

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки – Электроника и нанoeлектроника
Кафедра промышленной и медицинской электроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Импульсный источник питания переносного рентгеновского аппарата для промышленной дефектоскопии

УДК ____ 621.386.12 ____

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151A20	Лю Цзесюнь		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ПМЭ	Мутовин Ю.В.	Кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, Кафедра менеджмента	Конотопский В.Ю.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент, Кафедра ЭБЖ	Кырмакова О.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра ПМЭ
УТВЕРЖДАЮ:

ЗАДАНИЕ
на выполнение ВКР

Студенту гр. 151A20 Лю Цзесюнь

1. Тема курсового проекта:

Импульсный источник питания переносного рентгеновского аппарата для промышленной дефектоскопии

2. Срок сдачи студентом готовой работы 14.06.16

3. Назначение и область применения разработки – Источник питания рентгеновской трубки малогабаритного аппарата для промышленной дефектоскопии.

4. Технические требования

4.1 Исходные данные к работе

Питающее напряжение: однофазная сеть 220В (+10%;-15%) частота 50Гц

Амплитуда импульсов анодного напряжения на рентгеновской трубке 60 -120кВ

Среднее значение анодного тока трубки 5 мА

Активная длительность импульсов анодного напряжения 150мкс

Активная длительность фронта импульсов не более 40мкс

Спад вершины импульса не более 3%

Время экспозиции от 10 с до 15 минут.

Условия эксплуатации

-температура окружающего воздуха от -10 до +40град. С.

При относительной влажности не более 80%

-атмосферное давление не ниже 630 мм рт. Ст.

5. Содержание текстового документа

1) введение;

2) обзор литературы;

3) выбор и обоснование структурной и принципиальной схемы управления

4) расчёт принципиальной схемы силовой цепи источника питания

5) заключение;

6) список литературы

Руководитель

_____Мутовин Ю.В.

Задание принял к исполнению

_____Лю Цзесюнь

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения</i>
Профессиональные компетенции	
<i>P1</i>	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании и эксплуатации
<i>P2</i>	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
<i>P3</i>	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной биомедицинской и экологической техники с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
<i>P4</i>	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
<i>P5</i>	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
Универсальные компетенции	
<i>P6</i>	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
<i>P7</i>	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности
<i>P8</i>	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
<i>P9</i>	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
<i>P10</i>	Проявлять способность к самообучению

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 88 страниц основного машинописного текста, 12 рисунков, 13 таблиц и 1 приложений.

Ключевые слова: рентгеновский аппарат, рентгенодефектоскопия, генераторное устройство, частотно импульсный способ

Объектом исследования являются схема генераторного устройства переносного рентгеновского аппарата для промышленной дефектоскопии.

Целью данной работы является разработка источника питания рентгеновского переносного дефектоскопического аппарата на основе частотно импульсного способа формирования рентгеновского излучения.

Данный способ позволяет наиболее эффективно реализовать возможности по улучшению массогабаритных и радиационных характеристик аппаратов.

Областью применения разработанного устройства является рентгенодефектоскопия.

Используется в переносных рентгеновских аппаратах, предназначенных для контроля ответственных узлов и деталей различных протяженных объектов, крупногабаритных конструкций, работа в полевых условиях и т.п.

Экономическая эффективность/значимость работы: работа является конкурентоспособной и экономически выгодной, что подтверждено расчетами.

Оглавление

Планируемые результаты обучения по ооп.....	3
Реферат	4
Введение.....	7
1. Варианты построения питающих устройств современных малогабаритных рентгеновских аппаратов.....	8
2. Анализ схемных построений главной цепи частотно-импульсных рентгеновских аппаратов.....	13
2.1. Схемы главной цепи на основе формирующей линии.....	13
2.2. Схемы главной цепи с коррекцией формы вершины импульса	19
3. РАСЧЕТ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИЛОВОЙ ЦЕПИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ	24
3.1. Расчет схемы формирователя импульсов.....	24
3.2. Расчет схемы регулятора напряжения	39
3.3. Расчет схемы сетевого выпрямителя	42
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	44
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения	45
4.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	46
4.3. Планирование научно-исследовательских работ.	47
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.	47
4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ	48
4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования	50
4.4.1. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	54
4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	58
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	61

5.1 Производственная безопасность	61
5.1.1 Состояние воздушной среды	62
5.1.2 Освещенность	64
5.1.3 Шум и вибрация.....	66
5.1.4 Электробезопасность	66
5.1.5 Организация рабочего места	68
5.2 Охрана окружающей среды	69
5.3 Пожарная безопасность	70
Заключение	73
Приложение	76

ВВЕДЕНИЕ

Очень часто в практике контроля при использовании рентгеновских аппаратов одним из основных требований, предъявляемых к ним, является минимальная масса и габариты.

Генераторное устройство является одним из главных элементов рентгеновского аппарата. Схема и конструкция питающего устройства во многом определяют массогабаритные и радиационные характеристики рентгеновской аппаратуры.

Эффективным способом снижения массы и габаритов питающих устройств является переход на повышенные частоты преобразования электрической энергии.

1. ВАРИАНТЫ ПОСТРОЕНИЯ ПИТАЮЩИХ УСТРОЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ МАЛОГАБОРИТНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ АППАРАТОВ

Одним из основных путей снижения массы и габаритов питающего устройства и соответственно аппарата в целом является переход на повышенные частоты преобразования напряжения в главной цепи.

Современный уровень развития преобразовательной техники и ее элементной базы значительно расширили возможности частотного преобразования по улучшению эксплуатационных характеристик аппаратов. В основу построения современных питающих устройств положен принцип инвертирования выпрямленного сетевого напряжения в переменное напряжение повышенной частоты. Такой принцип построения главной цепи позволяет осуществлять регулирование и стабилизацию выходного напряжения без дополнительных сетевых автотрансформаторов и исключает необходимость электромеханических систем управления.

Кроме того, расширяются функциональные возможности питающих устройств по управлению и стабилизации выходными параметрами. В частности, появляется возможность стабилизации анодного напряжения непосредственно в процессе снимка, т.е. в течение короткого промежутка времени. Существует также возможность формирования напряжения повышенной частоты, близкой по форме прямоугольной, что существенно повышает рентгеновскую отдачу трубки по сравнению с питанием трубки синусоидальным напряжением.

Питающие устройства с преобразованием напряжения на повышенной частоте можно разделить на два типа. Первый тип — это схемы питающих устройств, в которых питание рентгеновской трубки осуществляется постоянным напряжением. Частота является здесь внутренним параметром системы преобразования напряжения. Рентгеновские аппараты, в которых

используются питающие устройства подобного типа, получили название «частотные».

Ко второму типу можно отнести питающие устройства с питанием трубки импульсами микросекундной длительности, напряжение которых близко к прямоугольной форме. В таких устройствах частота следования и длительность импульсов напряжения выступают не только как внутренние параметры системы преобразования напряжения, но и как параметры управления радиационным выходом аппарата. Аппараты, построенные по схеме питания второго типа, получили название «частотно-импульсных».

На рис. 1 показаны варианты общего построения главной цепи с промежуточным преобразованием напряжения на повышенной частоте.

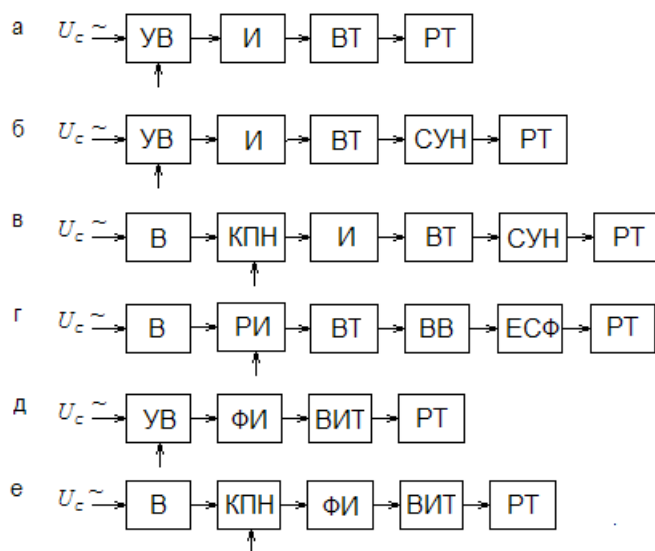


Рис. 1. Варианты структурных схем главной цепи с преобразованием напряжения на повышенной частоте

В первом варианте (рис. 1, а) питание рентгеновской трубки (РТ) осуществляется, как и в традиционных моноблочных аппаратах, переменным напряжением, но форма напряжения близка к прямоугольной. Регулирование амплитуды анодного напряжения осуществляется здесь с помощью управляемого выпрямителя (УВ). Инвертор (И) преобразует постоянного напряжения в переменное напряжение повышенной частоты. Работа высоковольтного трансформатора (ВТ) на повышенной частоте и подключение

рентгеновской трубки непосредственно к вторичной обмотке трансформатора позволяет строить наиболее простые и компактные моноблоки. Однако эффективное использование такого построения главной цепи весьма ограничено. Одной из причин этого является повышенное влияние распределенной емкости и индуктивности рассеяния высоковольтного трансформатора. С ростом частоты емкостная составляющая тока существенно возрастает, что приводит к более тяжелому режиму работы полупроводниковых ключей и увеличению потерь мощности в главной цепи.

Кроме того, паразитные параметры высоковольтного трансформатора существенно искажают форму напряжения на трубке, что снижает рентгеновскую отдачу и утяжеляют условия ее работы. Это приводит к необходимости конструктивной доводки трансформатора и введение в схему дополнительных корректирующих цепей, что приводит к усложнению схемы питающего устройства и увеличению его массы и габаритов.

Уменьшить вредное влияние паразитных параметров трансформатора и повысить частоту преобразования возможно при введении в главную цепь аппарата схем удвоения (СУН) или умножения напряжения (рис. 1, б, в). Регулирование напряжения в схеме рис. 1, б осуществляется управляемым выпрямителем, а в следующей схеме (рис. 1, в) производится с помощью ключевого преобразователя постоянного напряжения (КПН) за счет широтно-импульсной модуляции. Построение главной цепи с использованием ключевого преобразователя напряжения позволяет снизить массу и габариты низкочастотного сглаживающего фильтра низковольтного выпрямителя (В) и увеличить его коэффициент мощности по сравнению с первыми двумя вариантами.

Таким образом, обеспечение высокой рентгеновской отдачи трубки и создание менее тяжелых режимов работы силовых полупроводниковых ключей при работе на повышенных частотах потребовало введение в главную цепь аппарата дополнительных устройств, выполняющих функции выпрямления, сглаживания и повышения напряжения. Все это приводит к увеличению массы

и усложнению конструкции моноблока, и снижению надежности работы питающего устройства.

В настоящее время широкое практическое применение при построении рентгенодиагностических аппаратов нашла схема, представленная на рис. 1, г. В отличие от предыдущих схем регулирование анодного напряжения осуществляется здесь последовательным резонансным инвертором (РИ). Эта схема получила наибольшее распространение на практике, так как она обладает рядом достоинств. В частности, при ее использовании существенно облегчается режим работы ключевых элементов, существенно снижаются коммутационные потери в них. Кроме того, следует отметить пониженный уровень высокочастотных помех, создаваемых питающим устройством.

Несмотря на ряд достоинств такого построения главной цепи эта схема не позволяет в полной мере реализовать возможности моноблочной конструкции аппарата, так как моноблок должен иметь в своем составе кроме высоковольтного трансформатора высоковольтный выпрямитель (ВВ) и емкостной сглаживающий фильтр (ЕСФ). В результате усложняется конструкция моноблока, и увеличиваются его масса и габариты.

Сохранить высокую рентгеновскую отдачу, близкую к отдаче при работе трубки на постоянном напряжении и создать компактный моноблок позволяют схемы главной цепи аппарата на основе частотно-импульсного способа формирования рентгеновского излучения (рис. 1, д. е.). В отличие от предыдущей схемы в моноблоке кроме трубки только один элемент главной цепи: высоковольтный импульсный трансформатор (ВИТ).

Представленные структурные схемы отличаются способом регулирования амплитуды импульса анодного напряжения на рентгеновской трубке и схемным построением формирователя импульсов (ФИ).

Частотно-импульсный способ формирования рентгеновского излучения обеспечивает питание трубки импульсным напряжением микросекундной длительности, близким к прямоугольной форме. Данный способ позволяет не только снизить массу и габариты генераторного устройства, но и упростить

схему высоковольтного блока при сохранении высокой рентгеновской отдачи трубки. Импульсное питание и отсутствие высокого обратного напряжения обеспечивает устойчивую работу рентгеновской трубки, повышает эффективность систем защиты при развитии газового разряда. Кроме того, существенно снижается инерционность систем регулирования выходными параметрами, что имеет значение при стабилизации анодного тока и напряжения на рентгеновской трубке при малом времени экспозиции.

В схеме главной цепи рис. 1, д регулирование анодного напряжения трубки осуществляется с помощью управляемого выпрямителя (УВ). Постоянное напряжение с управляемого выпрямителя поступает на формирователь импульсов (ФИ), который преобразует постоянное напряжение в импульсное напряжение близкое по виду к прямоугольной форме. Высоковольтный импульсный трансформатор (ВИТ) повышает импульсное напряжение до необходимого высокого уровня и обеспечивает питание рентгеновской трубки (РТ). Регулирование среднего значения анодного тока трубки обеспечивается путем изменения частоты следования импульсов анодного напряжения.

Отличие схемы, представленной на рис. 1, е заключается в том, что регулирование анодного напряжения осуществляется импульсным преобразователем постоянного напряжения (ППН). Такое построение главной цепи позволяет повысить коэффициент мощности и снизить массу сглаживающего фильтра сетевого выпрямителя (В).

2. АНАЛИЗ СХЕМНЫХ ПОСТРОЕНИЙ ГЛАВНОЙ ЦЕПИ ЧАСТОТНО-ИМУЛЬСНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ АППАРАТОВ.

Основные особенности процесса формирования излучения и массогабаритные показатели аппарата с частотно-импульсным преобразованием связаны со спецификой работы системы: формирователь импульсов – высоковольтный импульсный трансформатор – рентгеновская трубка.

Импульсный трансформатор является важнейшей составной частью этой системы. Параметры трансформатора в совокупности с параметрами схемы формирователя и рентгеновской трубки обуславливают искажение формы импульсов анодного напряжения. В результате форма импульсов анодного напряжения может значительно отличаться от прямоугольной, что непосредственно влияет на радиационные характеристики излучения и на рентгеновскую отдачу трубки. Кроме того, возможно наличие выбросов напряжения, недопустимых для нормальной работы трубки. Конструктивная доводка трансформатора позволяет уменьшить искажение импульсов анодного напряжения, но при этом может значительно повлиять на его массогабаритные показатели. Поэтому важную роль при построении формирователя импульсов играют схемные способы коррекции формы импульса, дающие возможность повысить рентгеновскую отдачу трубки без увеличения массы и габаритов высоковольтного трансформатора.

Возможны различные варианты схемных решений, которые позволяют формировать импульсы близкие к прямоугольной форме, т.е. без выбросов напряжения на вершине.

2.1. Схемы главной цепи на основе формирующей линии

Одним из первых способов получения импульсов анодного напряжения близких к прямоугольной форме при построении частотно-импульсных рентгеновских аппаратов это использование искусственной формирующей линии с сосредоточенными параметрами. Увеличивая число звеньев линии можно добиться формирования импульсов с приемлемым для практики уровнем искажения формы. Подстройка параметров звеньев линии позволяет существенно снизить искажения, вносимые высоковольтным импульсным трансформатором и рентгеновской трубкой.

Структурная схема главной цепи рентгеновского аппарата на основе формирующей линии представлена на рис. 2.1.

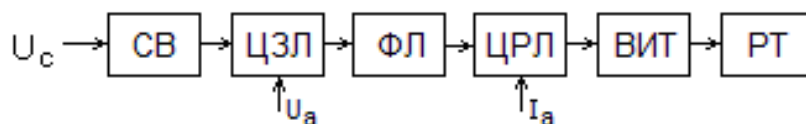


Рис. 2.1 Структурная схема главной цепи на основе формирующей линии

В данной схеме переменное напряжение сети преобразуется сетевым выпрямителем (СВ) в постоянное, которое затем поступает в цепь заряда формирующей линии (ФЛ). После заряда линии начинает работать цепь разряда линии (ЦРЛ) и формирующая линия разряжается через первичную обмотку высоковольтного импульсного трансформатора (ВИТ). В результате на вторичной обмотке трансформатора и соответственно на рентгеновской трубке (РТ) формируется импульс высокого напряжения близкий к прямоугольной форме.

Регулирование амплитуды импульсов анодного напряжения трубки осуществляется в зарядной цепи линии, а регулирование среднего значения анодного тока в разрядной цепи за счет изменения частоты управляющих импульсов силового ключа, включенного в эту цепь. При этом ток нити накала трубки остается неизменным и, следовательно, не нарушается согласование

формирующей линии с нагрузкой. В тоже время, согласование может быть нарушено в результате установки анодного напряжения ниже номинального значения. Однако, в этом случае, как показали проведенные исследования, ухудшения формы импульса не происходит. Характер нелинейности ВАХ трубки способствует здесь даже некоторому улучшению формы импульса. В частности, снижается величина выброса анодного напряжения и несколько повышается крутизна фронта и среза импульса.

Таким образом, нарушение согласования линии с нагрузкой в результате регулирования анодного напряжения вполне приемлемо в частотно-импульсных рентгеновских аппаратах.

Возможны различные варианты построения схемы главной цепи аппарата на основе искусственной формирующей линии. В результате исследований, проведенные на кафедре промышленной и медицинской электроники Томского политехнического университета, совместно с НИИ Интроскопии было установлено, что наиболее эффективно реализуется возможности частотно-импульсного способа формирования рентгеновского излучения при построении главной цепи по схеме, представленной на рис. 2.2. Этот вариант схемы был использован при разработке и выпуску первых частотно-импульсных аппаратов нашедших применение на практике при проведении неразрушающего контроля материалов и изделий.

