3} 139,32 \approx 0,279 \text{ (м)}$$

где:  $\alpha_1 = 13,46$  мм;  $\alpha_{12} = \alpha_{22} = 0,24$  мм;  $\alpha_2 = 7,1$  мм;  $\alpha_3 = 0,8$  мм

- средняя длина витка четвертой обмотки:

$$l_{ср(в4)} = 2 \cdot 10^{-3} (a_k + b_k + \pi r_4) = 2 \cdot 10^{-3} [a_k + b_k + \\ + \pi [\alpha_1 + \alpha_{12} + \alpha_2 + \alpha_{22} + \alpha_3 + \alpha_{33} + \frac{\alpha_4}{2}]] = \\ = 2 \cdot 10^{-3} [72 + 3,14 (13,46 + 0,24 + 7,1 + 0,24 + 0,8 + 0,24 + \\ + \frac{5,53}{2})] = \\ 2 \cdot 10^{-3} (72 + 3,14 \times 24,85) = 2 \cdot 10^{-3} (72 + 78,03) = \\ = 0,3 \text{ (м)}$$

- вес меди первой обмотки:

$$G_{M1} = l_{ср(в1)} W_1 g_{пр1} 10^{-3} \text{ кг} = 0,187 \times 818 \times 5,15 10^{-3} = 0,79 \text{ (кг)}$$

- вес меди второй обмотки:

$$G_{M2} = l_{ср(в2)} W_2 g_{пр2} 10^{-3} = 0,254 \times 154 \times 15,7 = 0,615 \text{ (кг)}$$

- вес меди третьей обмотки:

$$G_{M3} = l_{cp.(B3)} W_3 g_{пр3} 10^{-3} = 0,279 \times 60 \times 3,82 = 0,064 \text{ (кг)}$$

- вес меди четвертой обмотки:

$$G_{M4} = l_{cp.(B4)} W_4 g_{пр4} 10^{-3} = 0,3 \times 441 \times 3,82 = 0,506 \text{ (кг)}$$

#### 4.3.4. Определение потерь в «меди» обмоток трансформатора.

Потери в «меди» в каждой обмотке определяем по формуле:

$$P_M = \rho \delta_{(факт)}^2 G_M$$

где:  $\rho = 2,7$  – температурный коэффициент, при температуре  $105^\circ\text{C}$   $\rho = 2,7$ .  
 $\delta_{(факт)}$  – фактическая плотность тока обмотки;  $G_M$  (кг) – вес меди обмотки.

$$P_{M1} = \rho \cdot \delta_{(факт.1)}^2 \cdot G_{M1} = 2,7 \cdot 1,65^2 \cdot 0,79 = 5,8 \text{ (Вт)},$$

$$P_{M2} = \rho \cdot \delta_{(факт.2)}^2 \cdot G_{M2} = 2,7 \cdot 1,66^2 \cdot 0,612 = 4,55 \text{ (Вт)},$$

$$P_{M3} = \rho \cdot \delta_{(факт.3)}^2 \cdot G_{M3} = 2,7 \cdot 1,7^2 \cdot 0,064 = 0,5 \text{ (Вт)},$$

$$P_{M4} = \rho \cdot \delta_{(факт.4)}^2 \cdot G_{M4} = 2,7 \cdot 1,7^2 \cdot 0,506 = 3,95 \text{ (Вт)}.$$

Общие потери мощности в «меди» обмоток трансформатора:

$$P_{M(общ.)} = P_{M1} + P_{M2} + P_{M3} + P_{M4} = 5,8 + 4,55 + 0,5 + 3,95 = 14,8 \text{ (Вт)}.$$

#### 4.3.5. Расчет сопротивлений обмоток трансформатора.

Производится согласно формуле:

$$r = \frac{2,35 \cdot 10^{-2} \cdot l_{cp.(B)} \cdot W}{S_{пр.(станд.)}} \text{ (Ом)},$$

где  $l_{cp.(B)}$  – средняя длина витка (м),  $W$  – число витков в обмотке,  $S_{пр.(станд.)}$  – площадь сечения выбранного намоточного провода ( $\text{мм}^2$ ).

$$- r_1 = \frac{2,35 \cdot 10^{-2} \cdot 0,187 \cdot 818}{0,5809} = 6,19 \text{ (Ом)},$$

$$- r_2 = \frac{2,35 \cdot 10^{-2} \cdot 0,253 \cdot 154}{1,7670} = 0,52 \text{ (Ом)},$$

$$- r_3 = \frac{2,35 \cdot 10^{-2} \cdot 0,253 \cdot 60}{0,4301} = 0,92 \text{ (Ом)},$$

$$- r_4 = \frac{2,35 \cdot 10^{-2} \cdot 0,253 \cdot 441}{0,4301} = 7,23 \text{ (Ом)}.$$

#### 4.3.6. Расчет фактического падения напряжения в каждой обмотке.

Фактическое падение напряжения на обмотках определяется по формуле:

$$\Delta U(\%) = \frac{I \cdot r}{U} 100\% ,$$

где  $\Delta U(\%)$  – относительное падение напряжения на обмотке,  $I$  – действующее значение (номинальное) тока обмотки,  $U$  – действующее значение напряжения на обмотке.

$$\Delta U_1(\%) = \frac{I_1 \cdot r_1}{U_1} 100\% = \frac{0,96 \cdot 6,19}{220} 100\% = 2,7\% ,$$

$$\Delta U_2(\%) = \frac{I_2 \cdot r_2}{U_2} 100\% = \frac{2,94 \cdot 0,52}{40} 100\% = 3,8\% ,$$

$$\Delta U_3(\%) = \frac{I_3 \cdot r_3}{U_3} 100\% = \frac{0,73 \cdot 0,92}{15,5} 100\% = 4,4\% ,$$

$$\Delta U_4(\%) = \frac{I_4 \cdot r_4}{U_4} 100\% = \frac{0,7 \cdot 7,23}{115,0} 100\% = 4,4\% .$$

Полученные значения  $\Delta U(\%)$  близки к предварительно принятым. Число витков во второй обмотке (вторичной), питающей нестабилизированный выпрямитель напряжения, целесообразно уменьшить на 2% (т.е. до  $154 \cdot 0,98 = 151$ ).

