

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

---

Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки Высокотехнологические плазменные и энергетические  
установки  
Кафедра высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Разработка портативного генератора высокого постоянного напряжения</b>
УДК 621.373.1.027

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т21	Алипов Адиль Ержанович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники	Юдин Артем Сергеевич	Кандидат технических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Анищенко Юлия Владимировна	Кандидат технических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующим кафедрой высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники	Ратахин Николай Александрович	д.ф-м.н., профессор, член- корреспондент РАН		

Томск – 2016 г.

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

---

Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки Высокотехнологические плазменные и энергетические  
установки  
Кафедра высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой ВЭСЭ  
\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Ратахин Н.А.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4Т21	Алипову Адилю Ержановичу

Тема работы:

Разработка портативного генератора высокого постоянного напряжения

Утверждена приказом директора (дата, номер)

25.05.2016 №3917/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

07.06.2016

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
1) Наименование объекта проектирования	Портативный генератор высокого постоянного напряжения
2) Требования к генератору	Получение высокого напряжения 15-20 кВ, мощностью 3 Вт.
3) Влияние на окружающую среду	<ul style="list-style-type: none"><li>– повышенное значение напряжения в электрической цепи.</li><li>– повышенный уровень статического электричества</li><li>– повышенная концентрация озона вблизи электродов генератора</li></ul>
4) Используемое оборудование	В процессе работы использовались паяльник, электродрель, настольный компьютер.

<p>5) Требования к безопасности</p> <p>6) Экономический анализ</p>	<p>В процессе разработки генератора использовалось СИЗ. К работе с генератором не допускаются лица не достигшие 18 лет, не прошедшие медицинское освидетельствование Устройство с выходным напряжением выше 1000 В.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– SWOT-анализ проекта</li> <li>– Смета затрат на проект</li> <li>– Планирование работ</li> <li>– Оценка рисков проекта</li> </ul>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p>1) Литературный обзор</p> <p>2) Выбор схемы генератора</p> <p>3) Расчет схемы</p> <p>4) Моделирование схемы</p> <p>5) Сборка генератора</p> <p>6) Анализ полученных осциллограмм</p> <p>7) Анализ и оценка опасных, и вредных факторов присутствующих при работе генератора.</p>	<p>Нормативно-правовые источники РФ, статистические данные НИ ТПУ, учебники, научные журналы и статьи, справочные данные сети интернет-сайтов.</p> <p>Выбор схемы генератора на основе литературного обзора.</p> <p>Расчет параметров схемы в программе MathCad. Расчет конденсаторов, диодов, транзисторов.</p> <p>Моделирование схемы в программе LTspice IV. Получение осциллограмм напряжения на затворе, стоке транзисторов и на выходе трансформатора.</p> <p>Изготовление генератора на основе выбранных элементов. Пуско-наладочные работы. Получение экспериментальных осциллограмм.</p> <p>Сравнительный анализ модельных и экспериментальных осциллограмм. Выводы по работе.</p> <p>Повышенная концентрация озона вблизи электродов генератора, повышенное напряжение, повышенный уровень статического электричества, яркая вспышка разрядного промежутка при работе генератора.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Грахова Елена Александровна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Анищенко Юлия Владимировна</p>

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдин Артем Сергеевич	Кандидат технических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т21	Алипов Адиль Ержанович		

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Высокотехнологические плазменные и энергетические установки

Уровень образования бакалавриат

Кафедра Высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
03.10.2015	<i>Составление и утверждение задания ВКР</i>	1
09.10.2015	<i>Составление плана работ</i>	2
12.10.2015	<i>Литературный обзор, изучение материалов</i>	7
14.11.2015	<i>Выбор схемы генератора</i>	5
18.11.2015	<i>Изучение программы моделирования LTspice IV</i>	5
01.12.2015	<i>Расчет элементов схемы</i>	10
28.01.2016	<i>Составление схемы в программе и ее моделирование</i>	10
15.02.2016	<i>Сборка генератора по рассчитанным параметрам</i>	15
13.03.2016	<i>Пуско-наладочные работы</i>	10
20.03.2016	<i>Получение экспериментальных осциллограмм</i>	10
03.04.2016	<i>Сравнительный анализ модельных и экспериментальных осциллограмм</i>	15
12.04.2016	<i>Анализ результатов и вывод по проделанной работе</i>	5
23.05.2016	<i>Оформление пояснительной записки</i>	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники	Юдин Артем Сергеевич	Кандидат технических наук		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники	Ратахин Николай Александрович	д.ф.-м.н., профессор, член-корреспондент. РАН		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 79 страниц, 30 рисунков, 16 таблиц, 14 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: ГЕНЕРАТОР, УМНОЖИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ, ИНВЕРТОР НАПРЯЖЕНИЯ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ, ТРАНСФОРМАТОР.