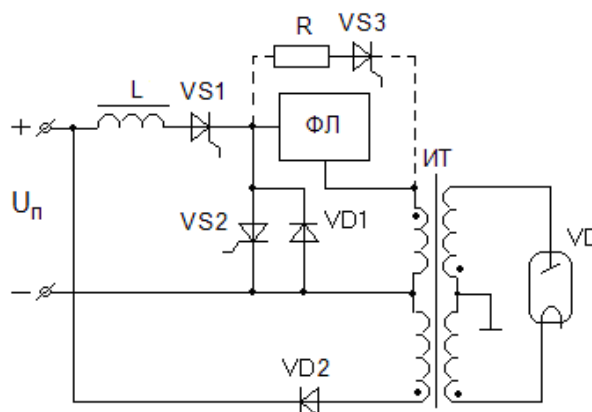


Рис. 2.2 Схема формирования импульсов анодного напряжения на основе искусственной формирующей линии

Время включения питающего устройства при проведении контроля в зависимости от объекта исследования может меняться от десятков секунд до десятков минут. При длительном режиме работы питающего устройства нет особо жестких требований к инерционности цепей обратной связи в системе стабилизации анодного напряжения. Поэтому в этих аппаратах для регулирования и стабилизации напряжения на трубке использовалась схема управляемого выпрямителя на тиристорах.

В схеме, показанной на рис. 2.2 постоянное напряжение с управляемого выпрямителя поступает в цепь заряда формирующей линии. При отпирании тиристора VS1 происходит резонансный заряд линии ФЛ. Благодаря резонансному заряду линия заряжается до удвоенного значения напряжения питания. В зарядной стадии происходит перемагничивание сердечника трансформатора. Поэтому в данной схеме не требуется дополнительного источника размагничивания.

Запирание тиристора VS1 происходит после прекращения протекания зарядного тока линии. Минимальная задержка отпирания разрядного тиристора VS2 определяется временем восстановления запирающих свойств тиристора VS1. После отпирания тиристора VS2 происходит разряд линии через первичную обмотку импульсного трансформатора ИТ и происходит формирование высоковольтного импульса на вторичной обмотке трансформатора. В качестве полупроводниковых ключей в данной схеме можно использовать и мощные силовые транзисторы, быстродействие которых существенно выше.

Работа формирующей линии при неполном согласовании приводит к затягиванию среза импульса анодного напряжения. Поэтому для сохранения длительности среза на уровне фронта необходимо введения в схему дополнительных цепей, обеспечивающих ускоренный разряд линии и

распределенной емкости трансформатора. В частности включение параллельно разрядному тиристорному обратному диоду VD1 обеспечивает частичный разряд емкости в линию через этот диод и тем самым уменьшает длительность среза импульса. В тоже время величина разрядного тока в линию может иногда достигать таких значений, при которых происходит преждевременное запирающее разрядное тиристорное VS2, и формирующая линия разрядится в нагрузку не полностью. В этом случае избежать нарушения нормального режима работы линии позволяет включение дополнительной цепи R–VS3, которая показана на рис. 1.5 пунктиром. Включение тиристора VS3 на стадии формирования среза импульса обеспечивает полный разряд линии и ускоренный разряд распределенной емкости трансформатора. Длительность разрядной стадии этой емкости и соответственно длительность среза импульса определяется величиной сопротивления R.

Введение в схему рис. 2.2 дополнительной обмотки и диода VD2 позволяет снизить величину обратного напряжения на трубке и осуществлять рекуперацию энергии, запасаемой в индуктивности намагничивания импульсного трансформатора.

Тип формирующей линии может быть различным. В тоже время, как показал практический опыт, более приемлемыми при построении частотно-импульсных аппаратов оказались линии лестничного типа. Такие линии более технологичны в изготовлении и позволяют достаточно просто добиться подавления высокочастотных колебаний, возбуждаемых в паразитных контурах линии. Наличие таких колебаний нежелательно, так как они приводят к росту потерь в линии и соответственно к снижению КПД питающего устройства.

Эффективное подавление колебаний в формирующих линиях лестничного типа было достигнуто за счет ввода в зарядную цепь каждого звена линии отсекающего диода (рис. 2.3). Обеспечение приемлемой для практики формы импульса, число звеньев линии должно быть от двух до пяти. Эти данные по числу звеньев линии получены с учетом коррекции формы

импульса, при которой достигается примерное равенство длительностей фронта и среза импульса анодного напряжения.

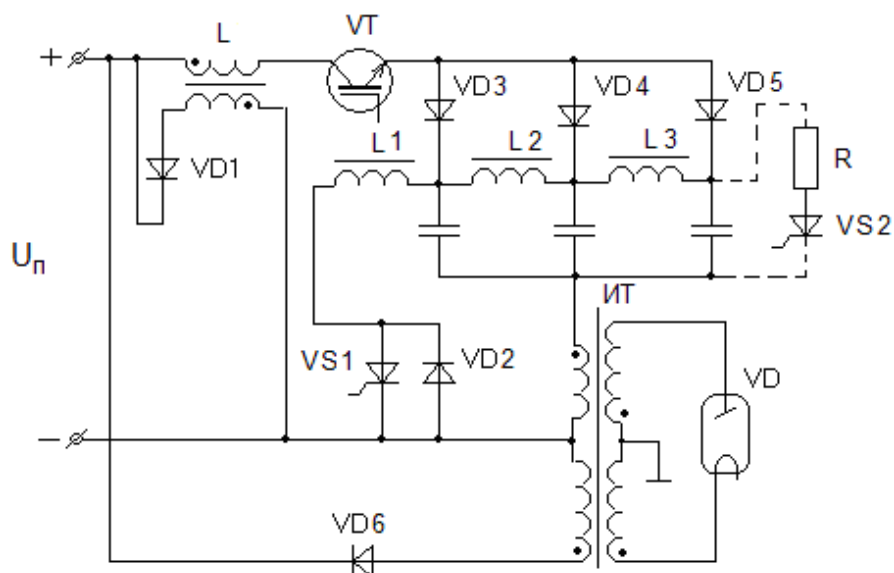


Рис. 2.3 Схема главной цепи аппарата на основе искусственной формирующей линии лестничного типа

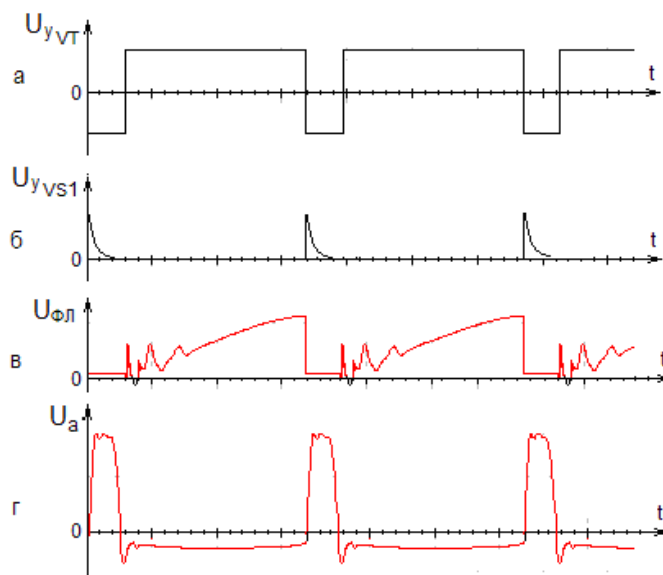


Рис. 2.4 Временные диаграммы, поясняющие принцип действия схемы

Для снижения инерционности системы регулирования и стабилизации анодного напряжения достаточно в зарядную цепь формирующей линии ввести полностью управляемый ключ, т.е. мощный транзистор. Схема главной цепи с

транзисторным ключом в зарядной цепи формирующей линии показана на рис. 2.3. Временные диаграммы, поясняющие принцип действия схемы изображены на рис. 2.4.

Благодаря изменению момента времени запираания транзистора можно регулировать уровень зарядного напряжения линии и, следовательно, амплитуду импульсов анодного напряжения трубки.

Высокое быстродействие управления анодным напряжением и током трубки в аппаратах, построенных по данной схеме, позволяет повысить стабильность выходных параметров рентгеновского излучения и осуществлять их стабилизацию даже при кратковременной работе трубки. Однако наличие дросселей и конденсаторов формирующей линии усложняет схему главной цепи и увеличивает массу и габариты питающего устройства.

2.2. Схемы главной цепи с коррекцией формы вершины импульса

Другой вариант схемы формирователя импульсов, который нашел практическое применение при построении портативных частотно-импульсных рентгеновских аппаратов, показан на рис. 2.5.

Принцип коррекции формы импульса анодного напряжения поясняют временные диаграммы, представленные на рис. 2.6, а, б, в. На рис. 2.6, г показаны импульсы анодного напряжения без использования схемного способа коррекции их формы. Такая форма импульсов получена при работе формирователя рис. 2.5 лишь с одним силовым транзистором VT1, который отпирался управляющими импульсами длительностью $0 = t_2$.

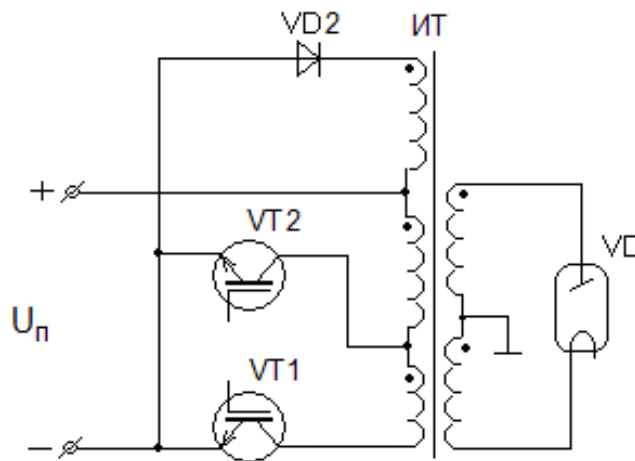


Рис. 2.5 Схема формирователя с коррекцией формы вершины импульсов анодного напряжения

Напряжение $U_{aуст}$ на рис. 2.6, г соответствует установившемуся значению напряжения на трубке после окончания колебательного заряда распределенной емкости импульсного трансформатора.

Работа формирователя при использовании схемного способа коррекции вершины импульса заключается в следующем. При подаче управляемых импульсов U_{y1} открывается силовой транзистор VT1 и происходит колебательный процесс заряда распределенной емкости трансформатора. Таким образом, на интервале времени $(0 - t_1)$ происходит формирование фронта импульса анодного напряжения. В момент времени t_1 напряжение на емкости и соответственно на трубке достигает амплитудного значения, а емкостной ток снижается до нуля. При этом транзистор VT1 закрывается, а VT2 открывается, и напряжение источника питания подключается к части виткам первичной обмотки импульсного трансформатора. Соотношение числа витков обмоток трансформатора рассчитывается таким образом, что после отпирания транзистора VT2 напряжение на вторичной обмотке возрастает на величину $(U_{a.мак} - U_{a.уст})$ и в результате процесс перезаряда емкости прекращается. Следовательно, на интервале времени $(t_1 - t_2)$ напряжение на трубке остается постоянным на уровне $(U_{a.раб} - U_{a.мак})$.

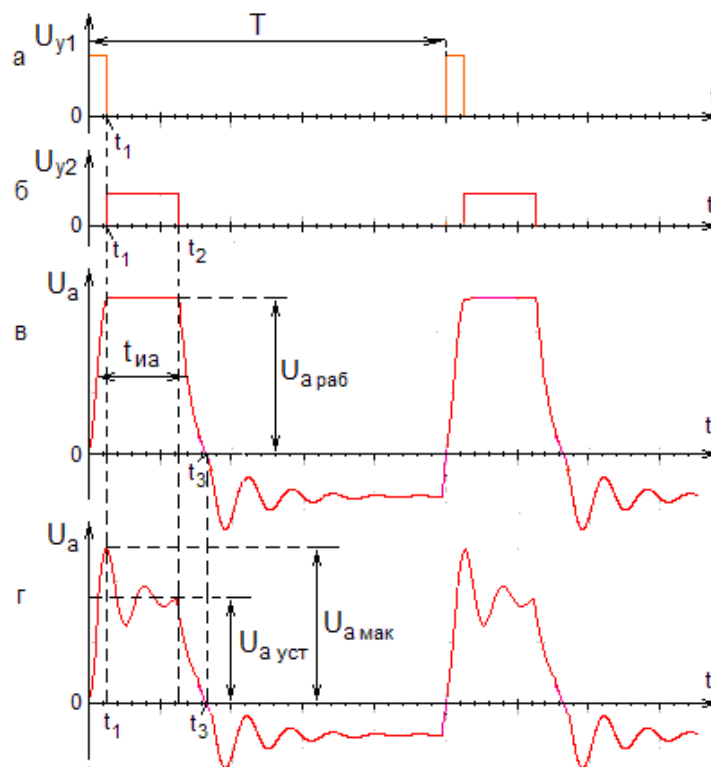


Рис.2.6 Временные диаграммы, поясняющие работу схемы

Таким образом, формируется плоская вершина импульса анодного напряжения. После запираания транзистора VT2 происходит разряд распределенной емкости через рентгеновскую трубку и формируется срез импульса анодного напряжения. При появлении обратного напряжения на обмотках импульсного трансформатора открывается диод VD2 и происходит рекуперация энергии накопленной в индуктивности намагничивания трансформатора в источник питания.

На основании проведенного анализа была выбрана схема импульсного источника питания рентгеновского аппарата, структурное построение которого показано на рис.2.7.

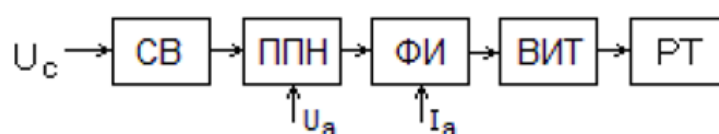


Рис.2.7 Структурная схема импульсного источника питания

СВ – сетевой выпрямитель; ППН – преобразователь постоянного напряжения;

ФИ – формирователь импульсов; ВИТ – высоковольтный импульсный трансформатор; РТ – рентгеновская трубка.

Наиболее эффективная схемная реализация такого построения импульсного источника представлена на рис. 2.8, где использована схема формирователя импульсов высокого напряжения обеспечивающая коррекцию формы импульса (рис. 2.5).

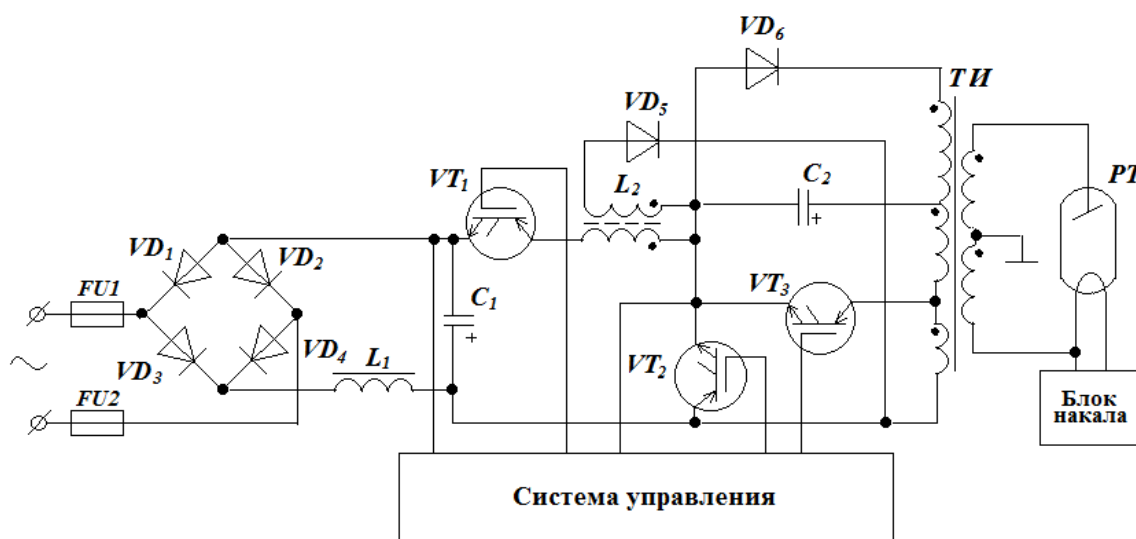


Рис.2.8 Принципиальная схема силовой части импульсного источника питания

В предложенной схеме однофазное сетевое переменное напряжение выпрямляется схемой мостового выпрямителя. Мост выполнен на диодах VD_1 , VD_2 , VD_3 , VD_4 . Сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения осуществляет $L_1 - C_1$ - фильтр. Постоянное напряжение с выхода выпрямителя поступает на вход ключевого преобразователя постоянного напряжения понижающего типа, который выполнен на элементах: транзистор VT_1 , диод VD_5 , дроссель L_2 . Регулирование выходного напряжения преобразователя осуществляется за счет широтно-импульсной модуляции. Напряжение с выхода преобразователя поступает на схему формирователя импульсов высокого напряжения, которые обеспечивают питание рентгеновской трубки. Схема

формирователя импульсов состоит из двух силовых ключей, выполненных на транзисторах VT_2 , VT_3 , диода рекуперации VT_6 , накопительного конденсатора C_2 и высоковольтного импульсного трансформатора $ТН$. Первичная обмотка трансформатора состоит из двух, что позволяет изменять коэффициент трансформации в момент коммутации силовых ключей и формировать плоскую вершину импульса. Кроме того, трансформатор имеет еще одну обмотку осуществляющую рекуперацию энергии, накопленную в индуктивности намагничивания трансформатора в источник питания после формирования импульса высокого напряжения. Вторичная обмотка трансформатора состоит из двух одинаковых высоковольтных обмоток со средней заземленной точкой. Такая конструкция высоковольтного трансформатора позволяет уменьшить объем и соответственно массу высоковольтного блока.

Наличие накопительного конденсатора C_2 в данной схеме позволяет осуществлять перематгничивание сердечник трансформатора по полному циклу, что улучшает массогабаритные показатели трансформатора.