#### 4.4. Расчет теплового режима трансформатора (броневое, пластичное) типа Ш32×32.

Величина температуры перегрева трансформатора определяется по графику рис. 1.8 приложения Б.

$$\Delta \tau = f(q_m, \text{типоразмер магнитопровода}),$$

где  $\Delta \tau$  - температура перегрева ( $^{\circ}\text{C}$ );  $q_m$  – удельная поверхностная нагрузка катушки ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) и определяется по формуле:

$$q_m = \frac{P_{M(\text{общ.})}}{S_{\text{охл.меди}}},$$

где  $P_{M(\text{общ.})} = 14,8$  Вт;

$$S_{\text{охл.меди}} = h_{\text{доп.}} \cdot l_{\text{нар.}(катушки)} = 75 \cdot 317,4 = 23805 \text{ мм}^2;$$

$$h_{\text{Д}} = h - 5,0 = 75,0 \text{ мм};$$

$$l_{\text{нар.}(катушки)} = 2\pi \cdot r_{\text{кат.}(нар.)} = 50,54 \cdot 6,28 = 317,4 \text{ мм};$$

$$r_{\text{кат.}(нар.)} = r_{\text{карк.}} + \alpha = 72/3,14 + 27,61 = 50,54 \text{ мм};$$

$$\text{где } r_{\text{карк.}} = (a_k + b_k)/\pi$$

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_{12} + \alpha_2 + \alpha_{23} + \alpha_3 + \alpha_{34} + \alpha_4 = 13,46 + 0,24 + 7,1 + 0,24 + 0,8 + 0,24 + 5,53 = 27,61 \text{ (мм)};$$

$$q_m = \frac{14,8}{0,023805} = 621,7 \text{ (Вт/м}^2\text{)}.$$

Для магнитопровода Ш32×32 при  $q_m = 622$   $\Delta\tau = 42^\circ\text{C}$ .

Допустимая температура охлаждающей среды  $t^\circ\text{C}_{(\text{окр.})} = 105^\circ\text{C} - \Delta\tau = 105 - 42 = 63^\circ\text{C}$ .

#### 4.5. Расчет коэффициента полезного действия ( $\eta$ ).

КПД трансформатора определяется по формуле:

$$\eta(\%) = \frac{P_{\text{тип.}(общ.)} - P_{\text{пот.}(общ.)}}{P_{\text{тип.}(общ.)}} 100\% ,$$

где  $P_{\text{тип.}(общ.)} = 210,0$  Вт;  $P_{\text{пот.}(общ.)} = P_{M(\text{общ.})} + P_{\text{ст.}} = 7,68 + 14,8 = 22,48$ , где  $P_{M(\text{общ.})} = 14,8$  Вт – потери мощности в меди,  $P_{\text{ст.}} = 7,68$  Вт – потери на перемагничивание.

$$\eta(\%) = \frac{210 - 22,48}{210} 100\% = 89,3\% .$$

#### 4.6. Вес, габаритные размеры трансформатора.

$$G = G_{\text{ст.}} + G_{M(\text{общ.})},$$

где  $G_{\text{ст.}}$  – вес магнитопровода (кг),  $G_{M(\text{общ.})}$  – вес меди проводов (кг).

$$G_{ст.} = 2,02 \text{ кг}; G_{М(общ.)} = G_{М1} + G_{М2} + G_{М3} + G_{М4} = 0,79 + 0,612 + 0,064 + 0,506 = 1,972 \text{ (кг)}.$$

$$G = 1,972 + 2,02 = 4,0 \text{ (кг)}.$$

Габаритные размеры:

$$C \times H \times (b_k + 2\alpha); 128 \times 128 \times 95,8, \text{ где } C = 128 \text{ Ом} \cdot \text{м}, H = 128 \text{ Ом} \cdot \text{м}, b_k = b + 2(\Delta 3 + \Delta K) = 36 \text{ мм}, \alpha = 29,9, b_k + 2\alpha = 36,0 + 29,9 \cdot 2 = 95,8.$$

На этом расчет трансформатора заканчивается.

### 5. Исходные данные для выполнения курсовой работы по расчёту источников вторичного электропитания

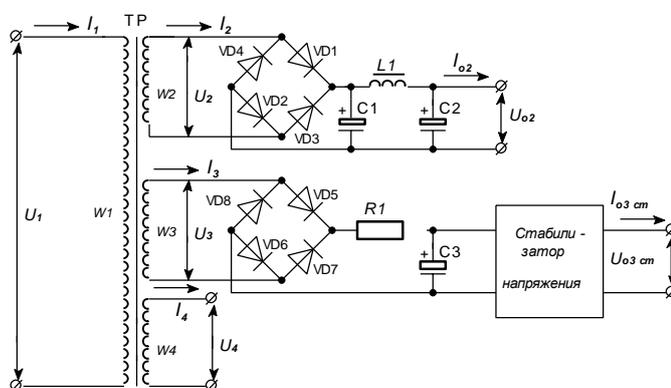


Рис.5.1. Принципиальная схема источника вторичного электропитания

В таблице 5 приведены исходные данные по расчёту выпрямительного устройства

Таблица 5.1

№ №	W2		W3			$k'_{п}$	W4	
	$U_{o2}$	$I_{o2}$	$U_{30ст}$	$I_{30ст}$	$\Delta U_{o3ст}$		$U_4$	$I_4$
	(В)	(А)	(В)	(А)	%		(В)	(А)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	30	3	7,5	0,4	$\pm 0,3$	6,7	115	0,7
2	29,5	3,05	7,4	0,41	$\pm 0,4$	6,8	113	0,71
3	29,0	3,1	7,3	0,41	$\pm 0,5$	6,9	110	0,73
4	28,5	3,16	7,2	0,42	$\pm 0,6$	7,0	107	0,75
5	28,0	3,21	7,1	0,42	$\pm 0,7$	7,1	105	0,76
6	27,5	3,27	7,0	0,43	$\pm 0,8$	7,2	103	0,78
7	27,0	3,33	6,9	0,43	$\pm 0,9$	7,3	100	0,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	26,5	3,40	6,8	0,44	$\pm 1,0$	7,4	97	0,83
9	26,0	3,46	6,7	0,45	$\pm 1,1$	7,5	95	0,85
10	25,5	3,53	6,6	0,45	$\pm 1,2$	7,6	92	0,87
11	25,0	3,60	6,5	0,46	$\pm 1,3$	7,7	90	0,89
12	24,5	3,67	6,4	0,47	$\pm 1,4$	7,8	87	0,92

13	24,0	3,75	6,3	0,47	$\pm 1,5$	7,9	85	0,95
14	23,5	3,83	6,2	0,48	$\pm 1,6$	8,0	82	0,98
15	23,0	3,91	6,1	0,49	$\pm 1,7$	8,1	80	1,0

где  $U_1 = 220$  В – переменное напряжение промышленной частоты  $f_c = 50$  Гц;  
 $I_1$  – ток первичной обмотки нагруженного источника вторичного электропитания;  $U_{02}$  – величина выпрямленного напряжения на выходе  $LC$  – фильтра;  $I_{02}$  – номинальный ток нагрузки выпрямителя нестabilизированного;  
 $U_{30ст}$  – величина выпрямленного напряжения на выходе стабилизатора напряжения;  $I_{30ст}$  – номинальный ток нагрузки на выходе стабилизатора напряжения;  $\Delta U_{03ст}$  – допустимые пределы изменения выходного напряжения стабилизатора;  $k'_n$  – допустимый коэффициент пульсаций на выходе  $RC$  и  $LC$  – фильтров.