Целью данной работы является разработка портативного генератора высокого постоянного напряжения.

Основная часть проекта посвящена выбору оптимальной схемы для реализации генератора, расчету и моделированию выбранной схемы. Также был произведен выбор элементов генератора. Также были получены экспериментальные и модельные осциллограммы напряжений и произведен их сравнительный анализ. А именно были сняты осциллограммы напряжений на стоке и затворе полевых транзисторов, и на выходе трансформатора.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» приведено планирование работ по теме, рассчитана смета затрат на разработку проекта и оценка эффективности.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены следующие вопросы: анализ опасных и вредных производственных факторов; производственная санитария; техника безопасности; пожарная безопасность; охрана окружающей среды.

Для выполнения работы использовались программные продукты LTspice IV, Splan 7.0, Origin 8, Mathcad 15.

ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word. Электронная версия предоставлена на CD диске.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	9
<b>1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....</b>	<b>10</b>
1.1 Схемы получения высокого напряжения .....	10
1.1.1 Умножители напряжения (генератор Кокрофта-Уолтона).....	10
1.1.1.1 Удвоители напряжения.....	12
1.1.1.2 Умножитель напряжения на четыре .....	15
1.1.2 Трансформаторы. ....	16
1.2 Преобразователи напряжения (инверторы).....	19
1.2.1 Однотактный прямоходовый преобразователь.....	19
1.2.2 Двухтактный преобразователь с отводом от середины первичной обмотки трансформатора.....	20
1.2.3 Двухтактный полумостовой преобразователь .....	24
1.3 Выбор схемы генератора .....	25
<b>2 РАСЧЕТ СХЕМЫ .....</b>	<b>28</b>
2.1 Расчет трансформатора.....	28
2.1.1 Выбор сердечника .....	28
2.1.2 Параметры сердечника .....	30
2.1.3 Расчет потерь в сердечнике.....	30
2.1.4 Расчет числа витков .....	31
2.1.5 Выбор провода обмоток .....	32
2.1.6 Расчет изоляции трансформатора.....	33
2.2 Выбор элементов генератора .....	34
2.2.1 Выбор конденсаторов .....	34
2.2.2 Выбор диодов .....	35
2.2.3 Выбор транзисторов.....	36
<b>3 МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ В ПРОГРАММЕ LTSPICE IV .....</b>	<b>37</b>
3.1 Описание программы LTspice IV .....	37
3.2 Схема в программе LTspice IV .....	37
3.3 Получение модельных осциллограмм. ....	38
<b>4 СБОРКА ГЕНЕРАТОРА .....</b>	<b>41</b>
<b>5 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЬНЫХ И РЕАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА.....</b>	<b>44</b>
5.1 Получение экспериментальных осциллограмм .....	43

<b>6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....</b>	<b>48</b>
6.1 Инициализация проекта.....	48
6.1.1 Технико-экономическое обоснование проекта.....	48
6.1.2 SWOT-анализ проекта .....	48
6.2 Планирование работ по проекту.....	50
6.3 Смета затрат на проект .....	53
6.4 Оценка рисков проекта.....	57
<b>7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....</b>	<b>66</b>
7.1 Производственная безопасность.....	66
7.1.1 Анализ опасных и вредных факторов.....	66
7.1.2 Электромагнитное излучение .....	69
7.1.3 Неблагоприятные условия микроклимата.....	70
7.1.4 Недостаточное освещение.....	71
7.2 Экологическая безопасность.....	72
7.2.1 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	72
7.3 Правовые и организационные вопросы по обеспечению безопасности. ..	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	76
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	77
Приложение А	
Приложение Б	

## **Введение**

В дипломном проекте представлены расчеты, проектирование и сборка портативного генератора высокого напряжения.