Работа схемы формирователя импульсов высокого напряжения заключается в следующем. При отпирании транзистора VT_2 напряжение с накопительного конденсатора поступает на первичную обмотку трансформатора, состоящую из двух последовательно соединенных обмоток. Происходит процесс формирования фронта импульса напряжения. Из-за наличия индуктивности рассеяния и распределенной емкости трансформатора этот процесс носит колебательный характер. При достижении максимального значения выброса напряжения транзистор VT_2 закрывается, а VT_3 открывается и вследствие уменьшения числа витков первичной обмотки происходит увеличение коэффициента трансформации. Число витков рассчитывается таким, чтобы в момент отпирания транзистора VT_3 колебательный процесс прекращался, и в результате формировалась плоская вершина импульса. После окончания формирования заданной длительности импульса транзистор VT_3 закрывается и происходит формирования среза импульса. При появлении

обратного напряжения на рентгеновской трубке открывается диод VD_6 и происходит рекуперация энергии накопленной в индуктивности намагничивания трансформатора в источник питания. Кроме того, благодаря наличию цепи рекуперации происходит ограничение величины обратного напряжения на трубке. В течение времени, когда оба транзистора закрыты, происходит заряд накопительного конденсатора, что обеспечивает перемагничивание сердечника трансформатора по полному циклу.

Блок накала в схеме рис. 2.8 обеспечивает стабилизированное питание нити накала рентгеновской трубки, при котором обеспечивается заданный анодный ток трубки в номинальном режиме ее работы. Регулирование и подстройка среднего значения анодного тока трубки осуществляется изменением скважности следования импульсов анодного напряжения.

3. РАСЧЕТ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИЛОВОЙ ЦЕПИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

3.1. Расчет схемы формирователя импульсов

Исходные данные для расчета:

- Амплитуда импульса анодного напряжения.....120кВ
- Среднее значение анодного тока5мА
- Активная длительность импульса анодного напряжения..150мкс
- Активная длительность фронта импульсов не более.....40мкс
- Длительность среза импульса не более.....60мкс
- Спад вершины импульса.....не более 3 %
- Питающее напряжение формирователя.....220В

В качестве нагрузки формирователя импульсов используется типовая трубка 0,4БМП2-120 для промышленного просвечивания. Из анализа паспортных данных данной трубки следует, что с учетом предельно допустимой мощности нити накала максимальное значение амплитуды тока

анода (I_{am}) может составлять не более 30 миллиампер. Это значение тока также будет являться одним из исходных параметров необходимых для расчета схемы формирователя импульсов анодного напряжения. Кроме того, требования к форме импульсов целесообразно повысить, т.е. снизить требуемую относительную длительность фронта импульса анодного напряжения. Это связано с тем, что снижение относительной длительности фронта приводит к увеличению сечения сердечника трансформатора и соответственно к снижению числа витков в обмотках. Это упрощает технологию изготовления высоковольтного трансформатора. Суммарная масса трансформатора как показал опыт проектирования импульсных трансформаторов, при этом мало изменяется.

Предварительные расчеты показали, что приемлемая длительность фронта импульса может быть принято на уровне 20 микросекунд.

Определим скважность следования импульсов с учетом формы импульса, предельно допустимой амплитуды импульса анодного тока и нелинейности ВАХ рентгеновской трубки:

$$q = \frac{I_{am} K_{Icp}}{I_{аср}}; \quad (3.1)$$

где:

K_{Icp} - коэффициент, учитывающий форму импульсов и нелинейность РТ;

$I_{аср}$ - среднее значение тока анода при максимальной мощности, выделяемой на трубке.

$$K_{Icp} = \left[1 + \left(\frac{1}{1 - e^{-1/u_k}} - u_k - \frac{1}{2} \right) \lambda_{\Sigma} \right] \quad (3.2)$$

где:

$u_k = 0,3$ - коэффициент, учитывающий нелинейность рентгеновской трубки (среднее значение);

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\phi} + \lambda_c = \frac{t_{\phi}}{t_u} + \frac{t_c}{t_u} = \frac{20}{150} + \frac{60}{150} = 0,133 + 0,4 = 0,533$$

- суммарная относительная длительность фронта и среза импульса анодного напряжения.

$$K_{Icp} = \left[1 + \left(\frac{1}{1 - e^{-1/0,3}} - 0,3 - \frac{1}{2} \right) \cdot 0,533 = 1,127 \right].$$

Скважность следования импульсов:

$$q = \frac{30 \cdot 10^{-3} \cdot 1,127}{5 \cdot 10^{-3}} = 6,76.$$

Максимальная частота следования импульсов:

$$f = \frac{1}{t_u \cdot q}; \quad (3.3)$$

$$f = \frac{1}{150 \cdot 10^{-6} \cdot 6,76} = 986 \text{ Гц}.$$

$$T = \frac{1}{986} = 1014,2 \cdot 10^{-6} \text{ с}.$$

Мощность, выделяемая на аноде трубки:

$$P_{a \max} = \frac{I_{am} K_{Pcp} U_{am}}{q}; \quad (3.4)$$

где:

K_{Pcp} - коэффициент, учитывающий форму импульсов и нелинейность РТ;

U_{am} - Максимальное значение импульса анодного напряжения.

$$K_{Pcp} = \frac{\left[\frac{1}{2} - u_k^2 + e^{-1/u_k} \cdot (u_k + u_k^2) \right] \cdot \lambda_{\Sigma}}{(1 - e^{-1/u_k})} + 1 - \frac{1}{2} \cdot \lambda_{\Sigma} = 0,968; \quad (3.5)$$

$$P_{a \max} = \frac{30 \cdot 10^{-3} \cdot 0,968 \cdot 120000}{6,76} = 515,5 \text{ Вт}.$$

С учетом коррекции выброса на вершине импульса анодного напряжения, определяем коэффициент трансформации импульсного трансформатора:

$$n = \frac{U_{am}}{k_{\epsilon} U_1 \eta_{mp}} = \frac{120 \cdot 10^3}{1,319 \cdot 250 \cdot 0,9} = 404 \quad (3.6)$$

где:

η_{mp} - КПД трансформатора ($\eta_{mp} \approx 0,9$);

U_1 - Напряжение на первичной обмотке трансформатора;

k_{ϵ} - коэффициент, учитывающий уровень выброса анодного напряжения по отношению к установившемуся значению ($k_{\epsilon} = 1,319$).

Сопротивление нагрузки на этапе формирования фронта импульса пересчитанное в первичную цепь:

$$R_n' = \frac{U_{am}}{I_{am} \cdot n^2 \cdot k_{\epsilon}} = \frac{120 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^{-3} \cdot 404 \cdot 404 \cdot 1,319} = 18,58 \text{ Ом} . \quad (3.7)$$

Амплитудное значение тока в первичной обмотке трансформатора на этапе формирования фронта импульса без учета емкостной составляющей:

$$I_{1m}' = \frac{U_1}{R_n'} = \frac{250}{18,58} = 13,46 \text{ А} . \quad (3.8)$$

Приведенное к первичной цепи сопротивление рентгеновской трубки и амплитудное значение тока в первичной обмотке трансформатора на этапе формирования вершины:

$$R_n'' = \frac{U_{am}}{I_{am} \cdot (n \cdot k_{\epsilon})^2} = \frac{120 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^{-3} \cdot (404 \cdot 1,319)^2} = 14,09 \text{ Ом} ; \quad (3.9)$$

$$I_{1m}'' = \frac{U_1}{R_n''} = \frac{250}{14,09} = 17,75 \text{ А} .$$

Действующее значение тока в первичной обмотке:

$$I_{\phi 1\Sigma} = \sqrt{\left(\frac{I_{1m}'}{\sqrt{q_1}}\right)^2 + \left(\frac{I_{1m}''}{\sqrt{q_2}}\right)^2} \quad (3.10)$$

$$\text{Где } q_1 = \frac{T}{t_{\phi}} = \frac{1014,2 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 10^{-6}} = 50,71 ;$$

$$q_2 = \frac{T}{t_u - 0,5 \cdot (t_\phi + t_c)} = \frac{10142 \cdot 10^{-6}}{150 \cdot 10^{-6} - 0,5 \cdot (20 + 60) \cdot 10^{-6}} = 9,22. \quad (3.11)$$

$$I_{\phi 1\Sigma} = \sqrt{\left(\frac{13,46}{\sqrt{50,71}}\right)^2 + \left(\frac{17,75}{\sqrt{9,22}}\right)^2} = 6,14A.$$

Диаметр провода первичной обмотки ВИТ:

$$d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{I_{\phi 1\Sigma}}{j}} = 1,13 \sqrt{\frac{6,14}{5}} = 1,25 \text{ мм}. \quad (3.12)$$

С учетом того, что обмотка будет располагаться на двух кернах ВИТ:

$$d_{1(I)} = d_{1(II)} = 1,13 \sqrt{\frac{I_{\phi\Sigma}}{2 \cdot j}} = 1,13 \sqrt{\frac{6,14}{10}} = 0,89 \text{ мм}. \quad (3.13)$$

Применяем провод ПЕВ-2 диаметром равным 0,89 мм.

Действующее значение тока во вторичной обмотке:

$$I_{\phi 2} = \frac{I_{am}}{\sqrt{q}} = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{6,76}} = 11,54 \cdot 10^{-3} A. \quad (3.14)$$

Диаметр провода вторичной обмотки ВИТ:

$$d_2 = 1,13 \sqrt{\frac{I_{\phi 2}}{j}} = 1,13 \sqrt{\frac{11,54 \cdot 10^{-3}}{5}} = 0,054 \text{ мм}. \quad (3.15)$$

Учитывая технологические трудности намотки тонким проводом, принимаем диаметр провода вторичной обмотки равным 0,1 мм (ПЭЛШО).

С учетом требований к форме импульса анодного напряжения, выберем тип и схему включения обмоток трансформатора на основании [1].

Обмотки трансформатора размещаются на двух стержнях П-образного магнитопровода. Причем первичная обмотка состоит из двух параллельно включенных, вторичная тоже из двух, но включенных последовательно.

Средняя точка вторичной обмотки заземлена.

Определим сечение магнитопровода:

$$S = 4 \cdot \left(\frac{k_\phi \cdot U_1 \sqrt{A}}{\Delta B \cdot K_C \cdot \lambda_\phi} \right)^2 \cdot \left[1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda_\phi \cdot \Delta B \cdot K_C \cdot \Sigma(\Delta_K + d_K)}{k_\phi \cdot U_1 \cdot \sqrt{A}}} \right]^2; \quad (3.16)$$

где:

ΔB - максимальное приращение индукции магнитопровода из электротехнической стали Э360,

K_C - коэффициент заполнения стали,

$\Sigma(\Delta_K + d_K)$ - суммарный изоляционный габарит обмоток трансформатора.

$$A = \frac{1}{3} \varepsilon \cdot \mu_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot v_1 \cdot v_2 \cdot \alpha_y \cdot \tau^2_{\phi} \cdot k_1 \cdot k_2; \quad (3.17)$$

где:

$v_1 \cdot v_2$ - коэффициенты, учитывающие действие ферро магнитного сердечника,

$\mu_0 \cdot \varepsilon_0$ - абсолютная магнитная и диэлектрическая проницаемости,

ε - относительная диэлектрическая проницаемость,

$v_1 \cdot v_2$ - коэффициенты, величина которых определяется схемой и типом обмоток трансформатора, коэффициентом трансформации, диаметр проводов, толщина межслоевой изоляции,

α_y - коэффициент передачи трансформаторной цепи в установившемся режиме.

$$K_1 = \frac{1}{2} \left(\Delta_{12} + \frac{1}{3} d_2 m_2 + \frac{1}{3} d_1 + \frac{\Delta_{2k}}{m_2^2} \cdot \sum_{k=1}^{m_2-1} (m_2 - k)^2 \right); \quad (3.18)$$

$$K_2 = 2 \left(\frac{1}{\Delta_1} + \frac{1}{\Delta_{12}} \left(\frac{n^2}{4m^2} + 1 \right) + \frac{n^2 (m_2 - 1)}{m_2^2 \cdot \Delta_{2K}} \right); \quad (3.19)$$

где:

m_2 - число слоев вторичной обмотки на каждом керне магнитопровода;

Δ_1 - толщина изоляции между сердечником и первичной обмоткой трансформатора;

Δ_{12} - толщина изоляции между 1-ой и 2-ой обмотками ВИТ;

Δ_{2k} - толщина межслоевой изоляции вторичных обмоток.

Зададимся числом слоев $m_2 = 30$.

Суммарная толщина изоляции вторичной обмотки:

$$\sum \Delta_{2K} = \frac{U_{am} \cdot 10^{-6}}{E}; \quad (3.20)$$

где:

E -допустимая напряженность электрического поля ($E = 10 \kappa B /_{мм}$ тр. бумага, тефлонов в масле).

$$\sum \Delta_{2K} = \frac{120 \cdot 10^{-3}}{10} = 12 \cdot 10^{-3} м;$$

$$\Delta_{2k} = \frac{\sum \Delta_{2K}}{(m_2 - 1)} = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{29} = 0.41 \cdot 10^{-3} м;$$

$$\sum_{k=1}^{m_2-1} (m_2 - k)^2 = \sum_{k=1}^{19} (30 - k)^2 = 8555$$

$$K_1 = \frac{1}{2} \left(3 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{3} \cdot 0.1 \cdot 10^{-3} \cdot 30 + \frac{1}{3} \cdot 0.89 \cdot 10^{-3} + 8555 \cdot \frac{0.41 \cdot 10^{-3}}{30^2} \right) = 4.1 \cdot 10^{-3};$$

$$K_2 = 2 \cdot \left(\frac{1}{1.5 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{3 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{404^2}{4 \cdot 30^2} + 1 \right) + \frac{404^2 (30 - 1)}{30^2 \cdot 0.41 \cdot 10^{-3}} \right) = 2568677 \cdot 10^3;$$

$$\alpha_y = \frac{R_n'}{R_n' + R_K + R_\Sigma} = \frac{18,58}{18,58 + 0,4 + 0,6} = 0.95; \quad (3.22)$$

$$\tau_\phi = 1.2 + 2\delta_y^2 = 1.2 + 2 \cdot 0.34^2 = 1.43; \quad (3.23)$$

$$A = \frac{1}{3} \cdot 1.25 \cdot 1.11 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 8.8542 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot (1.43)^2 \cdot 0.95 \cdot 4.1 \cdot 10^{-3} \cdot 2568677 \cdot 10^3 = 5,26 \cdot 10^{-12};$$

$$\begin{aligned} \Sigma(\Delta_K + d_K) &= \sum \Delta_{2K} + K_{u31} \cdot d_1 \cdot m_1 + K_{u32} \cdot d_2 \cdot m_2 + \Delta_{12} + \Delta_1 = \\ &12 \cdot 10^{-3} + 1,05 \cdot 0,89 \cdot 1 + 2 \cdot 0,1 \cdot 30 + 3 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3} = 23,43 \cdot 10^{-3}; \end{aligned} \quad (3.24)$$

где:

K_{u31}, K_{u32} - коэффициенты изоляции проводов первичной и вторичной обмоток,

$m_1 = 1$ - число слоев первичной обмотки.

$$S = 4 \cdot \left(\frac{1.319 \cdot 250 \sqrt{5,26 \cdot 10^{-12}}}{2.8 \cdot 0.85 \cdot 0,133} \right)^2 \cdot \left[1 + \sqrt{1 + \frac{0,133 \cdot 2.8 \cdot 0.85 \cdot 23,43 \cdot 10^{-3}}{1.319 \cdot 250 \cdot \sqrt{5,26 \cdot 10^{-12}}}} \right]^2 = 420 \cdot 10^{-6} м^2;$$

С учетом того, что сечение имеет квадратную форму можно вычислить стороны квадрата: $a = b = \sqrt{S} = \sqrt{420 \cdot 10^{-6}} = 20,5 \cdot 10^{-3} м;$

Число витков первичной обмотки:

$$w_1 = \frac{k_{\epsilon} \cdot U_1 \cdot t_u}{\Delta B \cdot S \cdot K_C} = \frac{1.319 \cdot 250 \cdot 150 \cdot 10^{-6}}{2.8 \cdot 420 \cdot 10^{-6} \cdot 0.85} = 49; \quad (3.25)$$

Число витков вторичной обмотки:

$$w_2 = n \cdot w_1 = 404 \cdot 49 = 19796 \quad (3.26)$$

$$w_{2(I)} = w_{2(II)} = \frac{w_2}{2} = \frac{19796}{2} = 9898 \quad (3.27)$$

Определим ширину окна сердечника:

$$h_{\text{сер}} = \frac{k_{\text{зан}} \cdot w_1 \cdot d_1 \cdot k_{\text{уз1}}}{m_1} = \frac{1.3 \cdot 49 \cdot 0.89 \cdot 10^{-3} \cdot 1.05}{1} = 60 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad (3.28)$$

Ширина намотки 1-го слоя вторичной обмотки: $h_{\text{max}} = 59 \cdot 10^{-3} \text{ м};$

Ширина намотки последнего слоя вторичной обмотки:

$$h_{\text{min}} = h_{\text{max}} - \frac{U_{\text{ам}} \cdot 10^{-6}}{E} = 59 \cdot 10^{-3} - \frac{120 \cdot 10^{-6}}{10} = 47 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad (3.29)$$

Среднее значение ширины слоя вторичной обмотки:

$$h_{\text{cp}} = \frac{h_{\text{min}} + h_{\text{max}}}{2} = \frac{47 + 59}{2} = 53 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad (3.30)$$

Среднее значение числа витков вторичной обмотки:

$$w_{\text{cp}} = \frac{h_{\text{cp}}}{d_2 \cdot K_{\text{уз2}}} = \frac{53 \cdot 10^{-3}}{0.1 \cdot 2} = 265; \quad (3.31)$$

Определим расчетное число слоев вторичной обмотки:

$$m_2 = \frac{w_{2(I)}}{w_{\text{cp}}} = \frac{9898}{265} = 37; \quad (3.32)$$

Видно, что расчетное число слоев примерно равно принятому нами значению числа слоев, т.е. пересчет не требуется.