1. Обосновать применение мостовой схемы выпрямления и применение  $RC$  и  $LC$  – фильтров.
2. Выполнить электрический расчёт по определению элементной базы выпрямителей.
3. Выполнить электрический и конструктивный расчёт силового трансформатора ТР.

#### 4. ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. - М.: Высшая школа, 1991 —622 с.
3. Белов В.Я., Писарев В.А. Электропитание судовых радиоустройств. – М.: Транспорт, 1988. – 167 с.
4. Жеребцов И.П. Основы электроники. - М.: Энергоатомиздат, 1989.-352 с.
5. Справочник судового электромеханика. Т. 1-2 /Под ред. Г.И. Китаенко. - Л: Судостроение, 1980.
6. Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.
7. И.И.Белопольский. Источники питания радиоустройств Москва: Энергия, 1976, 311 с.

Приложение А

Таблица 1.1

№	к <sub>ст</sub>		P, Вт				
			15-50	50-150	150-300	300-1000	1000-2500
1	0,91	В, Тл	1,3	1,3-1,35	1,35	1,35-1,2	–
		δ, а/мм <sup>2</sup>	5-3,8	3,8-1,9	1,9-1,3	1,3-1,1	–
		к <sub>М</sub>	0,22-0,28	0,28-0,34	0,34-0,36	0,36-0,38	–
		η	0,5-0,8	0,8-0,9	0,9-0,93	0,93-0,95	–
2	0,85	В, Тл	1,6	1,6-1,45	1,45-1,20	1,2-0,95	0,95-0,8
		δ, а/мм <sup>2</sup>	6-4,5	4,5-3,5	3,5-2,5	2,5-1,5	1,5-1,2
		к <sub>М</sub>	0,21-0,25	0,25-0,28	0,28-0,30	0,30-0,37	0,37-0,38
		η	0,87	0,87-0,94	0,94-0,96	0,96-0,97	0,97

**Примечание:**

Для №1: частота – 50 Гц; конфигурация магнитопровода – броневая (пластичная); марка стали и её толщина – Э-42, 0,35 мм.

Для №2: частота – 400 Гц; конфигурация магнитопровода – броневая (ленточная); марка стали и её толщина – Э-320, 0,15

Таблица 1.2.

№		В, Тл								
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
1	Р <sub>ст</sub> , вт/кг	0,90	1,15	1,47	1,85	2,4	3,2	4,5	–	–
	Ч <sub>ст</sub> , ва/кг	5	7,5	10	15	22,5	35	65	–	–
2	Р <sub>ст</sub> , вт/кг	4,25	6,3	8,0	10	12	14,2	16,5	20	24
	Ч <sub>ст</sub> , ва/кг	22	36	48	68	90	118	114	180	220

**Примечание:**

Для №1: частота – 50 Гц; марка стали и её толщина – Э-42, 0,35 мм.

Для №2: частота – 400 Гц; марка стали и её толщина – Э-320, 0,15 мм.

Таблица 1.3

Частота, Гц	ΔU, %	P <sub>тип</sub> , Вт				
		15-50	50-150	150-300	300-1000	1000-2500
50	ΔU <sub>1</sub> , %	15-5	5-4	4-3	3-1	–
	ΔU <sub>2</sub> , %	20-10	10-8	8-6	6-2	–
400	ΔU <sub>1</sub> , %	8-4	4-1,5	1,5-1	1-0,5	0,5

	$\Delta U_2, \%$	10-5	5-2	2-1,2	1,2-0,5	0,5
--	------------------	------	-----	-------	---------	-----

Таблица 1.4

Типоразмер магнитопровода	0909-0912	1210-1232	1610-1640	2012-2050	2516-2564	3220-3280	4025-40100
Плотность тока, $a/мм^2$	6,6-7,0	4,4-4,7	3,2-3,5	3,05-3,25	2,6-2,9	1,85-2,2	1,65-1,75

Таблица 1.5

Схема выпрямления	$k_r$	$k_L$
Однофазная однополупериодная	$2,3 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^2$
Однофазная двухполупериодная с нулевым выводом	$4,7 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^2$
Однофазная мостовая	$3,5 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^2$
Однофазная двухполупериодная удвоения	$0,9 \cdot 10^3$	$1,25 \cdot 10^2$
Трёхфазная с нулевым выводом	$6,9 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^2$
Трёхфазная мостовая	$4,5 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10$

Таблица 1.6

Схема выпрямления	$k_r$	$k_L$
Однофазная двухполупериодная с нулевым выводом	$6,5 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^2$
Однофазная мостовая	$5,1 \cdot 10^3$	$6,4 \cdot 10^2$
Трёхфазная с нулевым выводом	$6,2 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^2$
Трёхфазная мостовая	$2,5 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^2$

Таблица 1.7

Наименование параметра	Схема выпрямления						
	однополупериодная	двухполупериодная с нулевым выводом	однофазная мостовая	двухполупериодная схема удвоения	трехфазная с нулевым выводом	трехфазная мостовая	
Трансформатор	$U_2^*/U_0$	B	2B	B	0,5B	B	0,576B
	$I_2/I_0$	D	0,5D	0,707D	1,41D	0,33D	0,33D
	$I_2/I_0$	$\frac{1}{k_T} \sqrt{D^2 - 1}$	$\frac{0,707 D}{k_T}$	$\frac{0,707 D}{k_T}$	$1,41 \frac{D}{k_T}$	$\frac{0,816 D}{k_T}$	$0,578 \frac{D}{k_T}$
	$P_{тип}/P_0$	$0,5B(D + \sqrt{D^2 - 1})$	0,85BD	0,707BD	0,707BD	0,908BD	0,576BD
Вентиль	$I_0 B/I_0$	1	0,5	0,5	1	0,33	0,33
	$I_B/I_0$	D	0,5D	0,5D	D	0,33D	0,236D
	$I_{в.макс}/I_0$	F	0,5F	0,5F	F	0,33F	0,33F
	$U_{обр}/I_0$	2,82B	2,82B	1,41B	1,41B	2,44B	1,22B

	Число венти лей	1	2	4	2	3	6
Пульсац.	$f_{от}$	$f_{сети}$	$2f_{сети}$	$2f_{сети}$	$2f_{сети}$	$3f_{сети}$	$6f_{сети}$
	$k_{п}^{**}$	$\frac{H}{rC}$	$\frac{H}{rC}$	$\frac{H}{rC}$	$\frac{H}{rC}$	$\frac{H}{rC}$	$\frac{H}{rC}$

\*Для трехфазной схемы с нулевым выводом и трехфазной мостовой схемы  $U_2$  – фазное напряжение вторичной обмотки. Для этих схем данные приведены при соединении обмоток трансформатора по схеме звезда – звезда.