Портативные генераторы высокого напряжения малой мощности могут быть использованы для питания портативных ускорителей заряженных частиц, в дефектоскопии, рентгеновских и электронно-лучевых трубок, фотоэлектронных умножителей, детекторов ионизирующих излучений. Кроме этого, их также применяют в качестве искровых течеискателей, для запуска газоразрядных источников света, при электроразрядной диагностике материалов и изделий, получении газоразрядных фотографий по методу *С. Д. Кирлиан*, тестировании качества высоковольтной изоляции. В быту подобные устройства находят применение в качестве источников питания для электронных ловителей ультрадисперсной и радиоактивной пыли, систем электронного зажигания, устройств медицинского назначения (аппараты Д'Арсонваля,), газовых зажигалок, электрошокеров и т.д.

К генераторам высокого напряжения условно могут быть отнесены те устройства, которые вырабатывают напряжение свыше 1000 вольт.

**Целью ВКР** является изготовление портативного генератора высокого постоянного напряжения в виде готового устройства.

### **Поставленные задачи:**

- Обзор схем получения высокого напряжения;
- Выбор топологии и расчет элементов схемы;
- Моделирование режимов работы схемы в программе LTspice IV;
- Сборка генератора и его отладка;
- Сравнительный анализ модельных и реальных характеристик генератора.

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Схемы получения высокого напряжения

В процессе работы было изучено множество схем получения высокого напряжения. Далее приведены некоторые из них, такие как трансформатор, генератор Кокрофта-Уолтона.

### 1.1.1 Умножители напряжения (генератор Кокрофта-Уолтона)

Генератор Кокрофта-Уолтона (каскадный генератор) – это умножитель напряжения, который преобразует относительно низкое переменное напряжение или пульсирующее напряжение в высокое постоянное напряжение.

Схема данного генератора была разработана в 1919 году швейцарским ученым Генрихом Грейнахером.

Генератор строится из секций конденсаторов и диодов. И в отличие от трансформатора не требует тяжелого сердечника и высоковольтной изоляции, потому что напряжение на всех ступенях равны. [3] Используя только конденсаторы и диоды, генераторы такого типа могут преобразовывать низкое напряжение в высокое, будучи намного легче и дешевле трансформатора. Напряжение на выходе такого генератора пропорционально числу соединенных каскадов:

$$U_{\text{вых}} = 2 \times U_{\text{вх}} \times n, \quad (1)$$

где,  $U_{\text{вых}}$  – выходное напряжение генератора,  
 $U_{\text{вх}}$  – амплитудное входное напряжение,  
 $n$  - число каскадов.

На рисунке 5 приведена схема генератора Кокрофта-Уолтона, показаны только два каскада.

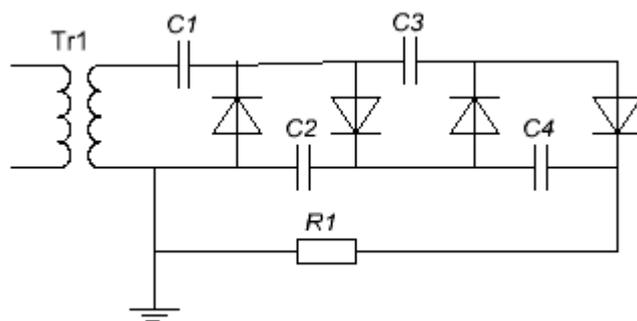


Рисунок 1 – Схема генератора Кокрофта-Уолтона

Принцип работы генератора заключается в следующем. В первый полупериод заряжается конденсатор  $C1$  до максимального значения переменного напряжения источника питания. В следующий полупериод происходит зарядка конденсатора  $C2$  до удвоенного значения (от источника переменного напряжения и от заряженного конденсатора  $C1$ ). Далее таким же образом заряжаются конденсаторы  $C3$  и  $C4$ . Через несколько циклов конденсаторы  $C2$  и  $C4$  окажутся заряженными до удвоенного амплитудного значения переменного напряжения источника. Так как конденсаторы  $C2$  и  $C4$  соединены последовательно с нагрузкой, напряжение на них будет суммироваться при разрядке. И к нагрузке приложится увеличенное напряжение.