Определим средний периметр обмоток трансформатора:

$$P_{\text{cp}} = \pi \left(\sum (\Delta_k + d_2) + a \cdot \sqrt{2} \right) = 3.14 \cdot (23.43 \cdot 10^{-3} + 20.5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2}) = 164.7 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}; \quad (3.33)$$

Индуктивность рассеивания ВИТ, приведенная к первичной обмотке:

$$L'_s = 1.25 \cdot \mu_0 \cdot w_1^2 \cdot P_{\text{cp}} \cdot \frac{K_1}{h_{\text{cp}}}; \quad (3.34)$$

$$L'_s = 1.25 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 49^2 \cdot 164,7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{4,1 \cdot 10^{-3}}{53 \cdot 10^{-3}} = 48,05 \cdot 10^{-6} \text{ Гн.}$$

Распределенная емкость обмоток ВИТ, приведенная к первичной обмотке:

$$C'_2 = \frac{1}{3} \cdot 1,11 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot P_{cp} \cdot h_{cp} \cdot K_2 = \frac{1}{3} \cdot 1,11 \cdot 8,8542 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 164,7 \cdot 10^{-3} \cdot 53 \cdot 10^{-3} \cdot 2568677 \cdot 10^3 = 3,67 \cdot 10^{-6} \text{ Ф};$$

Волновое сопротивление трансформаторной цепи:

$$\rho = \sqrt{\frac{L'_s}{C'_2}} = \sqrt{\frac{48,05 \cdot 10^{-6}}{3,67 \cdot 10^{-6}}} = 3,62; \quad (3.35)$$

Индуктивность намагничивания:

$$L_\mu = \frac{\mu_0 \cdot \mu_{cp} \cdot w_1^2 \cdot S \cdot K_c}{l_{cp}}; \quad (3.36)$$

где:

μ_{cp} - средняя относительная магнитная проницаемость стали (5500, для Э360),

l_{cp} - средняя длина сердечника.

$$l_{cp} = 2[(h_{cp} + \sqrt{S}) + (l_{ок} + \sqrt{S})] \quad (3.37)$$

где:

$l_{ок}$ - длина окна.

$$\begin{aligned} l_{ок} &= 2 \cdot \sum (\Delta_K + d_k) + (\sqrt{2 \cdot S} - \sqrt{S}) + \frac{U_{ам} \cdot 10^{-6}}{E} \cdot 1,5 = \\ &= 2 \cdot 23,43 \cdot 10^{-3} + (\sqrt{2 \cdot 420 \cdot 10^{-6}} - \sqrt{420 \cdot 10^{-6}}) + \frac{1,5 \cdot 120 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}}{10} = 73,4 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}; \end{aligned} \quad (3.38)$$

$$l_{cp} = 2[(53 \cdot 10^{-3} + \sqrt{420 \cdot 10^{-6}}) + (73,4 \cdot 10^{-3} + \sqrt{420 \cdot 10^{-6}})] = 334,76 \cdot 10^{-3};$$

$$L_\mu = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5500 \cdot 49^2 \cdot 420 \cdot 10^{-6} \cdot 0,85}{334,76 \cdot 10^{-3}} = 17,7 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Сопротивление первичной обмотки трансформатора:

$$r_1 = 0.5 \cdot 3.42 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{w_1(\sqrt{2} \cdot a + 2 \cdot \Delta_1) \cdot 4}{d_{1(I)}^2} \cdot \left(1 + 2.18 \cdot \frac{d_{1(I)}}{\sqrt{t_H}}\right) \cdot K_6;$$

$$r_1 = 0.5 \cdot 3.42 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{49 \cdot (\sqrt{2} \cdot 20.5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3}) \cdot 4}{(0.89 \cdot 10^{-3})^2} \cdot \left(1 + 2.18 \cdot \frac{0.89 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{150 \cdot 10^{-6}}}\right) \cdot 2.8 = 0,44 \text{ Ом.}$$

Сопротивление вторичной обмотки ВИТ приведенное к первичной цепи:

$$r_2' = 3.42 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{w_2 \cdot P_{cp} \cdot 4}{d_2^2 \cdot \pi \cdot n^2} \cdot \left(1 + 2.18 \cdot \frac{d_2}{\sqrt{t_H}}\right) \cdot K_6; \quad (3.39)$$

$$r_2' = 3.42 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{19796 \cdot 164,7 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{(0.1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi \cdot (404)^2} \cdot \left(1 + 2.18 \cdot \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{150 \cdot 10^{-6}}}\right) \cdot 2.8 = 0,25 \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление обмоток ВИТ:

$$r'_{обм.\Sigma} = r_1 + r_2' = 0,44 + 0,25 = 0,69 \text{ Ом}; \quad (3.40)$$

$$R_1' = r'_{обм.\Sigma} + R_K = 0,69 + 0,4 = 1,09 \text{ Ом}; \quad (3.41)$$

Уточним ранее установленные величины:

$$\alpha = \frac{R'_n}{R'_n + R'_1} = \frac{18,58}{18,58 + 1,09} = 0.945; \quad (3.42)$$

$$\delta_y = \frac{\sqrt{\alpha}}{2} \cdot \left(\frac{\rho}{R'_n} + \frac{R'_1}{\rho}\right) = \frac{\sqrt{0,945}}{2} \cdot \left(\frac{3,62}{18,58} + \frac{1,09}{3,62}\right) = 0,241; \quad (3.43)$$

Относительное значение выброса анодного напряжения:

$$u_\epsilon = 1 + e^{-\frac{\pi \cdot \delta_y}{\sqrt{1 - \delta_y^2}}} = 1 + e^{-\frac{\pi \cdot 0,241}{\sqrt{1 - (0,241)^2}}} = 1,458.$$

Уточняем длительность фронта импульса анодного напряжения:

$$t_\phi = \tau_\phi \cdot \sqrt{\alpha_y \cdot L'_S \cdot C'_2}. \quad (3.44)$$

Где τ_ϕ – относительная длительность фронта.

$$\tau_\phi \approx 1,2 + 2 \cdot \delta_y^2 = 1,2 + 2 \cdot (0,241)^2 = 1,316; \quad (3.45)$$

$$t_\phi = 1,316 \cdot \sqrt{0,945 \cdot 48,05 \cdot 10^{-6} \cdot 3,67 \cdot 10^{-6}} = 17 \cdot 10^{-6} [\text{с}].$$

Определяем время открытого состояния первого ключевого элемента формирователя импульсов:

$$t_{K1} = \tau_{m.u} \cdot \sqrt{\alpha_y \cdot L'_S \cdot C'_2}. \quad (3.46)$$

Где $\tau_{m.u} = \frac{\pi}{\sqrt{1-\delta_y^2}} = \frac{\pi}{\sqrt{1-(0,241)^2}} = 3,237$ – относительное время, при котором

всплеск анодного напряжения на рентгеновской трубке достигает максимального значения.

$$t_{K1} = 3,237 \cdot \sqrt{0,945 \cdot 48,05 \cdot 10^{-6} \cdot 3,67 \cdot 10^{-6}} = 41,8 \cdot 10^{-6} [\text{с}].$$

Потери мощности в обмотке меди:

$$P_{обм} = r'_{обм.\Sigma} \cdot I_{\phi 1}^2; \quad (3.47)$$

$$P_{обм} = 0,69 \cdot (6,14)^2 = 26,013 \text{ Вт}.$$

Потери в стали магнитопровода:

$$P_C = \frac{\Delta B \cdot l_{\phi} \cdot S \cdot K_c}{t_H \cdot q} \left(2 \cdot H_C + \frac{\Delta B \cdot \Delta_c^2}{12 \cdot \rho_{y0} \cdot t_H} \right) \quad (3.48)$$

где:

Δ_c - толщина ленты витого сердечника 0.08мм;

ρ_{y0} - удельное сопротивление электротехнической стали Э360 $50 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

H_C - коэрцитивная сила электротехнической стали Э360 $28 \frac{\text{А}}{\text{м}}$.

$$P_C = \frac{2,8 \cdot 334,76 \cdot 10^{-3} \cdot 420 \cdot 10^{-6} \cdot 0,85}{150 \cdot 10^{-6} \cdot 6,76} \cdot \left(2 \cdot 28 + \frac{2,8 \cdot (0,08 \cdot 10^{-3})^2}{12 \cdot 50 \cdot 10^{-8} \cdot 150 \cdot 10^{-6}} \right) = 25,05 \text{ Вт}.$$

Суммарные потери мощности в трансформаторе:

$$P_{ИТ} = P_{обм} + P_C; \quad (3.49)$$

$$P_{ИТ} = 26,013 + 25,05 = 51,06 \text{ Вт}.$$

КПД импульсного трансформатора:

$$\eta_{ИТ} = \frac{P_a}{P_a + P_{ИТ}} = \frac{515,5}{515,5 + 51,06} = 0,91.$$

Масса стали:

$$M_C = S \cdot l_{\phi} \cdot K_C \cdot \gamma_C = 420 \cdot 10^{-6} \cdot 334,76 \cdot 10^{-3} \cdot 0,85 \cdot 7800 = 0,932 \text{ кг}. \quad (3.50)$$

Масса меди:

$$\begin{aligned}
M_M &= 2 \cdot w_1 \cdot \gamma_M \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot \left[2 \cdot d_1^2 \cdot \pi (a \cdot \sqrt{2} + 2 \cdot \Delta_1) + 0,5 \cdot n \cdot d_2^2 \cdot P_{cp} \right] = \\
&= 2 \cdot 49 \cdot 2200 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot \left[2 \cdot \pi \cdot (0,89 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (\sqrt{2 \cdot 420 \cdot 10^{-6}} + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}) + \right. \\
&\quad \left. + 0,5 \cdot 404 \cdot (0,1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 164,7 \cdot 10^{-3} \right] = 0,083 \text{ кг}.
\end{aligned}
\tag{3.51}$$

Масса изоляции:

$$M_H = 2 \cdot 0,8 \cdot \gamma_{из} \cdot h_{cp} \cdot \sum \Delta_{2K} \cdot P_{cp} = 2 \cdot 0,8 \cdot 1000 \cdot 53 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 164,7 \cdot 10^{-3} = 0,168 \text{ кг}.$$

$$\tag{3.52}$$

Где:

$\gamma_C = 7800, \gamma_M = 8800, \gamma_{из} = 1000$ — удельный вес стали, меди и изоляции.

Суммарная масса трансформатора:

$$M_{ИТ} = M_M + M_C + M_H;$$

$$\tag{3.53}$$

$$M_{ИТ} = 0,932 + 0,083 + 0,168 = 1,183 \text{ кг}.$$

Уточняем значение длительности среза импульса:

$$t'_c = \tau_c \cdot \sqrt{L''_{\mu} \cdot C''_2}.$$

$$\tag{3.54}$$

Где:

τ_c — относительная длительность среза;

L''_{μ} — индуктивность намагничивания трансформатора на этапе формирования спада импульса;

C''_2 — распределенная емкость обмоток трансформатора, приведенная к первичной цепи на этапе формирования спада импульса.

$$L''_{\mu} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_{cp} \cdot \omega_1'^2 \cdot S \cdot k_c}{l_{cp}}.$$

$$\tag{3.55}$$

Где:

μ_{cp} — средняя относительная магнитная проницаемость стали (для стали Э360 $\mu_{cp} \approx 5500$);

$$\omega_1' = \frac{\omega_1}{u_{\phi}} = \frac{49}{1,458} = 34 \text{ — число витков первичной обмотки трансформатора на}$$

этапе формирования спада и среза импульса.

$$L''_{\mu} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5500 \cdot 34^2 \cdot 420 \cdot 10^{-6} \cdot 0.85}{334,76 \cdot 10^{-3}} = 8,52 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Для определения C''_2 необходимо вычислить K'_2 при коэффициенте трансформации на этапе формирования вершины импульса $n_2 = \frac{\omega_2}{\omega'_1} = \frac{19796}{34} = 582$.

$$K_2 = 2 \cdot \left(\frac{1}{1,5 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{3 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{582^2}{4 \cdot 30^2} + 1 \right) + \frac{582^2(30-1)}{30^2 \cdot 0,41 \cdot 10^{-3}} \right) = 2665295 \cdot 10^3;$$

$$C'_2 = \frac{1}{3} \cdot 1,11 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot P_{cp} \cdot h_{cp} \cdot K_2 = \frac{1}{3} \cdot 1,11 \cdot 8,8542 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 164,7 \cdot 10^{-3} \cdot 53 \cdot 10^{-3} \cdot 2665295 \cdot 10^3 = 3,81 \cdot 10^{-6} \phi.$$

Для определения τ_c с учетом нелинейности рентгеновской трубки необходимо вычислить коэффициент b [1].

$$b = \frac{\sqrt{\frac{L''_{\mu}}{C''_2}}}{2 \cdot R_H}. \quad (3.56)$$

Где:

$$R_H = \frac{U_{am}}{I_{am} \cdot (n_2)^2} = \frac{120 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^{-3} \cdot (582)^2} = 11,8 [Ом]. \quad (3.57)$$

$$b = \frac{\sqrt{\frac{8,52 \cdot 10^{-3}}{3,81 \cdot 10^{-6}}}}{2 \cdot 11,8} = 2.$$

При значении коэффициента $b=2$ относительная длительность среза $\tau_c \approx 0,23$ [3].

$$t'_c = \tau_c \cdot \sqrt{L''_{\mu} \cdot C''_2} = 0,23 \cdot \sqrt{8,52 \cdot 10^{-3} \cdot 3,81 \cdot 10^{-6}} = 41,4 \cdot 10^{-6} [с].$$

Спад вершины импульса относительно номинального значения анодного напряжения:

$$\Delta U_{СП} = \frac{R_1' \cdot \alpha_y \cdot t_H}{L''_{\mu}}; \quad (3.58)$$

$$\Delta U_{СП} = \frac{1,01 \cdot 0,95 \cdot 150 \cdot 10^{-6}}{8,52 \cdot 10^{-3}} = 0,016.$$

Полученное значение спада плоской вершины во много раз меньше значения предъявляемого к рассчитываемому трансформатору.

Определяем амплитудное значение емкостного тока на этапе формирования фронта импульса:

$$I_{cm} = \frac{\sqrt{\alpha} \cdot E_n \cdot e^{-\delta_y \cdot \tau_{ml}}}{\rho \cdot \sqrt{1 - \delta_y^2}} \cdot \sin(\sqrt{1 - \delta_y^2} \cdot \tau_{ml}). \quad (3.59)$$

Где τ_{ml} относительное время соответствующие максимальному значению выброса емкостного тока.

$$\tau_{ml} = \frac{\arctg \left[\frac{\sqrt{1 - \delta_y^2}}{\delta_y} \right]}{\sqrt{1 - \delta_y^2}} = \frac{\arctg \left[\frac{\sqrt{1 - 0,241^2}}{0,241} \right]}{\sqrt{1 - 0,241^2}} = 1,368. \quad (3.60)$$

$$I_{cm} = \frac{\sqrt{0,95} \cdot 250 \cdot e^{-0,241 \cdot 1,368}}{3,62 \cdot \sqrt{1 - (0,241)^2}} \cdot \sin(\sqrt{1 - (0,241)^2} \cdot 1,368) = 48,4 [A].$$

Суммарное амплитудное значение тока через первый ключевой элемент формирователя импульсов:

$$I_{K1m\Sigma} \approx I'_{1m} + I_{cm} = 13,46 + 48,4 = 61, [A]$$

Определение числа витков обмотки рекуперации из условия равенства вольт – секундных площадок, действующих на индуктивности намагничивания трансформатора в установившемся режиме.

$$w_p = \frac{w_1(T - t_H)}{t_H} \cdot K_{зан}; \quad (3.61)$$

где $K_{зан} = 1,4$ - коэффициент запаса.

$$w_p = \frac{49 \cdot (1014 - 150)}{150} \cdot 1,4 = 396.$$

Определение максимального значения тока намагничивания:

$$I_{\mu \max} \approx \frac{U_1 \cdot t_H}{L_{\mu}}; \quad (3.62)$$

$$I_{\mu \max} = \frac{250 \cdot 150 \cdot 10^{-6}}{8,52 \cdot 10^{-3}} = 4,4 A;$$

Определение максимального тока в обмотке рекуперации:

$$I_{p\max} = \frac{w_1'}{w_p} I_{\mu\max}; \quad (3.63)$$

$$I_{p\max} = \frac{34 \cdot 4,4}{396} = 0,38A.$$

Эффективное значение тока обмотки:

$$I_{\text{эф. рек}} \approx \frac{I_{p\max}}{\sqrt{\frac{T}{T-t_{II}}}} = \frac{0,38}{\sqrt{\frac{1014}{1014-150}}} = 0,351[A] \quad (3.64)$$

Диаметр провода обмотки рекуперации:

$$d_p = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,351}{5}} = 0,3\text{мм} \quad (3.65)$$

Из стандартного ряда выбираем ПЭВ – 2 $d_p = 0,3\text{мм}$.

Максимальное напряжение на диоде рекуперации:

$$U_{\text{д. рек}} = \frac{U_1 \cdot w_p}{w_1'} + U_1; \quad (3.66)$$

$$U_{\text{д. рек}} = \frac{250 \cdot 396}{34} + 250 = 3162[B];$$

Максимальное обратное напряжение на рентгеновской трубке:

$$U_{\text{обр. рт}} = \frac{U_{am} \cdot w_1'}{w_p}; \quad (3.67)$$

$$U_{\text{обр. рт}} = \frac{120 \cdot 10^3 \cdot 34}{396} = 10,3[kB].$$

Расчет показал, что параметры спроектированного ВИТ полностью соответствуют требованиям технического задания.

На основании результатов расчета качества ключевых элементов схемы формирователя выбираем биполярные транзисторы с изолированным затвором IRGB8B60K ($V_{CES} = 600B, I_c = 28A, I_{CM} = 56A$). По своим параметрам они полностью соответствуют условиям работы ключевых элементов схемы генераторного устройства. В качестве диода рекуперации выбираем выпрямительный столб КЦ202Г ($U_{a.обр} = 6kB, I_{a.ср} = 0,5A$).

3.2. Расчет схемы регулятора напряжения

Регулятор напряжения проектируемого источника питания трубки построен на основе схемы ключевого преобразователя постоянного напряжения понижающего типа. Для регулирования напряжения на выходе преобразователя используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Частоту преобразования примем равной 20 кГц .