\*\* При определении коэффициента  $H$  по кривым  $H = f(A)$  значение  $H$  для однополупериодной схемы берется для  $p = 1$ ; для всех остальных однофазных схем  $p = 2$ , для трехфазной  $p = 3$  и для трехфазной мостовой  $p = 6$ .

**Примечание:**  $U_2/U_0$  – действующее значение напряжения вторичной обмотки;  $I_2/I_0$  – действующее значение тока вторичной обмотки;  $I_1/I_0$  – действующее значение тока первичной обмотки;  $P_{тип}/P_0$  – типовая мощность трансформатора;  $I_{0в}/I_0$  – среднее значение тока вентиля;  $I_B/I_0$  – действующее значение тока вентиля;  $I_{B. макс}/I_0$  – амплитудное значение тока вентиля;  $U_{обр}/I_0$  – обратное напряжение на вентиле;  $f_{от}$  – частота основной гармоники;  $k_{п}$  – коэффициент пульсации.

Таблица 1.8

Наименование параметра		Схемы выпрямления			
		двухполупериодная с нулевым выводом	однофазная мостовая	трехфазная с нулевым выводом	трехфазная мостовая
Трансформатор	$U_2^*/U_0$	2,1,11В	1,11В	0,855В	0,42В
	$I_2/I_0$	0,707D	D	0,58D	0,815D
	$I_1/I_0$	$\frac{D}{k_T}$	$\frac{D}{k_T}$	$0,47 \frac{D}{k_T}$	$0,815 \frac{D}{k_T}$
	$P_{тип}/P_0$	1,34BD	1,11BD	1,35BD	1,045BD
Вентиль	$I_{0в}/I_0$	0,5	0,5	0,33	0,33
	$I_B/I_0$	0,707D	0,707D	0,58D	0,58D
	$I_{B. макс}/I_0$	1,0	1,0	1,0	1,0
	$U_{обр}/I_0$	3,14	1,57	2,09	1,045
	Число вентилей	2	4	3	6
Пульсации	$f_{от}$	$2f_{сети}$	$2f_{сети}$	$3f_{сети}$	$6f_{сети}$
	$k_{п}$	0,67H	0,67H	0,25H	0,057H

\* Для трехфазной схемы с нулевым выводом и трехфазной схемы  $U_2$  – фазное напряжение вторичной обмотки. Для этих схем данные приведены при соединении обмоток трансформатора по схеме звезда – звезда.

**Примечание:**  $U_2/U_0$  – действующее значение напряжения вторичной обмотки;  $I_2/I_0$  – действующее значение тока вторичной обмотки;  $I_1/I_0$  – действующее значение тока первичной обмотки;

$P_{тип}/P_0$  – типовая мощность трансформатора;  $I_{0в}/I_0$  – среднее значение тока вентиля;  $I_B/I_0$  – действующее значение тока вентиля;  $I_{B. макс}/I_0$  – амплитудное значение тока вентиля;

$U_{обр}/I_0$  – обратное напряжение на вентиле;  $f_{от}$  – частота основной гармоники;  $k_{п}$  – коэффициент пульсации.

Таблица 1.21

1.9

Обозначение магнитопровода	Размеры, мм						$S_{ст}, см^2$	$L_{ст}, см$	$S_{ст}S_{ок}, см^4$	$V_{ст.акт}, см^3$	$G_{ст}, г$	$n, шт.$
	$a$	$h$	$c$	$C$	$H$	$b$						
Ш09 × 09	9	22,5	9	36	31,5	9	0,74	7,72	1,62	5,71	45	23
Ш09 × 12						12	0,98	7,72	2,16	7,56	60	31
Ш12 × 10	12	30	12	48	42	10	0,98	10,03	4,30	9,82	90	26
Ш12 × 12						12	1,31	10,03	5,20	13,14	110	31
Ш12 × 16						16	1,75	10,03	6,80	17,55	140	42
Ш12 × 20						20	2,18	10,03	8,60	21,86	180	52
Ш12 × 25						25	2,83	10,03	10,80	27,38	230	65
Ш12 × 32						32	3,49	10,03	13,70	35,00	280	83
Ш16 × 10	16	40	16	64	56	10	1,31	13,7	10,2	17,95	156	26
Ш16 × 12						12	1,75	13,7	12,1	24,0	190	31
Ш16 × 16						16	2,33	13,7	16,6	32,0	260	42
Ш16 × 20						20	2,91	13,7	20,5	39,6	320	52
Ш16 × 25						25	3,64	13,7	25,6	49,8	400	65
Ш16 × 32						32	4,66	13,7	32,6	63,8	510	83
Ш16 × 40						40	5,82	13,7	41	79,6	630	104
Ш20 × 12	20	50	20	80	70	12	2,18	17,14	24	37,4	300	31
Ш20 × 16						16	2,91	17,14	32	50	400	42
Ш20 × 20						20	3,64	17,14	40	62,4	500	52
Ш20 × 25						25	4,55	17,14	50	78,1	620	65
Ш20 × 32						32	5,82	17,14	64	99,8	800	83
Ш20 × 40						40	7,28	17,14	80	125	990	104
Ш20 × 50						50	9,10	17,14	100	156,2	1240	130
Ш25 × 16						25	62,5	25	100	86,5	16	3,64
Ш25 × 20	20	4,55	21,4	78	97,4						770	52
Ш25 × 25	25	5,68	21,4	97,5	121,8						970	65
Ш25 × 32	32	7,28	21,4	125	156,0						1230	83
Ш25 × 40	40	9,10	21,4	156	195,0						15560	104
Ш25 × 50	50	11,4	21,4	195	244						1930	130
Ш25 × 64	64	14,5	21,4	250	310						2470	166
Ш32 × 20	32	80	32	128	112	20	5,82	27,4	164	159,5	1270	53
Ш32 × 25						25	7,28	27,4	205	199,3	1580	65
Ш32 × 32						32	9,32	27,4	261	255,5	2020	83
Ш32 × 40						40	11,65	27,4	328	319,0	2530	104
Ш32 × 50						50	14,56	27,4	410	399,0	3170	130
Ш32 × 64						64	18,63	27,4	522	510,0	4040	166
Ш32 × 80						80	23,29	27,4	656	640,0	5070	208
Ш40 × 25						40	100	40	160	140	25	9,10
Ш40 × 32	32	11,65	34,3	512	400						3160	83
Ш40 × 40	40	14,56	34,3	640	500						4950	130
Ш40 × 50	50	18,2	34,3	800	625						4950	130
Ш40 × 65	64	23,29	34,3	1025	800						6320	166
Ш40 × 80	80	29,12	34,3	1280	998						7920	208
Ш40 × 100	100	36,40	34,3	1600	1250						9860	260