При наличии нагрузки происходит утечка тока, следовательно разряд конденсаторов, поэтому напряжение на выходе получается ниже ожидаемого. Это основной недостаток каскадных генераторов.

Существует оптимальное количество каскадов, при увеличении которого, напряжение на выходе генератора расти не будет, так как падение напряжения будет больше, чем его рост.

На практике генератор Кокрофта-Уолтона имеет свои недостатки. Если в его составе включено большое количество секций, то напряжение на последних секциях будет ниже расчетного. Из-за того, что конденсаторы имеют импеданс. Также почти не возможно питание от промышленной сети,

так как при такой частоте потребуются конденсаторы большой емкости, а это большие габариты и стоимость.

В современных радиоэлектронных устройствах умножители нашли широкое применение. Они используются в телевизионной и медицинской аппаратуре (источники анодного напряжения кинескопов, питания маломощных лазеров), в измерительной технике (осциллографы, приборы для измерения уровня и доз радиоактивного излучения), в приборах ночного видения и электрошоковых устройствах, бытовых и офисных электронных устройствах и многих других областях техники. Произошло это благодаря главным свойствам умножителей - возможности формировать высокое, до нескольких десятков и сотен тысяч вольт, напряжение при малых габаритах и массе. Еще одно их важное преимущество - простота расчета и изготовления. Умножитель напряжения состоит из включенных определенным образом диодов и конденсаторов и представляет собой преобразователь напряжения переменного тока низковольтного источника в высокое напряжение постоянного тока.

#### **1.1.1.1 Удвоители напряжения**

Удвоитель напряжения означает, что напряжение на его выходе в два раза выше, чем на входе. Удвоители, также как и обычные выпрямители, бывают двух типов: однополупериодные и двухполупериодные. На рисунке 2 представлена схема обычного однополупериодного удвоителя с положительным напряжением на выходе. Однополупериодные умножители это такие умножители, которые работают только на одной полуволне. Однополупериодным умножителям напряжения присущи те же недостатки, что и аналогичным выпрямителям. Можно увидеть, что частота заряда конденсатора  $C_1$  равна частоте входного напряжения. Т.е. он заряжается один раз за период. Между этими циклами зарядки идет цикл разрядки такой же длительности. Поэтому в этой схеме необходимо серьезно отнестись к сглаживанию пульсаций.

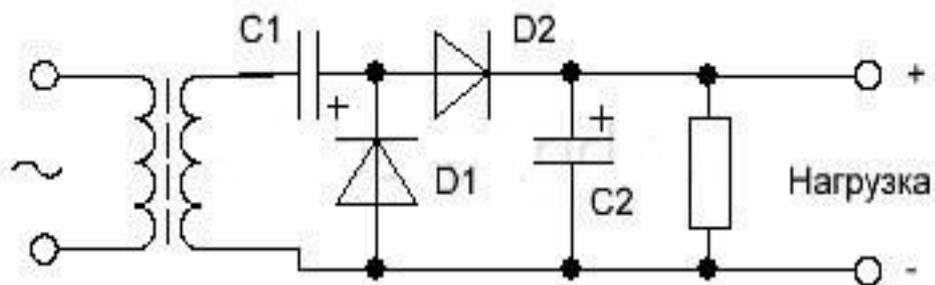


Рисунок 2 – Схема однополупериодного удвоителя напряжения

Принцип работы данного удвоителя напряжения прост. Когда мы рассматриваем отрицательную полуволну напряжения, в этот момент происходит зарядка емкости  $C1$  через диод  $D1$ . Когда рассматриваем положительную полуволну напряжения, тогда происходит зарядка емкости  $C2$  через диод  $D2$ , так же зарядка емкости  $C2$  происходит от конденсатора  $C1$ , таким образом, на конденсаторе  $C2$  получается удвоенное напряжение, по сравнению с напряжением питания. [4]

Резистор в данной схеме предусмотрен для снятия остаточного напряжения с конденсатора  $C2$ .