Определяем среднее значение тока нагрузки преобразователя:

$$I_{н.ср} = \frac{P_n}{U_n} = \frac{600}{250} = 2,4[A]. \quad (3.68)$$

Емкость накопительного конденсатора C_2 (рис. 2.8):

$$C_2 = \frac{2P_n \cdot T}{U_{\max}^2 - U_{\min}^2}, \quad (3.69)$$

где $U_{\max}$ – максимальное напряжение на емкости в номинальном режиме;

$U_{\min}$ – минимальное напряжение на емкости после формирования вершины импульса в номинальном режиме;

T – период следования импульсов анодного напряжения.

Учитывая, что допустимый спад напряжения на конденсаторе составляет 3%, определяем $U_{н. \min}$:

$$U_{н. \min} = U_{\max} \cdot (1 - 0,03) = 250 \cdot (1 - 0,03) = 242,5[B].$$

Тогда емкость конденсатора будет равна:

$$C_2 = \frac{2 \cdot 600 \cdot 1014 \cdot 10^{-6}}{250^2 - 242,5^2} = 329,42 \cdot 10^{-6}[\Phi].$$

Определяем пределы изменения входного напряжения ключевого преобразователя с учетом изменения напряжения сети (+10%; -15%).

Входное напряжение преобразователя при номинальном напряжении сети $U_c = 220B$ (характер нагрузки сетевого выпрямителя емкостной):

$$E_{вх.ном} = U_c \cdot \sqrt{2} - \Delta U, \quad (3.70)$$

где $\Delta U \approx 3B$ – падение напряжения на диодах и проводах дросселя выпрямителя.

$$E_{\text{ex.ном}} = 220 \cdot \sqrt{2} - 3 = 308,13[B];$$

$$E_{\text{ex.min}} = E_{\text{ex.ном}} \cdot (1 - 0,15) = 262[B];$$

$$E_{\text{ex.max}} = E_{\text{ex.ном}} \cdot (1 + 0,1) = 339[B].$$

Определяем минимально допустимую индуктивность дросселя преобразователя, при которой еще сохраняется режим непрерывного тока.

$$L_{\text{кр}} = \frac{E_{\text{ex.max}} \cdot (1 - \gamma_{\text{min}}) \cdot \gamma_{\text{min}}}{2 \cdot I_{\text{н.ср}} \cdot f} \quad (3.71)$$

$$\gamma_{\text{min.ном}} = \frac{U_{\text{н}}}{E_{\text{ex.max}}} = \frac{250}{339} = 0,74$$

$$\gamma_{\text{min}} = \frac{U_{\text{н}}}{2 \cdot E_{\text{ex.max}}} = \frac{250}{2 \cdot 339} = 0,37$$

$$\gamma_{\text{max}} = \frac{U_{\text{н}}}{E_{\text{ex.min}}} = \frac{250}{262} = 0,95$$

$$L_{\text{кр}} = \frac{339 \cdot (1 - 0,37) \cdot 0,37}{2 \cdot 2,4 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,823 \cdot 10^{-3} [Гн].$$

Принимаем значение индуктивности дросселя с запасом:

$$L = 5 \cdot 0,823 \cdot 10^{-3} = 4,12 \cdot 10^{-3} [Гн].$$

Максимальное значение тока через транзистор и обратный диод:

$$I_{\text{VT}} = I_{\text{VD}} = I_{\text{н}} + \frac{(E_{\text{ex.max}} - U_{\text{н}}) \cdot \gamma_{\text{max}}}{2 \cdot L \cdot f_{\text{вч}}} = 2,4 + \frac{(339 - 250) \cdot 0,95}{2 \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 2,91 [A]. \quad (3.72)$$

Коэффициент заполнения в номинальном режиме:

$$\gamma_{\text{ном}} = \frac{U_{\text{н}}}{E_{\text{ex.ном}}} = \frac{250}{308,13} = 0,811.$$

В качестве материала сердечника дросселя выбираем МП-140 ($B_m = 0,65 \text{ Тл}; H_m = 5750 \text{ А/м}; \mu_p = 50$).

Определяем объем магнитопровода дросселя:

$$V_M = \frac{L \cdot I_n^2}{B_m \cdot H_m} = \frac{4,12 \cdot 10^{-3} \cdot 2,4^2}{0,65 \cdot 5750} = 6,35 \cdot 10^{-6} [\text{м}^3]. \quad (3.73)$$

Выбираем из стандартного ряда кольцевой сердечник К64-40-14.

$$(l_c = 157 \text{ мм}; S_c = 150 \text{ мм}^2; V_M = 23550 \text{ мм}^3).$$

Для того, чтобы разместить надежно разместить намотку в окне сердечника используем два таких кольца

$$(V_{M.поб} = 2 \cdot V_c = 47100 \text{ мм}^3; S_{c.поб} = 2 \cdot S_c = 300 \text{ мм}^2; S_{ок} = 1257 \text{ мм}^2).$$

Определяем число витков дросселя:

$$\omega = \sqrt{\frac{L \cdot l_c}{S_{c.поб} \cdot \mu_p \cdot \mu_0}} = \sqrt{\frac{4,12 \cdot 10^{-3} \cdot 157 \cdot 10^{-3}}{300 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}} = 370 \quad (3.74)$$

Определяем диаметр провода:

$$d_{np} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{I_{оп}}{j}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{2,4}{3}} = 1,01 [\text{мм}] \quad (3.75)$$

Выбираем провод ПЭВ-2 диаметром 1 мм. Сечение провода $S_{np} = 0,785 [\text{мм}^2]$.

Суммарное сечение провода:

$$S_{np.сум} = 2 \cdot \omega \cdot S_{np} = 370 \cdot 0,785 = 581 [\text{мм}^2]. \quad (3.76)$$

Проверяем значение коэффициента заполнения окна медью:

$$K_{ок} = \frac{S_{np.сум}}{S_{ок}} = \frac{581}{1257} = 0,46. \quad (3.77)$$

Максимальная амплитуда высокочастотных пульсаций на конденсаторе:

$$U_{m.вч} = \frac{0,5 \cdot E_{ex.max} \cdot \gamma_{min} \cdot (1 - \gamma_{min})}{8 \cdot L \cdot C_2 \cdot f_{вч}^2} = \frac{0,5 \cdot 339 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,37)}{8 \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} \cdot 329,42 \cdot 10^{-6} \cdot (20 \cdot 10^3)^2} = 0,01 [\text{В}]. \quad (3.78)$$

Выбираем конденсатор К50-27 с параметрами: 47 мкФ, 450 В.

Количество конденсаторов соединяемых в параллель:

$$n_c = \frac{329,42}{47} = 7.$$

3.3. Расчет схемы сетевого выпрямителя

Определяем среднее значение тока нагрузки выпрямителя:

$$I_{н.ср} = \frac{P_{н.вып}}{U_{н.вып}} = \frac{615}{308} = 2[A].$$

Среднее значения тока через диоды:

$$I_{д.ср} = \frac{I_{н.ср}}{2} = \frac{2}{2} = 1[A].$$

Максимальное обратное напряжение на диодах:

$$U_{д.обр} = U_{с.макс} \cdot \sqrt{2} = 242 \cdot \sqrt{2} = 342,2[B].$$

Сопротивление нагрузки выпрямителя в номинальном режиме:

$$R_{н.вып} = \frac{U_{н.вып}}{I_{н.ср}} = \frac{308}{2} = 154[Ом].$$

Согласно представленной в литературе [16] методики расчета определяем параметр – А (расчет мостового выпрямителя с емкостной реакцией нагрузки):

$$A = \frac{\pi \cdot r_{д}}{m \cdot R_{н.вып}}, \quad (3.79)$$

$$\text{Где } r_{д} = \frac{2 \cdot \Delta U_{д}}{I_{д.ср}} = \frac{2 \cdot 1,25}{1} = 2,5[Ом] - \text{сопротивление диодов одного плеча}$$

мостовой схемы выпрямителя.

$$A = \frac{\pi \cdot 2,5}{2 \cdot 154} = 0,0255.$$

Максимальное значение тока через диод:

$$I_{д\max} = \frac{I_{н.ср} \cdot F(\theta)}{m}. \quad (3.80)$$

При параметре – А равному значению 0,02, $F(\theta) = 15$.

$$I_{д\max} \approx \frac{2 \cdot 15}{2} = 15[A].$$

Согласно данным расчета выбираем диоды типа Д247.

Определяем значение емкости сглаживающего фильтра:

$$C_{\phi} = \frac{H}{k_n \cdot r_{д}} = \frac{50}{0,03 \cdot 2,5} = 666,7[мкФ]. \quad (3.81)$$

Выбираем конденсаторы К50-28 (47 мкФ, 350 В).

Число параллельно включаемых конденсаторов:

$$n_c = \frac{666,7}{47} = 14.$$

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурс эффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурс эффективности и ресурсосбережения.

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения

Таблица 1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (3x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Доступность (понятность)	0.3	95	100	0.95	28.5
2. Удобство использования	0.3	90	100	0.9	27
3. Простота	0.08	80	100	0.8	6.4
4. Унифицированность	0.02	75	100	0.75	1.5
5. Полнота изложения	0.1	95	100	0.95	9.5
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
6. Конкурентоспособность продукта	0.06	75	100	0.75	4.5
7. Перспективность рынка	0.06	85	100	0.85	5.1
8. Цена	0.08	95	100	0.95	7.6
Итого	1				

Проведем оценку качества и перспективности по технологии QuaD по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 20.836, \quad (1)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Перспективность в нашем случае составляет 20,8. Это говорит о том, что перспективность ниже среднего.

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Таблица 2. Морфологическая матрица для анализа

	1	2	3	4
А. Способ представления информации	текст;	графики; таблицы;	видео;	аудио;
Б. Содержание анализа	анализ методов; анализ средств;	анализ существующих средств;	анализ существующих методов;	рассмотрение других анализов;
В.	метод;	метод;	средства;	средства;

Структура анализа способа измерения	средства; анализ; выбор;	физическое пояснение; анализ;	физическое пояснение; выбор;	экономическое обоснование; выбор;
Г. Способы получения информации	интернет; руководитель;	энциклопедии; магазины;	получение информации с производства;	комбинированный метод получения информации;
Д. Требуемые человеческие ресурсы для выполнения 7 работ	команда инженеров;	1 студент;	3 любителя проведения анализов;	1 профессор;

Были выявлены наиболее 3 удачные комбинации составления данной работы:

1. A1B4B3Г1Д3 - наиболее дешевый; первая комбинация отличается простотой реализации, наименьшими затратами ресурсов, дешевизной выполнения работы. В следствии чего получится дешевая, но низкокачественная работа.

2. A1B1B1Г4Д2 - универсальный; вторая комбинация является универсальной. Полученная работа будет выполнена без лишних затрат и является средней по качеству.

4.3. Планирование научно-исследовательских работ.

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.

Таблица 3. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Анализ используемых средств и методов	
	9	Систематизация и оформление информации	
Оценка полученных результатов	10	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	11	Заключение	руководитель, студент

4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается

экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (2)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 4 работ требуются специалисты:

инженер (И);

научный руководитель (НР).

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

Ч_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = 1.21, \quad (5)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 366$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 52$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 12$).

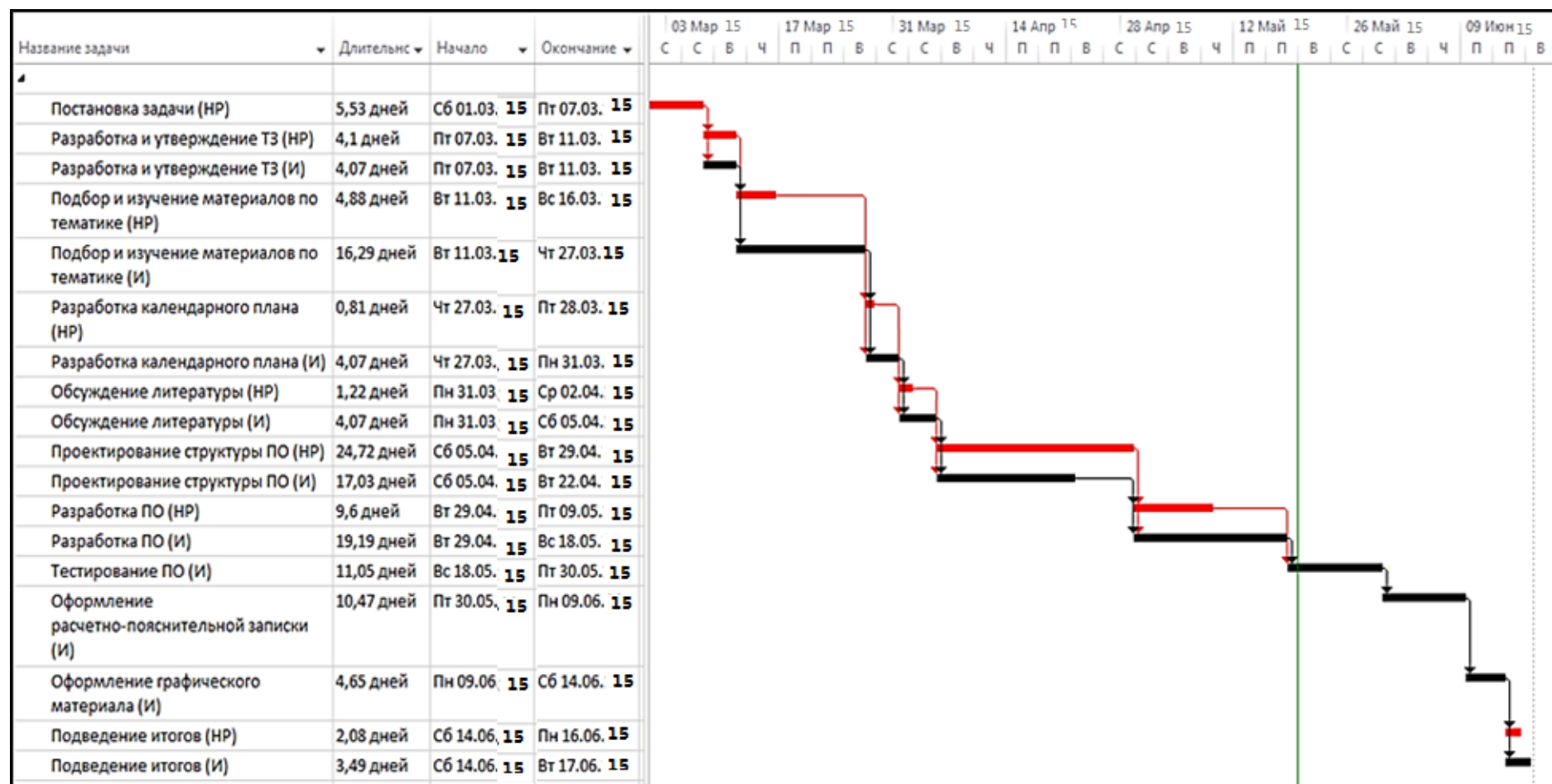
В таблице 4 приведена длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 4 – График проведения научного исследования

Этап	Исполнитель и	Продолжительность работ, дни						Длительность работ, чел/дн.							
								Т _{Рi}				Т _к			
		t _{min}		t _{max}		t _{ож}		НР		И		НР		И	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. .2
Постановка задачи	НР	3	10	5	13	3,8	11,2	4,56	4,03	–	13,4 4	5,53	4,88	–	16,2 8
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	12	4	15	2,8	13,2	0,34	7,92	3,36	15,8 4	0,41	9,6	4,07	19,1 9
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	10	15	13	20	11,2	17	4,03	20,4	13,4 4	14,2 8	4,88	24,7 2	16,2 8	17,3
Разработка календарного плана	НР, И	2	3	4	5	2,8	3,8	0,67	4,56	3,36	–	0,81	5,53	4,07	–

Обсуждение литературы	НР, И	2	6	4	9	2,8	7,2	1,01	–	3,36	8,64	1,22	–	4,07	10,47
Проектирование структуры ПО	НР, И	15	10	20	13	17	11,2	20,4	4,03	14,28	13,44	24,72	4,88	17,3	16,28
Разработка ПО	НР, И	12	15	15	20	13,2	17	7,92	20,4	15,84	14,28	9,60	24,27	19,19	17,3
Тестирование ПО	И	6	2	10	4	7,6	2,8	-	0,67	9,12	3,36	-	0,81	11,05	4,07
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	6	15	9	20	7,2	17	-	20,4	8,64	14,28	-	24,72	10,47	17,3
Оформление графического материала	И	2	3	5	5	3,2	3,8	-	4,56	3,84	–	-	5,53	4,65	–
Подведение итогов	НР, И	2	2	3	4	2,4	2,8	1,72	0,67	2,88	3,36	2,08	0,81	3,49	4,07
Итого:						74	78	40,65	50,23	78,12	90,21	49,27	60,2	94,68	80,65

Таблица – Календарный план-график проведения НИОКР по теме



На основе табл. 4 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе табл. 5 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

4.4.1. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

4.4.1.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи}, \quad (6)$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, m^2 и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ m^2 и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 5 - Материальный затраты

Наименование	Единица измерения	количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, (3м) рубли	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Бумага	лист	150	100	2	2	345	230
Картридж для принтера	шт.	1	1	1000	1000	1150	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	350	350	402,5	402,5
Ручка	шт.	1	1	20	20	23	23
Дополнительная литература	шт.	2	1	400	350	920	402,5
Тетрадь	шт.	1	1	10	10	11,5	11,5
Итого					2852	2219,5	2135,5

4.4.1.2. Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице.

Таблица 6 . Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-		Заработная плата, прихо-		Всего заработная плата по тарифу	
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
1.	Составление и утверждение темы	Руководитель	2	2	3,6		8	8
2.	Анализ	Рук.-	1	1	4,4		5	5

3.	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	1	1	4,4	5	5
4.	Выбор направления исследований	Руководитель	1	2	3,6	4	8
5.	Календарное	Руководитель	2	2	3,6	8	8
6.	Изучение	Студент	10	10	0,8	8,9	8,9
7.	Подбор нормативных	Студ.-рук.	3	4 4	4,4	14,8	19,7
8.	Выявление достоинств и недостатков	Студент	4	6	0,8	3,6	5,4
9.	Выявление достоинств и недостатков	Студент	2	3	0,8	1,8	2,7
10.	Изучение	Студент	2	3	0,8	1,8	2,7
11.	Анализ результатов	Студ.-	2	2	4,4	9,8	9,8
12.	Вывод по цели	Студент	3	3	0,8	2,7	2,7
Итого:						79,7	84,2

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (7)$$

где: $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (8)$$

где : $K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии

проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

4.4.1.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = \kappa_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (9)$$

где: $\kappa_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер социального налога равный 30%.