**Примечание:** В таблице приведены данные для сердечников из стали Э-42 толщиной 0,35 мм.

$S_{ст}$  – активная площадь сечения среднего стержня;  $L_{ст}$  – средняя длина магнитной линии;  $S_{ст}S_{ок}$  – сечение стали × сечение окна;  $V_{ст.акт}$  – активный объем магнитопровода;  $G_{ст}$  – вес магнитопровода;  $n$  – количество.

Таблица 1.22 1.10

Номинальный диаметр проволоки по меди, мм	Сечение проволоки, мм <sup>2</sup>	Вес 1 м медной проволоки, г	Диаметр провода с изоляцией, мм			
			ПЭЛ	ПЭВ-1	ПЭВ-2	ПБД

0,03	0,00071	0,0063	0,05	0,045	–	–
0,04	0,00126	0,0112	0,06	0,055	–	–
0,05	0,00196	0,0175	0,065	0,08	–	–
0,06	0,00283	0,0251	0,075	0,085	0,09	–
0,07	0,00385	0,0342	0,0342	0,095	0,10	–
0,08	0,00503	0,0447	0,095	0,105	0,11	–
0,09	0,00636	0,0565	0,105	0,115	0,12	–
0,10	0,00785	0,0698	0,120	0,125	0,13	–
0,11	0,00950	0,0845	0,130	0,135	0,14	–
0,12	0,1131	0,101	0,140	0,145	0,15	–
0,13	0,01327	0,118	0,150	0,155	0,16	–
0,14	0,01539	0,137	0,160	0,165	0,17	–
0,15	0,01767	0,157	0,170	0,18	0,19	–
0,16	0,02011	0,179	0,180	0,19	0,20	–
0,17	0,02270	0,202	0,190	0,20	0,21	–
0,18	0,02545	0,226	0,200	0,21	0,22	–
0,19	0,02835	0,252	0,210	0,22	0,23	–
0,20	0,31042	0,279	0,225	0,23	0,24	–
0,21	0,03464	0,308	0,235	0,24	0,25	–
0,23	0,04155	0,369	0,255	0,27	0,28	–
0,25	0,04909	0,436	0,275	0,29	0,30	–
0,27	0,05726	0,509	0,310	0,31	0,32	–
0,29	0,06605	0,587	0,330	0,33	0,34	–
0,31	0,07548	0,671	0,350	0,35	0,36	–
0,33	0,08553	0,760	0,370	0,37	0,38	–
0,35	0,09621	0,855	0,390	0,39	0,41	–
0,38	0,1134	1,010	0,420	0,42	0,44	0,61
0,41	0,1320	1,180	0,450	0,45	0,47	1,64
0,44	0,1521	1,350	0,490	0,48	0,50	0,67
0,47	0,1735	1,540	0,52	0,51	0,53	0,70
0,49	0,1886	1,680	0,54	0,53	0,55	0,72
0,51	0,2043	1,820	0,560	0,56	0,58	0,74
0,53	0,2206	1,960	0,580	0,58	0,60	0,76
0,55	0,2376	2,110	0,600	0,60	0,62	0,78
0,57	0,2552	2,270	0,620	0,62	0,64	0,80
0,59	0,2734	2,430	0,640	0,64	0,66	0,82
0,62	0,3019	2,680	0,670	0,67	0,69	0,85
0,64	0,3217	2,860	0,690	0,69	0,72	0,87
0,67	0,3526	3,130	0,720	0,72	0,75	0,90
0,69	0,3739	3,320	0,740	0,74	0,77	0,92
0,72	0,4072	3,600	0,780	0,77	0,80	0,96
0,74	0,4301	3,820	0,800	0,80	0,83	0,98
0,77	0,4657	4,140	0,830	0,83	0,86	1,01
0,80	0,5027	4,470	0,860	0,86	0,89	1,04
0,83	0,5411	4,810	0,890	0,89	0,92	1,07
0,86	0,5809	5,160	0,920	0,92	0,95	1,10
0,90	0,6362	5,66	0,960	0,96	0,99	1,14
0,93	0,6793	6,04	0,990	0,99	1,02	1,17
0,96	0,7238	6,44	1,020	1,02	1,05	1,20
1,00	0,7854	6,98	1,070	1,08	1,11	1,29
1,04	0,8495	7,55	1,120	1,12	1,15	1,33
1,08	0,9161	8,14	1,160	1,16	1,19	1,37
1,12	0,9852	8,76	1,200	1,20	1,23	1,41
1,16	1,057	9,40	1,24	1,24	1,27	1,45
1,20	1,1310	10,10	1,280	1,28	1,31	1,49
1,25	1,2270	10,90	1,330	1,33	1,36	1,54
1,30	1,3270	11,80	1,380	1,38	1,41	1,59
1,35	1,4310	12,70	1,430	1,43	1,46	1,64
1,40	1,5390	13,70	1,480	1,48	1,51	1,69
1,45	1,6510	14,70	1,530	1,53	1,56	1,74
1,50	1,7670	15,70	1,580	1,58	1,61	1,79
1,56	1,9110	17,00	1,640	1,64	1,67	1,86
1,62	2,061	18,30	1,710	1,70	1,73	1,91
1,68	2,217	18,7	1,770	1,76	1,79	1,98
1,74	2,378	21,10	1,830	1,82	1,85	2,04
1,81	2,5730	22,9	1,900	1,90	1,93	2,11
1,88	2,776	24,7	1,970	1,97	2,00	2,18
1,95	2,987	26,5	2,040	2,04	2,07	2,25

Параметры полупроводниковых приборов.