Но более распространён двухполупериодный удвоитель напряжения. Сразу надо сказать, что как предыдущая схема, так и эта, может быть подключена к сети переменного напряжения напрямую, минуя трансформатор. Это если требуется напряжение, вдвое превышающее сетевое и не требуется гальваническая развязка с сетью. В этом случае серьёзно повышаются требования к соблюдению техники безопасности.

Недостатки однополупериодных удвоителей следующие: высокий уровень пульсаций выпрямленного напряжения, низкий КПД.

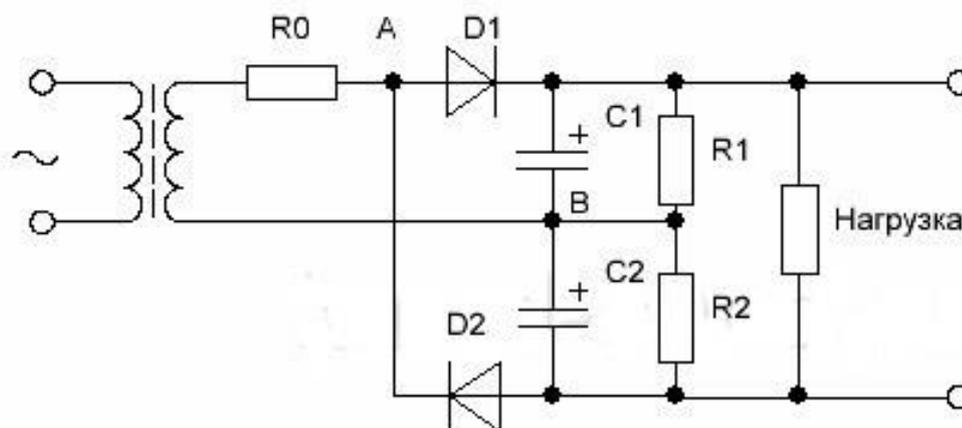


Рисунок 3 – Схема двухполупериодного удвоителя напряжения

На рисунке 3 изображена схема двухполупериодного удвоителя напряжения. Принцип работы данного удвоителя следующий.

Работа двухполупериодного удвоителя напряжения похожа на работу обычного двухполупериодного выпрямителя. Разница в том, что в данной схеме выпрямитель в каждом из полупериодов нагружен на отдельный конденсатор и заряжает его до амплитудного значения переменного напряжения. Удвоенное выходное напряжение получается путем сложения напряжений на конденсаторах, то есть конденсаторы C1 и C2 последовательно разряжаются на нагрузку.

В момент, когда в точке A напряжение положительной полярности, происходит зарядка конденсатора C1 через диод D1. Его напряжение равно амплитудному значению переменного напряжения. В следующий момент времени, когда напряжение в точке A отрицательной полярности, происходит зарядка конденсатора C2 через диод D2. Конденсаторы соединены последовательно относительно нагрузки, поэтому напряжение на конденсаторах C1 и C2 суммируется и на выходе получается удвоенное напряжение.

Что касается выбора конденсаторов, они должны иметь одинаковую емкость. И напряжение этих конденсаторов должно превышать амплитудное значение переменного напряжения.

Резистор R0 установлен для того, чтобы ограничивать ток в диодах. Номинал данного резистора обычно выбирается, как правило в пределах сотен Ом. Резисторы R1 и R2 служат для снятия остаточного заряда с конденсаторов C1 и C2 после их отключения от сети и от нагрузки. Как видно из схемы, резисторы установлены параллельно конденсаторам. Так же они служат для выравнивания напряжения на конденсаторах C1 и C2. Номиналы этих резисторов должны быть равны.

### 1.1.1.2 Умножитель напряжения на четыре

Как видно из названия, данный умножитель увеличивает входное переменное напряжение в четыре раза в идеальном случае. В реальной схеме такого увеличения напряжения добиться не удастся, так как напряжение падает на каскадах. На рисунке 4 представлена схема такого умножителя.