Исполнитель	Основная заработная плата, руб		Дополнительная заработная плата, руб	
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Руководитель проекта	48000	57000	5760	6840
Студент-дипломник	31700	27200	3804	3264
Коэффициент	0,271			
Итого				
Исполнение 1	24190,5 руб.			
Исполнение 2	25556,4 руб.			
Исполнение 3	25829,5 руб.			

4.4.1.4. Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (\sum статеи) \cdot \kappa_{нр}, \quad (10)$$

где: $\kappa_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны: $З_{накл} = 3745306,5 \cdot 0,16 = 599249,2$ руб.

4.4.1.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица8 . Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма руб.	
	Исп 1	Исп 2
Материальные затраты НТИ	2852	2219,5
Затраты на специальное оборудование для научных (эксперимен-	3629000	4550000
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79700	84200
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9564	10104
Отчисления во внебюджетные фонды	24190,5	25556,4
Накладные расходы	599249,2	747532,7
Бюджет затрат НТИ	715555	869612

4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурс эффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (11)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурс эффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (12)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурс эффективности для i-го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 9. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Надежность	0,2	5	5
2. Универсальность	0,2	4	4
3. Уровень материалоемкости.	0,15	4	4
4. Функциональная мощность (предоставляемые	0,20	5	5
5. Ремонтопригодность	0,1	5	5
6. Энергосбережение	0,15	4	4
ИТОГО	1	4,65	3,15

;

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i.} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (Θ_{cp}):

Таблица 10 Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2		Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разра-ботки	0,8	1		0,52
2	Интегральный показатель ресурсоэффектив-ности разработки	4,5	4,5		4,55
3	Интегральный показатель эффективности	5,625	4,5		8,75
4	Сравнительная эффективность вариантов ис-полнения	0,64	0,51		1

5.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью раздела «Социальная ответственность» является выполнение и анализ вредных и опасных факторов труда инженера-программиста и разработка мер защиты от них, оценка условий труда микроклимата рабочей среды. В разделе также рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

Работа инженера-программиста относится к категории умственного труда и по степени физической тяжести относится к категории легких работ (работа производится сидя и не требует физического напряжения, при которых расход энергии составляет до 120 ккал/час.).

Основное рабочее место - кабинет административного отдела ООО «Компьютер Центр ДНС-Томск», в которой установлено 3 ПЭВМ.

5.1 Производственная безопасность

В данном разделе составим таблицу «Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы» (таблица Х). Она необходима для того чтобы, систематизировать вредные и опасные факторы, которые могут присутствовать на рабочем месте.

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ элементы условий труда, выступающих в роли опасных и вредных производственных факторов, можно разделить на четыре группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

Таблица 1- Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Постоянная сидячая работа в помещении за компьютером	Состояние воздушной среды		СанПиН 2.2.4.548-96
	Освещенность		СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03
	Шум и вибрация		ГОСТ 12.1.003-83 с изм. 1999 г., ГОСТ 12.1.012-90
		Электробезопасность	ГОСТ 12.1.019-79
	Организация рабочего места		ГОСТ Р 50923-96

5.1.1 Состояние воздушной среды

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Занесем показатели температуры, влажности и скорости воздуха в таблицу X.

В сезоне года будет два периода:

- Холодный. Среднесуточная температура наружного воздуха равна +10°C.

– Теплый. Среднесуточная температура наружного воздуха выше +10°C.

Таблица 2 - Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений № 1

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С°		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение
1	2	3	4	5	6	7	8
Холодный	Ia	22	22-24	45	40-60	0.1	0.1
Теплый	Ia	25	23-25				

Так как в помещении работают инженеры-программисты, то категория тяжести выполняемых работ – Ia.

Анализ характеристик микроклимата будем производить согласно ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Согласно замерам, все показатели соответствуют нормам. Для поддержания в помещении нужных значений температуры, влажности и скорости движения воздуха используются отопление и кондиционер.

5.1.2 Освещенность

Работа, выполняемая с использованием вычислительной техники, имеет следующие недостатки:

- вероятность появления блескости;
- ухудшенная контрастность между изображением и фоном;
- отражение экрана.

Рассчитаем искусственное освещение. Расчетные данные занесем в таблицу X. Расчет будем производить согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».

Высота рабочей поверхности h . Коэффициент отражения стен - ρ_c ; потолка - ρ_n . Коэффициент запаса K , коэффициент равномерности Z .

Таблица 3 - Данные для расчета

A, м	B, м	H, м	h, м	ρ_c , %	ρ_n , %	K	Z
6	3	3,2	0,8	50	70	1,5	0,9

Вычисления будем производить из расчета, что будут использоваться лампы белого цвета (ЛБ) и двухламповые светильники ШОД. Длина светильника – 1,53 м, ширина – 0,28 м.

$h_c=0,7$ м - расстояние светильников от перекрытия (свес);

$h_n = H - h_c = 3,2 - 0,7 = 2,5$ м - высота светильника над полом;

$h_p = 0,8$ - высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_n - h_p = 2,5 - 0,8 = 1,7$ м - расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью.

L – расстояние между соседними светильниками или рядами.

l – расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

Оптимальное расположение λ для ШОД равно 1,2.

Тогда $L = \lambda * h = 1,2 * 1,7 = 2,04$ м.

$l = L/3 = 0,7$ м.

На рисунке X показано текущее расположение светильников.

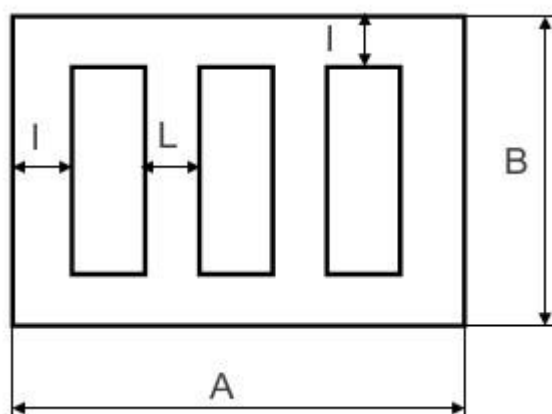


Рис. 1 Расположение светильников

Найдем индекс помещения: $i = S / h(A+B) = (6*3) / ((6+3)*1,7) = 1,18$.

Определим по таблице на основе индекса помещения и коэффициентов отражения стен и потолка коэффициент использования светового потока - η .

$\eta = 43\%$.

Определим по таблице $E_T = 600$ лк - освещенность по норме.

Тогда расчетный световой поток определится по формуле:

$$F = (E_T * K * S * Z) / (n * \eta),$$

где n – количество ламп. Так как мы используем двухламповые светильники ШОД, то $n = 6$.

$$F = (E_T * K * S * Z) / (n * \eta) = (600 * 1,5 * 18 * 0,9) / (6 * 0,43) = 14580 / 2,58 = 5651 \text{ лм.}$$

По полученному потоку подбираем мощность ламп. Наиболее подходящей является лампа мощностью 80 Вт, хотя она и имеет меньший световой поток - 5400 лм. Но из-за того что необходимый поток светильника не выходит за пределы диапазона $(-10 \div +20\%)$, то корректировать число светильников и либо высоту подвеса светильников не требуется.

5.1.3 Шум и вибрация

Шум и вибрация при длительном воздействии на человека могут отрицательно сказаться на его самочувствии. У человека может заболеть голова, появится раздражительность.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 с изм. 1999 г. эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБ.

Оборудование, производящее вибрацию в рабочем помещении отсутствует, поэтому эту характеристику рассматривать не будем. Наибольший уровень звука у работающего кондиционера, он составляет 40 дБ.

В рабочем помещении по замерам уровень звука составляет 25-40 дБ, в зависимости от того, работает или нет кондиционер. Соответственно уровень звука находится в номе.

Для дальнейшего его снижения можно предложить следующие мероприятия:

- применить звукопоглощающее покрытие стен;
- экранировка рабочего места;
- установка менее шумного кондиционера.

5.1.4 Электробезопасность

Степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека.

Основными причинами поражения человека электрическим током на рабочем месте служат:

- Прикосновение к металлическим нетоковедущим частям (корпусу, периферии компьютера), которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.
- Нерегламентированное использование электрических приборов.
- Отсутствие инструктажа сотрудников по правилам электробезопасности.

Рабочее помещение по опасности поражения электрическим током на основе ГОСТ 12.1.019-79 можно отнести к 3 классу, так как в помещении нет условий создающих повышенную или особую опасность.

Человек может получить разряд электрическим током только, если замкнет электрическую цепь в двух точках. На рабочем месте потенциальную опасность представляет системный блок, так как он изготовлен из токопроводящего материала – металла.

Чтобы не произошло поражающего воздействия током в системном блоке предусмотрено кроме рабочей изоляции, также элемент для заземления и провод с заземляющей жилой для присоединения к источнику питания.

При необходимости провести ремонт вычислительной техники должны выполняться следующие требования:

- отключить компьютер от сети;

- проверить специальным устройством отсутствие напряжения.

Только после выполнения этих пунктов проводить ремонт компьютера и оборудования.

Если ремонт проводится на токоведущих частях, находящихся под напряжением, то выполнение работы проводится не менее чем двумя лицами с применением электрозащитных средств.

В течение дня на корпусе может накапливаться статическое электричество. На расстоянии 5-10 см от экрана напряженность электростатического поля составляет 90-150 кВ/м. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 норма составляет 15 кВ/м, то есть фактическая напряженность электростатического поля больше требуемой по норме в 6-10 раз.

Для снижения этого уровня необходимо применять увлажнители, нейтрализаторы и антистатическое покрытие пола.

5.1.5 Организация рабочего места

Программист продолжительное время находится в сидячем положении. Чтобы исключить возникновение заболеваний необходимо иметь возможность свободной перемены поз. Для этого необходимо чередовать режим труда и отдыха, давать поработать тем мышцам, которые бездействуют при поддержании рабочей позы.

По условиям работы рабочее место программиста относится к индивидуальному рабочему месту для работы сидя и соответствует ГОСТ Р 50923-96.

Рабочее место программиста организовано следующим образом:

- У рабочего стола отсутствуют механизмы регулирования высоты и она составляет 725 мм. Ширина

поверхности стола 800 мм, длина - 1600 мм. Под столом имеется пространство для ног с размерами по глубине 650 мм.

- Рабочий стол имеет подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки - 400 мм, ширина - 300 мм.

- Удаленность клавиатуры от края стола не более 300 мм, что обеспечивает оператору удобную опору для предплечий.

Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея составляет 40-80 см.

- Рабочий стул программиста снабжен подъемно-поворотным механизмом. Высота сиденья регулируется в пределах 400-550 мм. Глубина и ширина сиденья составляют по 400 мм. Высота опорной поверхности спинки 300 мм, ширина - 380 мм.

5.2 Охрана окружающей среды

Под охраной окружающей среды понимают совокупность международных, государственных и региональных правовых актов, инструкций и стандартов, доводящих общие юридические требования до каждого конкретного загрязнителя и обеспечивающих его заинтересованность в выполнении этих требований, конкретных природоохранных мероприятий по претворению в жизнь этих требований.

Охрана окружающей природной среды складывается из:

- правовой охраны, формулирующей научные экологические принципы в виде юридических законов, обязательных для исполнения;

- материального стимулирования природоохранной деятельности, стремящегося сделать её экономически выгодной для предприятий;
- инженерной охраны, разрабатывающей природоохранную и ресурсосберегающую технологию и технику.

Основными принципами охраны окружающей среды являются:

- приоритет обеспечения благоприятных экологических условий для жизни, труда и отдыха населения;
- научно обоснованное сочетание экологических и экономических интересов общества;
- учет законов природы и возможностей самовосстановления и самоочищения ее ресурсов.

Деятельность человека причиняет ущерб окружающей среде, а потому перед обществом стоит задача сделать это воздействие наименее пагубным.

В процессе трудовой деятельности в вычислительных центрах, также как и обычной жизнедеятельности, человек является источником твердых бытовых отходов. Эти отходы, как пищевые, так и промышленные, сильно загрязняют окружающую среду.

Как правило, в качестве промышленных отходов выступают бумага, диски, строительные отходы, коробки и т.п. Этот мусор с другими отходами вывозится на территории, выделенные под складирование бытовых отходов.

Другие факторы, влияющие на окружающую природную среду, в процессе создания НИР отсутствуют.

5.3 Пожарная безопасность

Пожар в организации представляют собой большую опасность, так как сопряжен с большими материальными потерями. Пожар может начаться при взаимодействии горючих веществ, окисления и источников зажигания.

Пожар может возникнуть из-за:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут привести к короткому замыканию или пробоем изоляции;
- использования поврежденных электроприборов;
- использования в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- попадания молнии в здание;
- неаккуратного обращения с огнем и несоблюдения мер пожарной безопасности.

Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03), в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества помещения делятся на категории А, Б, В, Г, Д.

Данное помещение относится к категории В, поскольку горючие вещества и материалы находятся в твердом состоянии без выделения пыли.

Для тушения пожара имеются пожарные стволы, внутренние пожарные водопроводы, огнетушители и сухой песок.

Вода используется для тушения пожаров в помещениях программистов только в случае опасности повреждения или полного выхода из строя дорогостоящего оборудования. При этом, по возможности, необходимо защитить компьютеры от попадания влаги.

Для тушения пожаров на начальных стадиях широко применяются огнетушители. Поэтому в отделах с ПЭВМ применяются главным образом углекислотные огнетушители, достоинством которых является высокая эффективность тушения пожара и сохранность электронного оборудования.

Благодаря диэлектрическим свойствам углекислого газа можно использовать эти огнетушители даже в том случае, когда не удастся обесточить электроустановку сразу.

Для предотвращения возникновения пожара с работниками здания проводятся специальные семинары, на которых происходит знакомство с основами противопожарной безопасности и обучение работе с первичными средствами пожаротушения.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами и самостоятельно погасить начинающийся пожар. Иначе, если пожар потушить не представляется возможным, то по возможности, необходимо обесточить помещение, вызвать пожарную команду, а также согласно плану эвакуации (рисунок 2) вывести людей на улицу.

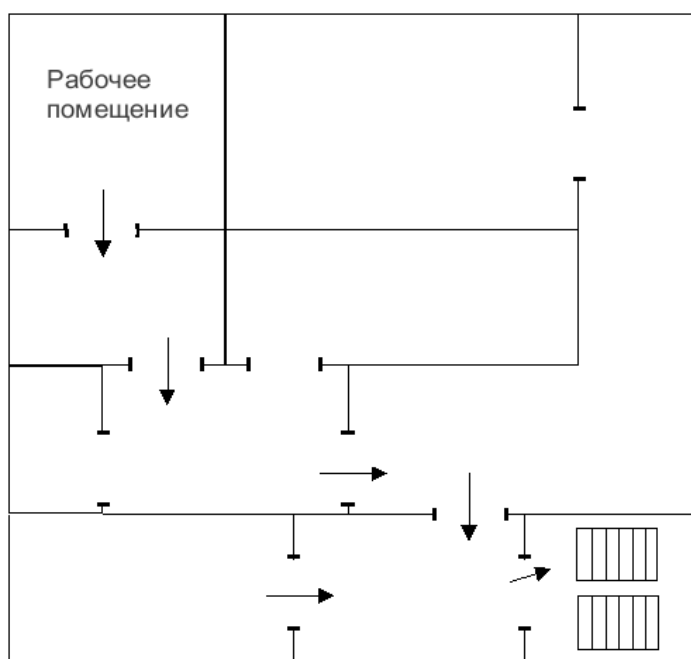


Рис. 2 План эвакуации

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе разработан импульсный источник питания переносного рентгеновского аппарата для промышленной дефектоскопии в полном соответствии с требованиями технического задания. Был проведен обзор литературы и изучены различные варианты построения главной цепи переносного аппарата. В результате был выбран вариант схемы, который позволяет более эффективно реализовать возможности частотно-импульсного преобразования рентгеновского излучения по улучшению массогабаритных и радиационных характеристик питающих устройств рентгеновских аппаратов. Разработана принципиальная схема главной цепи импульсного источника и проведен ее расчет.

Список литературы

1. Шмелев В. К. Рентгеновские аппараты. – М.: Энергия, 1973. – 472 с.
2. Блинов Н.Н. Рентгеновские питающие устройства. – М.: Энергия, 1980. – 200 с.
3. Мутовин Ю.В. Рентгеновские аппараты для дефектоскопии на основе частотно-импульсного формирования рентгеновского излучения. Канд. д., - Томск, 1989г.
4. Мутовин Ю. В. Питающие устройства рентгеновских аппаратов и комплексов медицинского назначения: методическое пособие - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 50с.
5. Рентгеновские трубки технического назначения. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1989. – 200с.: ил.
6. Рентгенотехника. Справочник. Книга 1. (Клюев В.В., Соснин Ф.Р. и др.) Под ред. Клюева В.В. – М.: Машиностроение, 1992. – 480с.
7. Рентгенотехника. Справочник. Книга 2. (Клюев В.В., Соснин Ф.Р. и др.) Под ред. Клюева В.В. – М.: Машиностроение, 1992 – 368с.
8. Хараджа Ф.Н. Общий курс рентгенотехники, М.– Л., Энергия, 1966, 568 с.
9. Вавилов С.П. Импульсная рентгеновская техника. – М.: Энергия, 1981-120с., ил.
10. Вдовин С.С. Проектирование импульсных трансформаторов. – 2-е издание, – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1991. – 208 с.: ил.
11. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. Москва: Техносфера, 2005. – 632 с.
12. Резисторы: Справочник / под общ. ред. И.И. Четверткова и В.М. Терехова. – М.: Радио и связь, 1987. – 352с., ил.
13. Горячева Г.А., Добромыслова Е.Р. Конденсаторы: Справочник. – М.: Радио и связь, 1984. – 88с., ил. – Массовая радио библиотека. Вып. 1079.
14. Мощные полупроводниковые приборы: Диоды: Справочник; Под. ред. А.В. Голомедова – М.: Радио и связь, 1985. – 400с., ил.
15. Белов Г.А. Высокочастотные тиристорно-транзисторные преобразователи

постоянного напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 120 с., ил.