А. Параметры германиевых и кремниевых диодов

Таблица 1.23 1.11

Тип диода	Электрические параметры при $t_{\text{окр.}} = +20 \div +50^\circ\text{C}$			
	Наибольшая амплитуда обратного напряжения, $B$	Наибольший выпрямительный ток (среднее значение), $A$	Обратный ток при наибольшем обратном напряжении, $mA$	Падение напряжения в прямом направлении при наибольшем токе, $B$
	Германиевые диоды			
Д7Б	100	0,3	0,3	0,5
Д7В	150	0,3	0,3	0,5
Д7Г	200	0,3	0,3	0,5
Д7Д	300	0,3	0,3	0,5
Д7Е	350	0,3	0,3	0,5
Д7Ж	400	0,3	0,3	0,5

Тип диода	Электрические параметры при $t_{\text{окр.}} = +20 \div +50^\circ\text{C}$			
	Наибольшая амплитуда обратного напряжения, $B$	Наибольший выпрямительный ток (среднее значение), $A$	Обратный ток при наибольшем обратном напряжении, $mA$	Падение напряжения в прямом направлении при наибольшем токе, $B$
Кремниевые диоды				
1	2	3	4	5
Д202	100	0,4	0,5	1,0
Д203	200	0,4	0,5	1,0
Д204	300	0,4	0,5	1,0
Д205	400	0,4	0,5	1,0
Д206	100	0,1	0,05	1,0
Д207	200	0,1	0,05	1,0
Д208	300	0,1	0,05	1,0
Д209	400	0,1	0,05	1,0
Д210	500	0,1	0,05	1,0
Д211	600	0,1	0,05	1,0
1	2	3	4	5
Д214	100	10	3,0	1,25
Д214А	100	10	3,0	1,0
Д214Б	100	5,0	3,0	1,5
Д215	200	10	3,0	1,25
Д215А	200	10	3,0	1,25
Д215Б	200	5	3,0	1,5
Д217	800	0,1	0,05	0,7
Д218	1000	0,1	0,05	0,7
Д226	400	0,3	0,03	1,0
Д226А	300	0,3	0,03	1,0
Д226Е	200	0,3	0,03	1,0
Д226Б	400	0,3	0,1	1,0
Д226В	300	0,3	0,1	1,0
Д226Г	200	0,3	0,1	1,0
Д226Д	100	0,3	0,1	1/0
Д229А	200	0,4	0,05	1,0
Д229Б	400	0,4	0,05	1,0
Д237А	200	0,3	0,05	1,0
Д237Б	400	0,3	0,05	1,0
Д237В	600	0,1	3,0	1,0
Д242	100	5	3,0	1,0
Д242А	100	10	3,0	1,0
Д242Б	100	2	3,0	1,0
Д243	200	5	3,0	1,0
Д243А	200	10	3,0	1,0
Д243Б	200	2	3,0	1,25
Д245А	300	10	3,0	1,0
Д245	300	10	3,0	1,25
Д245Б	300	5	3,0	1,5
Д246А	400	10	3,0	1,25
Д246	400	10	3,0	1,0
Д246Б	400	5	3,0	1,5
Д247	500	10	3,0	1,25
Д247Б	500	5	3,0	1,0
Д248Б	600	5	3,0	1,0
2Д201А	100	5	3,0	1,0
2Д201Б	100	10	3,0	1,0
2Д201В	200	5	3,0	1,0
2Д201Г	200	10	3,0	1,0
Д1004	2000	0,1	0,1	4,0
Д1005А	4000	0,05	0,1	4,0
Д1005Б	4000	0,1	0,1	6,0
Д1006	6000	0,1	0,1	6,0
Д1007	8000	0,075	0,1	6,0
Д1008	10000	0,05	0,1	50 6,0
Д1009	1000•2	0,1•2	0,1	3,5
Д1010	2000	0,3	0,1	11,0
Д1010А	5	3,0	1,5	1,0

Конденсаторы с оксидным диэлектриком

Таблица 1.24 1.12

Тип	Номинальное напряжение, В	Допустимая амплитуда напряжена переменной составляющей на частоте 50 Гц, %	Диапазон номинальных емкостей, мкФ
К50-6	6,3	20...25	5...500
	10	5...25	10...4000
	16	5...25	1...4000
	25	5...25	1...4000
	50	5...20	1...4000
	100	10...15	1...20
	160	10	1...20
К50-6 (неполяризованный)	16		5...50
	25	5...25	10
К50-7	160	5...15	20...500
	250		10...200
	300		5...200
	350	3...10	5...100
	450		5...100
К50-7 (блоки)	50		100+300
	250		300+300
	300	3...10	100+100
	350		150+150
	450		50+50
К50-12	50		100+100
	350		20+20;50+50
	450		30+150
	6,3		10+10;20+20
	12		50+50
	25	3...20	10...5000
К50-16	25		5...2000
	50		2...5000
	100		1...200
	160		1...50
	6,3	20...25	1...200
	10	5...25	20...500
	16	5...25	10...2000
К50-18	25	5...25	5...2000
	50	5...20	2...2000
	100	5...15	2...500
	160	5...15	0,5...50
	3	16...18	1...20
	6,3	13...15	470000
	10	11...15	100000;220000
К50-18	16	6...9	100000
	25	6...8	22000;68000
	50	5...6	100000
	80	4...5	15000;33000
			100000
			4700;10000
			15000;22000
		4700;10000	

	100	4...6	15000 2200;4700 10000
	250	2,5...3	1000;4700
K50-19	80	100% (в повторно-кратко-временном режиме)	160;250;350;
	150		500;750;
	320		50;80;110;160; 200;250; 10;16;25;40; 60;100
K50-20	6,3	10...16	10...5000
	16	10...16	2...2000
	25	10...16	2...2000
	50	3...16	1...2000
	100	10	1...200
	160	10	2...200
	250	10	20...50
	300	10	6...50
	350	10	2...20
450	10	2...20	
K50-24	6,3	20...90	220...10000
	16	10...60	47...10000
	25	10...60	22...4700
	40	10...25	100...2200
	63	6...50	10...2200
	100	9...30	4,7...220
160	9...40	2,2...220	
K50-26	63	16	1000+1000+1000+ +1000
	350	5	150+150+47+47; 220+100+47+22
	450	5	47+47+33+33
K50-27	160	5...8	470;1000
	250	5...15	10...470
	300	5...13	10...470
	350	4...15	4,7...220
	450	4...15	2,2...220
K50-28	50	16	300+300
	250	5	150+150
	300	6...10	40+40
	350	6...10	150+30
	250	5...6	47...220
	300	6...10	4,7...220
450	6...10	10...47	
K50-29	6,3	16...40	47...4700
	16	12...40	22...2200
	25	12...40	10...2200
	63	6...30	4,7...1000
	100	12...30	2,2...100
	160	12...30	1...47
	300	12...16	4,7...47
	350	16	2,2...22
450	10...14	2,2...22	

K50-32	160	2,5	1000...4700
	250		100...2200
	350		47...1000
	450		47...470
K50-32A	16	0,6...1	15000...47000
	40	1,1...2	4700...22000
	63	1,4	1500
K50-35	6,3	10...25	47...4700
	16	5...25	33...4700
	25	10...25	22...2200
	40	5...20	22...1000
	63	4...15	10...1000
	100	5...15	2,2...220
	160	3...10	1...1000
K50-38	6,3	8...25	47...10000
	16	5...25	47...10000
	25	10...25	22...2200
	40	4...20	22...2200
	63	4...15	10...2200
	100	5...15	4,7...220
	160	6...10	1...100
K50-40	6,3	25	22...220
	16	25	10...47
	25	25	4,7...33
	40	20	2,2...10

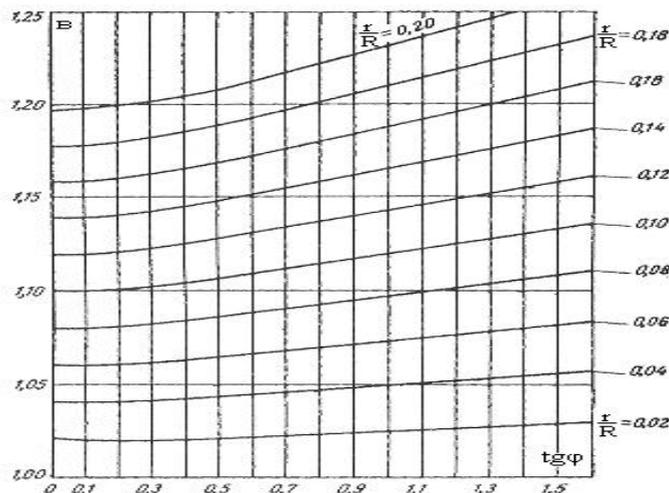


Рис.1.9. Зависимости параметра  $B$  от величин  $r/R$  и  $\text{tg}\varphi$  для двухполупериодных схем выпрямления. 1.1

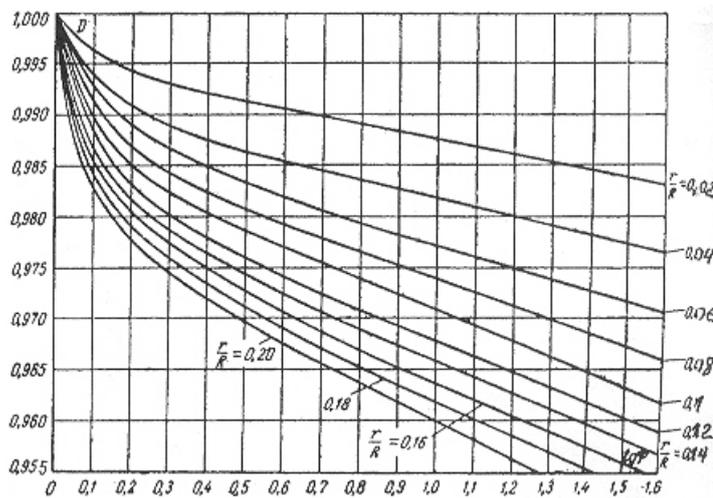


Рис.1.10. Зависимости параметра  $D$  от величин  $r/R$  и  $\text{tg}\varphi$  для двухполупериодной схемы выпрямления. 1.2

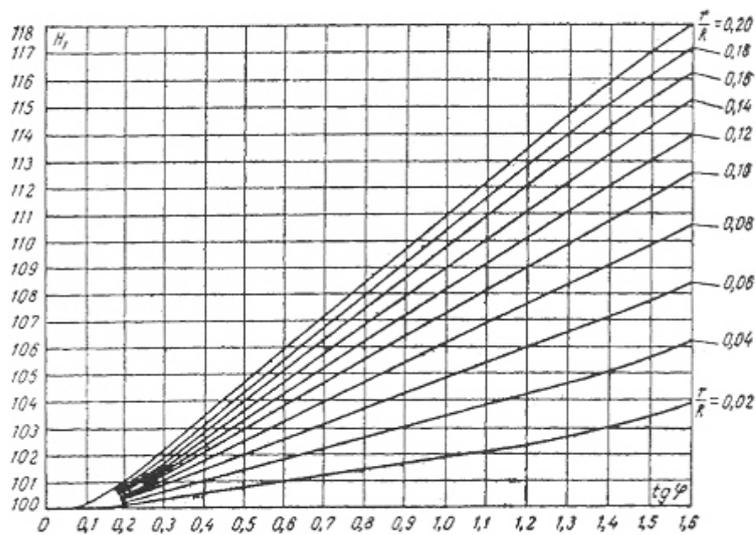


Рис.1.11. Зависимости параметра  $H$  от величин  $r/R$  и  $\text{tg}\varphi$  для двухполупериодных схем выпрямления. 1.3