16. Китаев В.Е., Бокуняев А.А., Колканов М.Ф. Расчет источников электропитания устройств связи. – М.: Радио и связь, 1993. – 232с., ил.

17. Малогабаритные магнитопроводы и сердечники: Справочник / И.Н. Сидоров, А.А. Христин и др.–М: Радио и связь,1973. – 236с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Паспорт транзистора IRGB8B60K

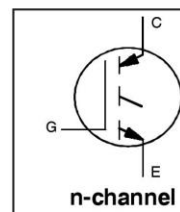
International
IR Rectifier
INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR

Features

- Low VCE (on) Non Punch Through IGBT Technology.
- 10μs Short Circuit Capability.
- Square RBSOA.
- Positive VCE (on) Temperature Coefficient.

Benefits

- Benchmark Efficiency for Motor Control.
- Rugged Transient Performance.
- Low EMI.
- Excellent Current Sharing in Parallel Operation.



PD - 94545C

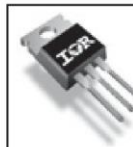
IRGB8B60K
IRGS8B60K
IRGSL8B60K

$V_{CES} = 600V$

$I_C = 20A, T_C = 100^\circ C$

$t_{SC} > 10\mu s, T_J = 150^\circ C$

$V_{CE(on)} \text{ typ.} = 1.8V$



TO-220AB
IRGB8B60K



D²Pak
IRGS8B60K



TO-262
IRGSL8B60K

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
V_{CES}	Collector-to-Emitter Voltage	600	V
$I_C @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Collector Current	28	A
$I_C @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Collector Current	19	
I_{CM}	Pulse Collector Current (Ref.Fig.C.T.5)	56	
I_{LM}	Clamped Inductive Load current ①	56	
V_{GE}	Gate-to-Emitter Voltage	± 20	V
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	167	W
$P_D @ T_C = 100^\circ C$	Maximum Power Dissipation	83	
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Storage Temperature Range, for 10 sec.	300 (0.063 in. (1.6mm) from case)	

Thermal / Mechanical Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case- IGBT	—	—	0.90	$^\circ C/W$
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, flat, greased surface	—	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient, typical socket mount ②	—	—	62	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient (PCB Mount, Steady State)③	—	—	40	
	Weight	—	1.44	—	g

www.irf.com

1

10/16/03

IRGB/S/SL8B60K

International
IR Rectifier

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	Ref.Fig.
$V_{(BR)CES}$	Collector-to-Emitter Breakdown Voltage	600	—	—	V	$V_{GE} = 0V, I_C = 500\mu A$	
$\Delta V_{(BR)CES}/\Delta T_J$	Temperature Coeff. of Breakdown Voltage	—	0.57	—	$V/^\circ\text{C}$	$V_{GE} = 0V, I_C = 1mA (25^\circ\text{C}-150^\circ\text{C})$	
$V_{CE(on)}$	Collector-to-Emitter Voltage	—	1.8	2.2	V	$I_C = 8.0A, V_{GE} = 15V, T_J = 25^\circ\text{C}$	5,6,7
		—	2.2	2.5		$I_C = 8.0A, V_{GE} = 15V, T_J = 150^\circ\text{C}$	8,9,10
		—	2.3	2.6		$I_C = 8.0A, V_{GE} = 15V, T_J = 175^\circ\text{C}$	
$V_{GE(th)}$	Gate Threshold Voltage	3.5	4.5	5.5		$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$	8,9,10,
$\Delta V_{GE(th)}/\Delta T_J$	Threshold Voltage temp. coefficient	—	-9.5	—	$mV/^\circ\text{C}$	$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 1mA (25^\circ\text{C}-125^\circ\text{C})$	11
g_{fe}	Forward Transconductance	—	3.7	—	S	$V_{CE} = 50V, I_C = 8.0A, PW = 80\mu s$	
I_{CES}	Zero Gate Voltage Collector Current	—	1.0	150	μA	$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 600V$	
		—	200	500		$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 600V, T_J = 150^\circ\text{C}$	
		—	800	1320		$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 600V, T_J = 175^\circ\text{C}$	
I_{GES}	Gate-to-Emitter Leakage Current	—	—	± 100	nA	$V_{GE} = \pm 20V$	

Switching Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	Ref.Fig.
Q_g	Total Gate Charge (turn-on)	—	29	—	nC	$I_C = 8.0A$	17
Q_{ge}	Gate-to-Emitter Charge (turn-on)	—	3.7	—		$V_{CC} = 480V$	CT1
Q_{gc}	Gate-to-Collector Charge (turn-on)	—	14	—		$V_{GE} = 15V$	
E_{on}	Turn-On Switching Loss	—	160	268	μJ	$I_C = 8.0A, V_{CC} = 400V$	CT4
E_{off}	Turn-Off Switching Loss	—	160	268		$V_{GE} = 15V, R_G = 50\Omega, L = 1.1mH$	
E_{tot}	Total Switching Loss	—	320	433		$T_J = 25^\circ\text{C} \text{ ④}$	
$t_{d(on)}$	Turn-On delay time	—	23	27	ns	$I_C = 8.0A, V_{CC} = 400V$	CT4
t_r	Rise time	—	22	26		$V_{GE} = 15V, R_G = 50\Omega, L = 1.1mH$	
$t_{d(off)}$	Turn-Off delay time	—	140	150		$T_J = 25^\circ\text{C}$	
t_f	Fall time	—	32	42	μJ		
E_{on}	Turn-On Switching Loss	—	220	330		$I_C = 8.0A, V_{CC} = 400V$	CT4
E_{off}	Turn-Off Switching Loss	—	270	381		$V_{GE} = 15V, R_G = 50\Omega, L = 1.1mH$	12,14
E_{tot}	Total Switching Loss	—	490	608		$T_J = 150^\circ\text{C} \text{ ④}$	WF1,WF2
$t_{d(on)}$	Turn-On delay time	—	22	27	ns	$I_C = 8.0A, V_{CC} = 400V$	13,15
t_r	Rise time	—	21	25		$V_{GE} = 15V, R_G = 50\Omega, L = 1.1mH$	CT4
$t_{d(off)}$	Turn-Off delay time	—	180	198		$T_J = 150^\circ\text{C}$	WF1
t_f	Fall time	—	40	56			WF2
C_{ies}	Input Capacitance	—	440	—	pF	$V_{GE} = 0V$	16
C_{oes}	Output Capacitance	—	38	—		$V_{CC} = 30V$	
C_{res}	Reverse Transfer Capacitance	—	16	—		$f = 1.0MHz$	
RBSOA	Reverse Bias Safe Operating Area	FULL SQUARE				$T_J = 150^\circ\text{C}, I_C = 34A, V_p = 600V$	4
						$V_{CC}=500V, V_{GE} = +15V \text{ to } 0V, R_G = 50\Omega$	CT2
SCSOA	Short Circuit Safe Operating Area	10	—	—	μs	$T_J = 150^\circ\text{C}, V_p = 600V, R_G = 100\Omega$	CT3
						$V_{CC}=360V, V_{GE} = +15V \text{ to } 0V$	WF3

Notes ① to ④ are on page 13.

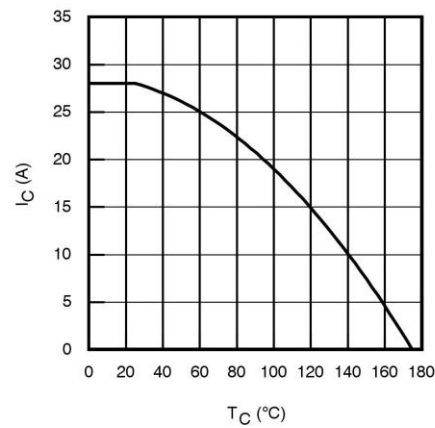


Fig. 1 - Maximum DC Collector Current vs. Case Temperature

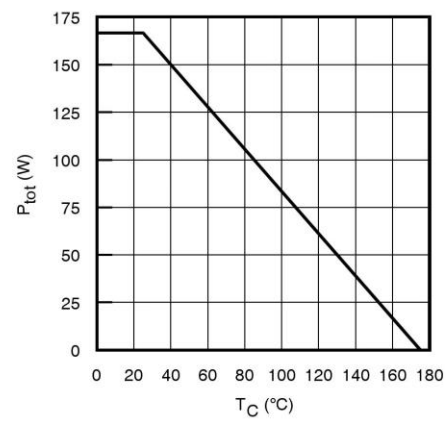


Fig. 2 - Power Dissipation vs. Case Temperature

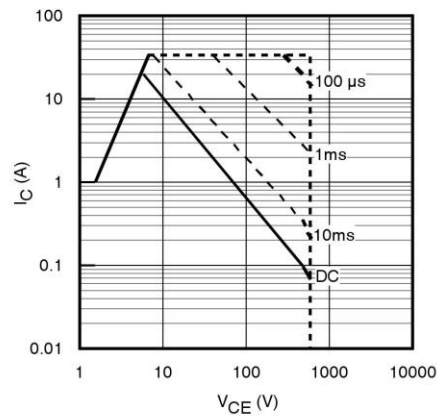


Fig. 3 - Forward SOA
 $T_C = 25^{\circ}\text{C}$; $T_J \leq 150^{\circ}\text{C}$

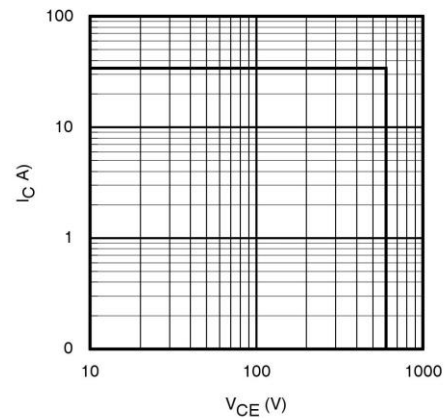


Fig. 4 - Reverse Bias SOA
 $T_J = 150^{\circ}\text{C}$; $V_{GE} = 15\text{V}$

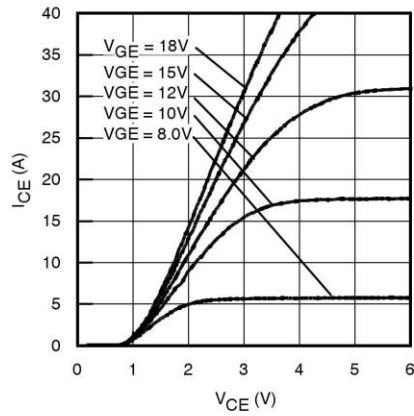


Fig. 5 - Typ. IGBT Output Characteristics
 $T_J = -40^{\circ}\text{C}$; $t_p = 80\mu\text{s}$

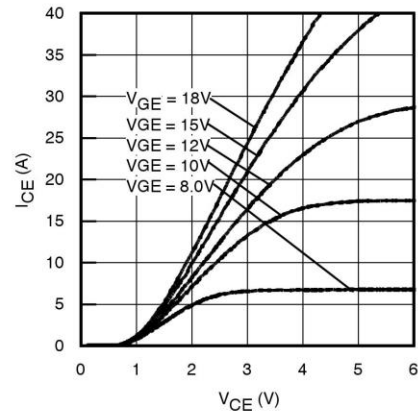


Fig. 6 - Typ. IGBT Output Characteristics
 $T_J = 25^{\circ}\text{C}$; $t_p = 80\mu\text{s}$

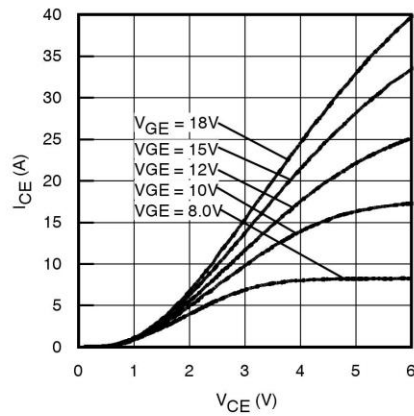


Fig. 7 - Typ. IGBT Output Characteristics
 $T_J = 150^{\circ}\text{C}$; $t_p = 80\mu\text{s}$

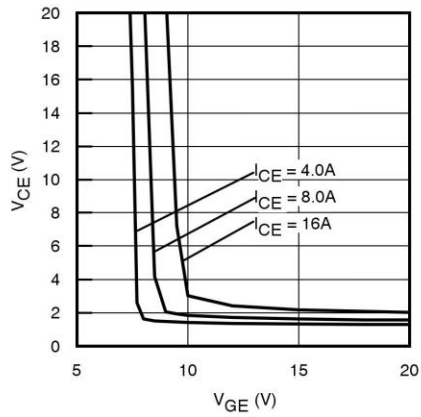


Fig. 8 - Typical V_{CE} vs. V_{GE}
 $T_J = -40^\circ\text{C}$

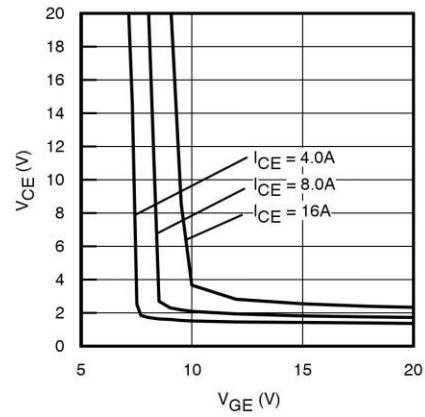


Fig. 9 - Typical V_{CE} vs. V_{GE}
 $T_J = 25^\circ\text{C}$

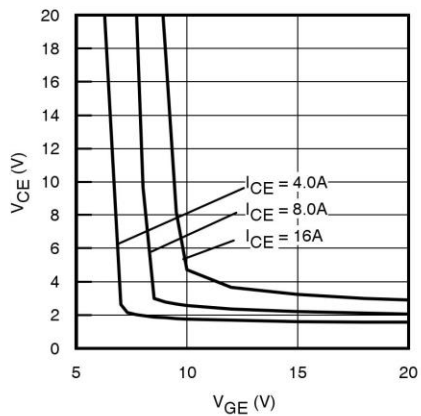


Fig. 10 - Typical V_{CE} vs. V_{GE}
 $T_J = 150^\circ\text{C}$

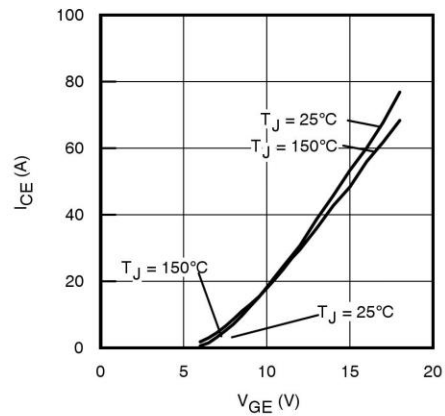


Fig. 11 - Typ. Transfer Characteristics
 $V_{CE} = 360\text{V}$; $t_p = 10\mu\text{s}$

IRGB/S/SL8B60K

International
IR Rectifier

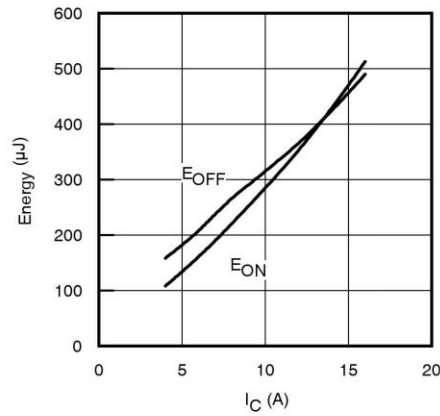


Fig. 12 - Typ. Energy Loss vs. I_C
 $T_J = 150^\circ\text{C}$; $L = 1.1\text{mH}$; $V_{CE} = 400\text{V}$,
 $R_G = 50\Omega$; $V_{GE} = 15\text{V}$

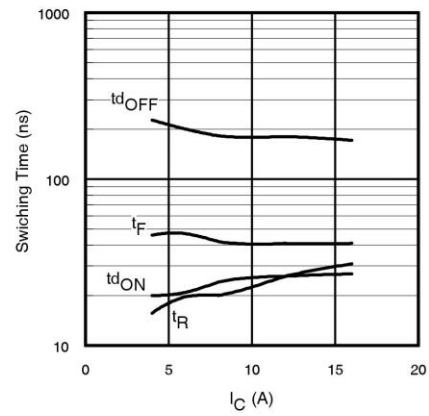


Fig. 13 - Typ. Switching Time vs. I_C
 $T_J = 150^\circ\text{C}$; $L = 1.1\text{mH}$; $V_{CE} = 400\text{V}$,
 $R_G = 50\Omega$; $V_{GE} = 15\text{V}$

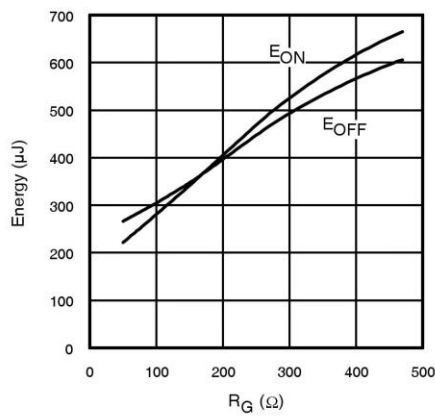


Fig. 14 - Typ. Energy Loss vs. R_G
 $T_J = 150^\circ\text{C}$; $L = 1.1\text{mH}$; $V_{CE} = 400\text{V}$,
 $I_{CE} = 8.0\text{A}$; $V_{GE} = 15\text{V}$

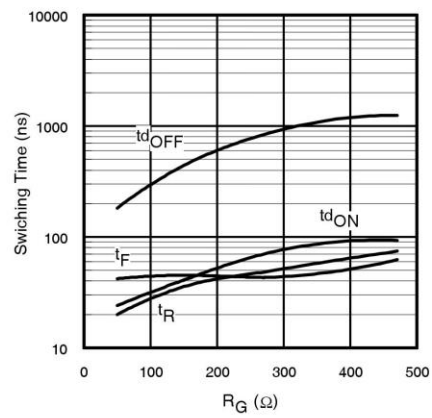


Fig. 15 - Typ. Switching Time vs. R_G
 $T_J = 150^\circ\text{C}$; $L = 1.1\text{mH}$; $V_{CE} = 400\text{V}$,
 $I_{CE} = 8.0\text{A}$; $V_{GE} = 15\text{V}$

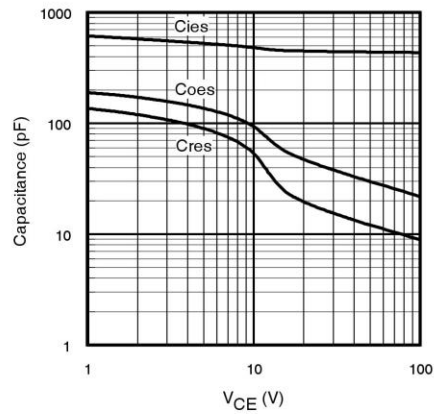


Fig. 16- Typ. Capacitance vs. V_{CE}
 $V_{GE} = 0V$; $f = 1MHz$

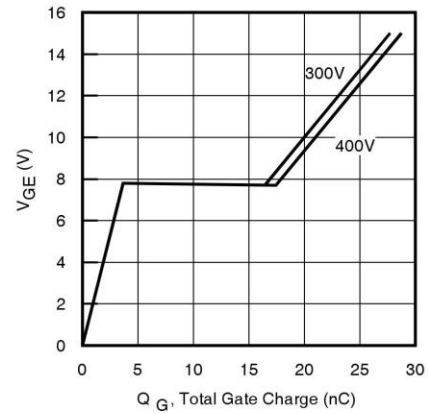


Fig. 17 - Typical Gate Charge vs. V_{GE}
 $I_{CE} = 8.0A$; $L = 600\mu H$

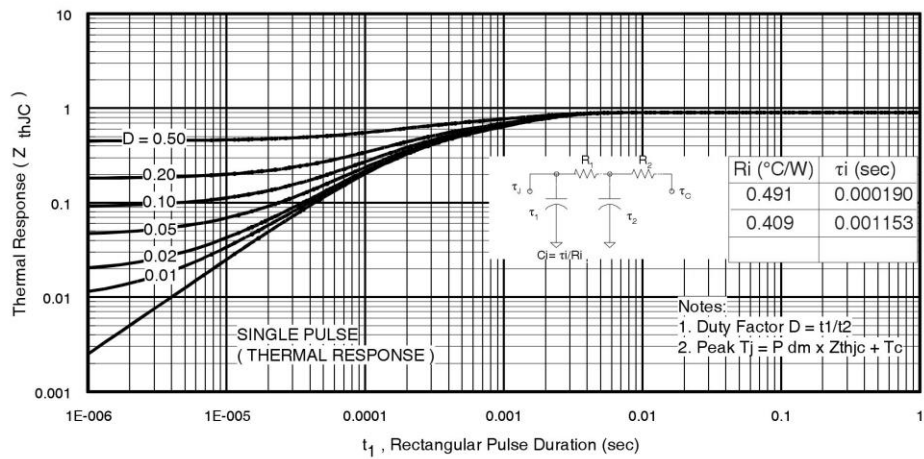


Fig 18. Maximum Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case (IGBT)

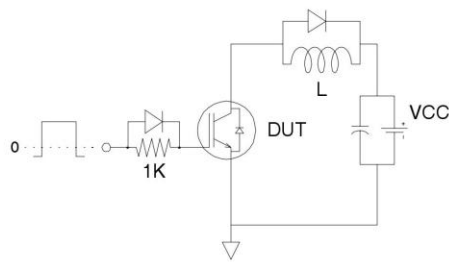


Fig.C.T.1 - Gate Charge Circuit (turn-off)

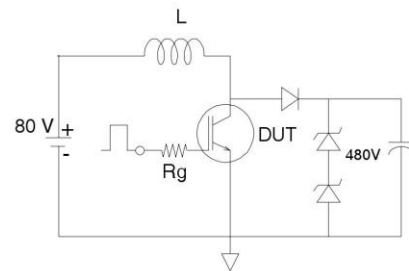


Fig.C.T.2 - RBSOA Circuit

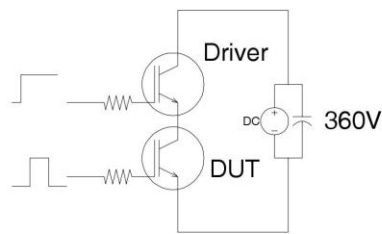


Fig.C.T.3 - S.C.SOA Circuit

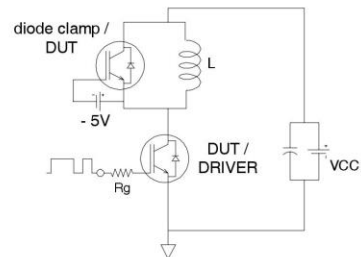


Fig.C.T.4 - Switching Loss Circuit

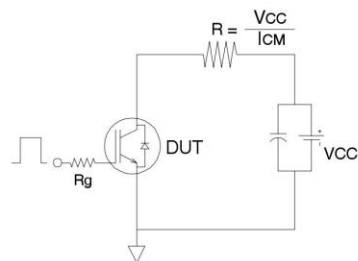


Fig.C.T.5 - Resistive Load Circuit

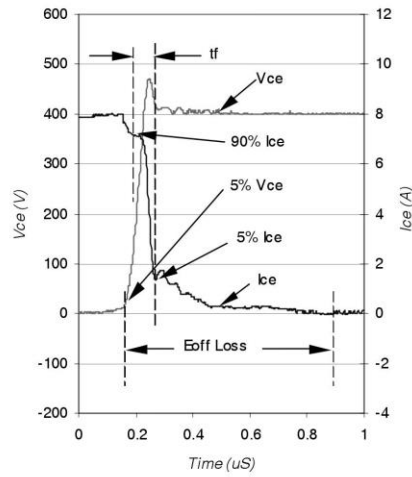


Fig. WF1- Typ. Turn-off Loss Waveform
@ $T_J = 150^\circ\text{C}$ using Fig. CT.4

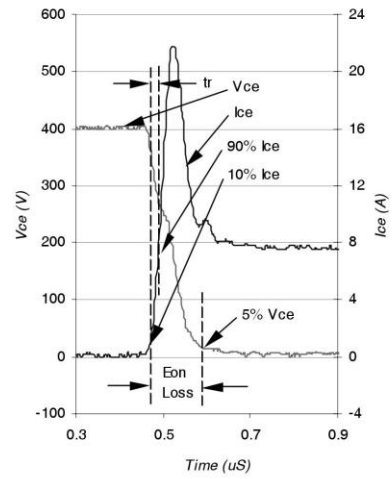


Fig. WF2- Typ. Turn-on Loss Waveform
@ $T_J = 150^\circ\text{C}$ using Fig. CT.4

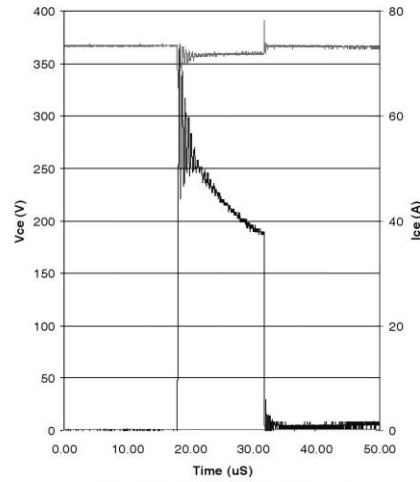


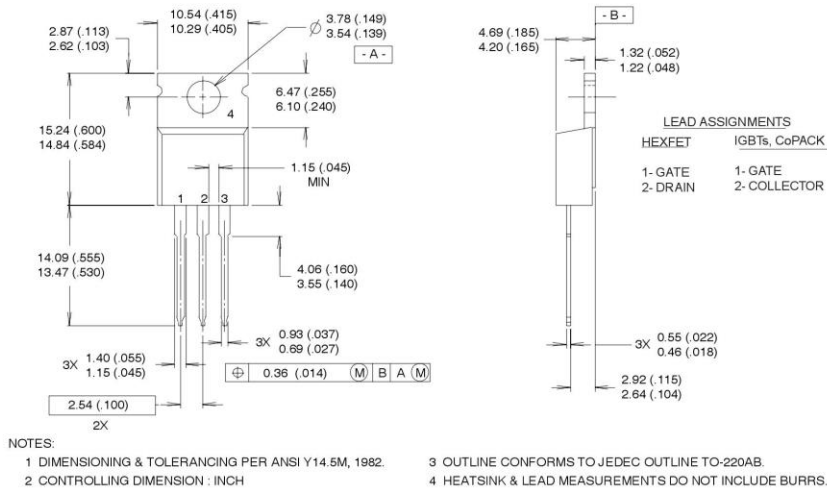
Fig. WF3- Typ. S.C Waveform
@ $T_C = 150^\circ\text{C}$ using Fig. CT.3

IRGB/S/SL8B60K

TO-220AB Package Outline

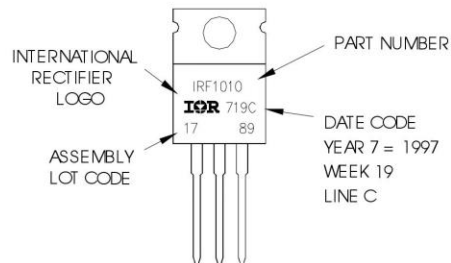
Dimensions are shown in millimeters (inches)

International
IR Rectifier



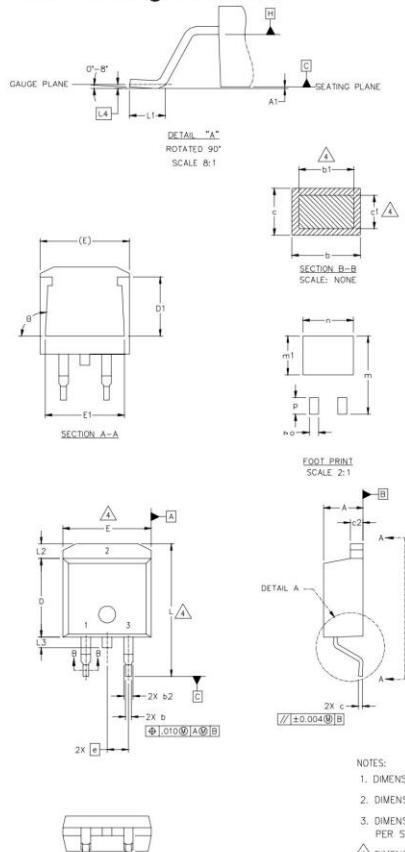
TO-220AB Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IRF1010
LOT CODE 1789
ASSEMBLED ON WW 19, 1997
IN THE ASSEMBLY LINE "C"



International
IR Rectifier
D²Pak Package Outline

IRGB/S/SL8B60K



S Y M B O L	DIMENSIONS				N O T E S
	MILLIMETERS		INCHES		
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
A	4.06	4.83	.160	.190	4
A1		0.127		.005	
b	0.51	0.99	.020	.039	
b1	0.51	0.89	.020	.035	
b2	1.14	1.40	.045	.055	4
c	0.43	0.63	.017	.025	
c1	0.38	0.74	.015	.029	
c2	1.14	1.40	.045	.055	
D	8.51	9.65	.335	.380	3
D1	5.33		.210		
E	9.65	10.67	.380	.420	3
E1	6.22		.245		
e	2.54 BSC		.100 BSC		
L	14.61	15.88	.575	.625	
L1	1.78	2.79	.070	.110	
L2		1.65		.065	
L3	1.27	1.78	.050	.070	
L4	0.25 BSC		.010 BSC		
m	17.78		.700		
m1	8.89		.350		
n	11.43		.450		
o	2.08		.082		
p	3.81		.150		
θ	90°	93°	90°	93°	

LEAD ASSIGNMENTS

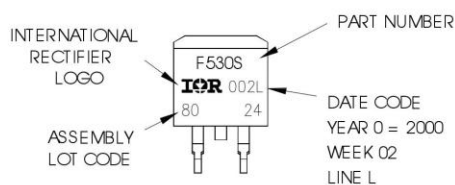
HEXFET	IGBTs, CoPACK	DIODES
1.- GATE	1.- GATE	1.- ANODE *
2.- DRAIN	2.- COLLECTOR	2.- CATHODE
3.- SOURCE	3.- EMITTER	3.- ANODE

* PART DEPENDENT.

- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M-1994
 2. DIMENSIONS ARE SHOWN IN MILLIMETERS [INCHES].
 3. DIMENSION D & E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH SHALL NOT EXCEED 0.127 [0.005"] PER SIDE. THESE DIMENSIONS ARE MEASURED AT THE OUTMOST EXTREMES OF THE PLASTIC BODY.
 4. DIMENSION b1 AND c1 APPLY TO BASE METAL ONLY.
 5. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

D²Pak Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IRF530S WITH
 LOT CODE 8024
 ASSEMBLED ON WW 02, 2000
 IN THE ASSEMBLY LINE "L"



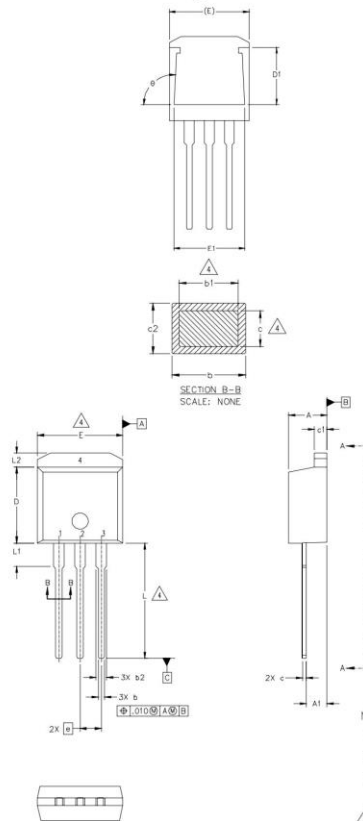
www.irf.com

11

IRGB/S/SL8B60K

TO-262 Package Outline

International
IR Rectifier



SYMBOL	DIMENSIONS				NOTES
	MILLIMETERS		INCHES		
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
A	4.06	4.83	.160	.190	4
A1	2.03	2.92	.080	.115	
b	0.51	0.99	.020	.039	
b1	0.51	0.89	.020	.035	
b2	1.14	1.40	.045	.055	4
c	0.38	0.63	.015	.025	
c1	1.14	1.40	.045	.055	
c2	0.43	.063	.017	.029	
D	8.51	9.65	.335	.380	3
D1	5.33		.210		3
E	9.65	10.67	.380	.420	
E1	6.22		.245		
e	2.54 BSC		.100 BSC		
L	13.46	14.09	.530	.555	
L1	3.56	3.71	.140	.146	
L2		1.65		.065	

LEAD ASSIGNMENTS

HEXFET

- 1.- GATE
- 2.- DRAIN
- 3.- SOURCE
- 4.- DRAIN

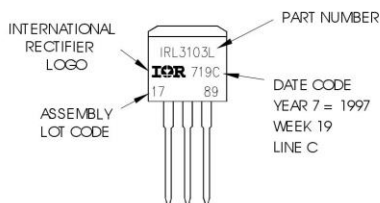
IGBT

- 1- GATE
- 2- COLLECTOR
- 3- EMITTER

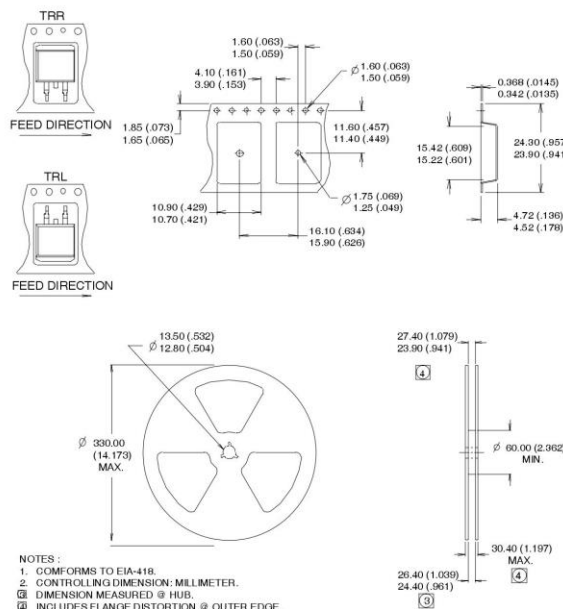
- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M-1994
 2. DIMENSIONS ARE SHOWN IN MILLIMETERS [INCHES]
 3. DIMENSION D & E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH SHALL NOT EXCEED 0.127 [0.005"] PER SIDE. THESE DIMENSIONS ARE MEASURED AT THE OUTMOST EXTREMES OF THE PLASTIC BODY.
 4. DIMENSION b1 AND c1 APPLY TO BASE METAL ONLY.
 5. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

TO-262 Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IRL3103L
LOT CODE 1789
ASSEMBLED ON WW 19, 1997
IN THE ASSEMBLY LINE "C"



D²Pak Tape & Reel Information



Notes:

- ① $V_{CC} = 80\% (V_{CES})$, $V_{GE} = 15V$, $L = 100\mu H$, $R_G = 50\Omega$.
- ② This is only applied to TO-220AB package.
- ③ This is applied to D²Pak, when mounted on 1" square PCB (FR-4 or G-10 Material).
For recommended footprint and soldering techniques refer to application note #AN-994.
- ④ Energy losses include "tail" and diode reverse recovery, using Diode HF03D060ACE.

TO-220AB package is not recommended for Surface Mount Application.

Data and specifications subject to change without notice.
This product has been designed and qualified for the Industrial market.
Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
TAC Fax: (310) 252-7903

www.irf.com

Visit us at www.irf.com for sales contact information. 10/03

13