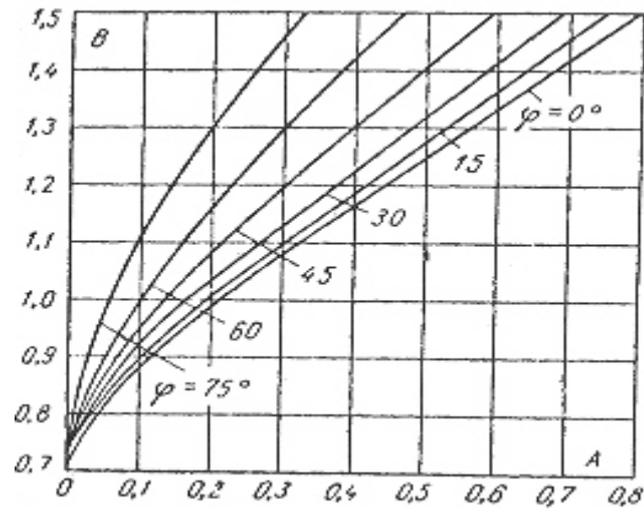


Рис.1.12. Зависимости параметра B от параметра A и угла  $\varphi$ .1.4

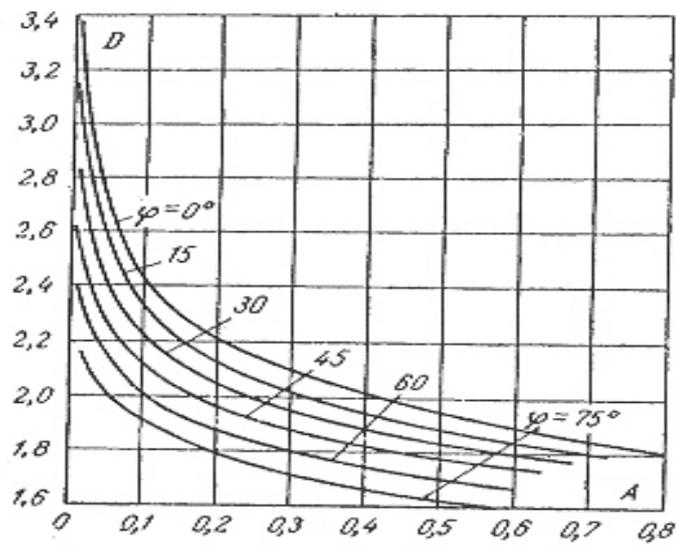


Рис.1.13. Зависимости параметра D от параметра A и угла  $\varphi$ .1.5

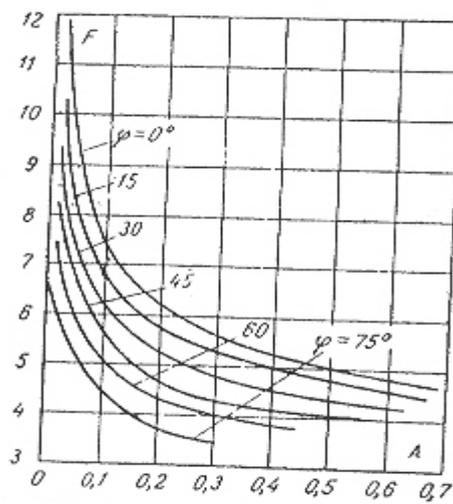


Рис.1.14. Зависимости параметра F от параметра A и угла  $\varphi$ .1.6

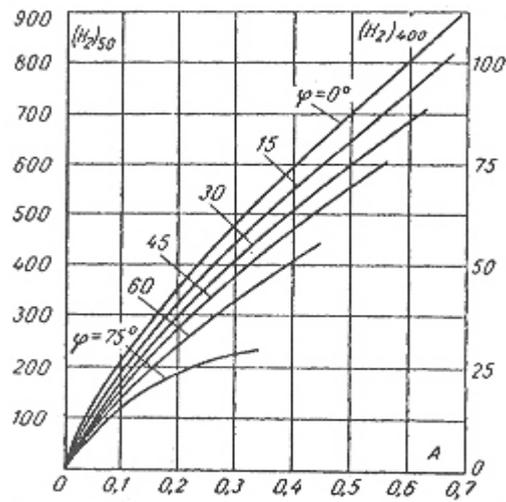


Рис.1.15. Зависимости параметра  $H$  от при  $p=2$  от параметра  $A$  и угла  $\varphi$  при частоте тока сети 50 и 400 Гц.1.7

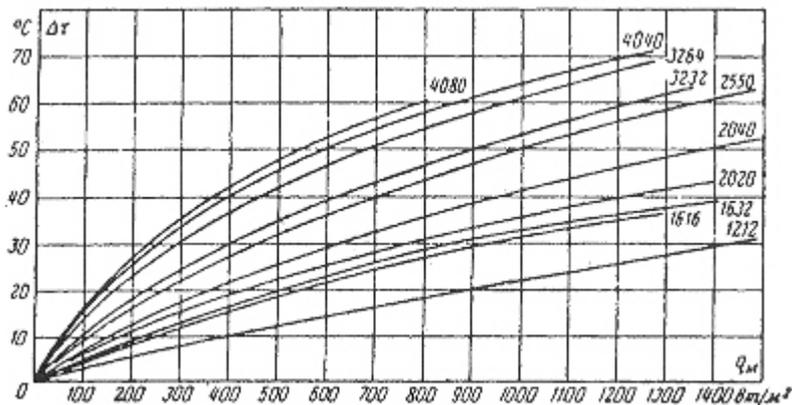


Рис.1.16. Кривые зависимости температуры перегрева от удельной нагрузки обмоток броневых трансформаторов с пластинчатыми сердечниками при частоте тока сети 50 Гц.1.8

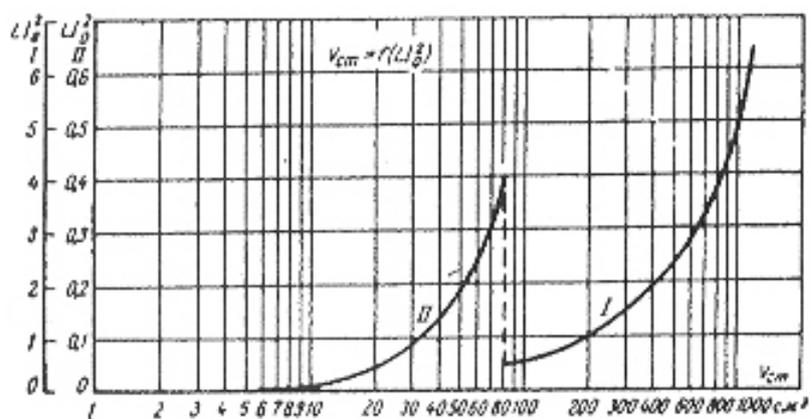


Рис. 1.17. Кривые зависимости объема стали магнитопровода сглаживающего дросселя от его электромагнитной энергии.1.9

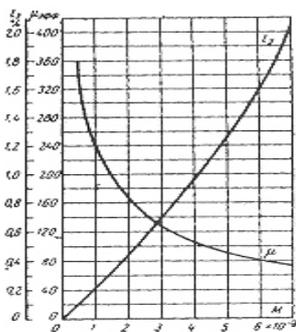


Рис. 1.18. Зависимость эффективной проницаемости стали и относительного воздушного зазора от удельной электромагнитной энергии. 1.10

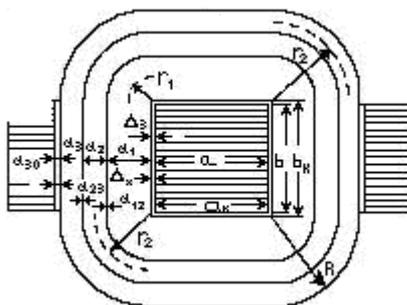


Рис. 1.19. Размещение катушки на магнитопроводе трансформатора. 1.11

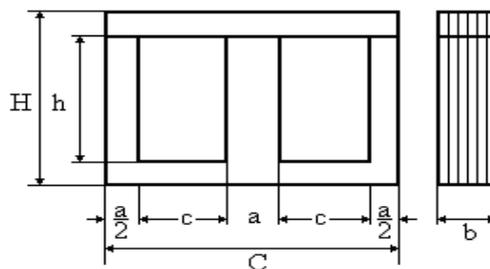


Рис. 1.20. Броневые пластичные магнитопроводы. 1.12