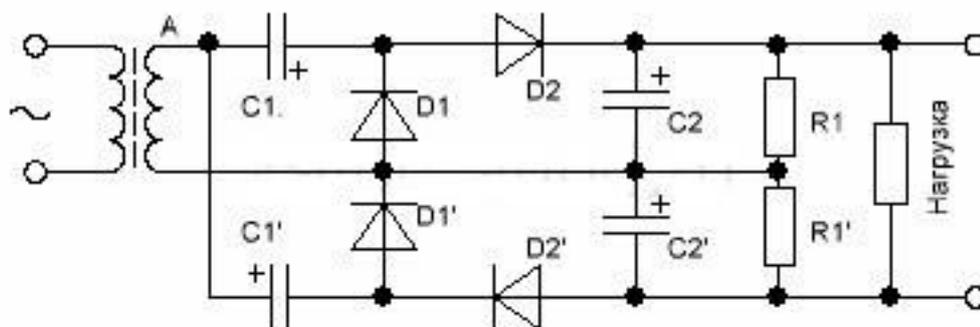


Рисунок 4 – Схема умножителя напряжения на четыре

Можно увидеть, что данный умножитель составлен из двух однополупериодных удвоителей напряжения, соединенных друг с другом выводами разной полярности. На рисунке 4 это хорошо показано, элементы

обоих частей имеют одинаковое обозначение, единственное различие, что нижняя часть обозначена со штрихом.

Принцип работы схемы можно объяснить, задавшись полярностью в точке А. В первый полупериод, когда в точке А отрицательная полярность происходит зарядка емкости С1 через открытый диод D1, заряжается он до амплитудного значения переменного напряжения. В следующий полупериод, когда в точке А полярность меняется на противоположную (положительную) происходит зарядка конденсатора С2 до удвоенного напряжения от конденсатора С1 и от трансформатора, так как они соединены последовательно. Также в этот момент времени произойдет зарядка конденсатора С1' через открытый диод D1', зарядится он до амплитудного значения переменного напряжения. Следующая отрицательная полуволна будет снова заряжать конденсатор С1 через диод D1 и конденсатора С2' до удвоенного напряжения, так как трансформатора соединен последовательно с конденсатором С1'. Таким образом, напряжение на конденсаторах С2 и С2' вдвое больше переменного напряжения трансформатора. Так как они соединены с нагрузкой последовательно произойдет их сложение, и на нагрузке мы получим напряжение в четыре раза больше, чем переменное напряжение трансформатора.

Резисторы R1 и R1' служат для снятия остаточного заряда с конденсаторов после их отключения от сети и от нагрузки. Также они служат для выравнивания напряжения на конденсаторах С1 и С1'. Номиналы данных резисторов выбираются равными несколько кОм.

### **1.1.2 Трансформаторы**

Так же для получения высокого напряжения широко используются повышающие трансформаторы.

Трансформатор – это статический электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения без изменения частоты [6].

Благодаря трансформаторам можно добиться значительного увеличения напряжения, которое вырабатывается источником переменного тока. На электрических станциях осуществляют передачу электроэнергии на дальние расстояния с помощью высокого напряжения, которое получают благодаря трансформаторам. Это способствует уменьшению потерь энергии в проводах и обеспечивают меньшее сечение проводов, дают возможность передавать на большие расстояния.

Также благодаря трансформаторам в местах потребления электроэнергии добиваются снижения напряжения до стандартных значений.

Трансформаторы используются повсеместно. На фабриках, заводах, в жилых домах. В настоящее время невозможно представить основную часть источников питания без трансформаторов.

Трансформаторы бывают двух- и многообмоточные, однофазные и трехфазные.

Принцип действия трансформаторов основан на явлении электромагнитной индукции. Самый простой трансформатор состоит магнитопровода и двух обмоток, намотанных на нем. Обмотки обычно выполнены из медного провода и гальванически не связаны между собой. К выводам одной обмотки подается энергия от источника переменного тока. Такая обмотка называется первичной [7]. К выводам другой обмотки подключается нагрузка. Такая обмотка называется вторичной.

Когда по виткам первичной обмотки протекает ток, он образует переменный магнитный поток. Поток пересекает витки вторичной обмотки и наводит в ней ЭДС.

ЭДС наводится на каждом витке обеих обмоток трансформатора, и по закону электромагнитной индукции зависит от магнитного потока, которой пронизывает виток и скорости его изменения. В каждом витке первичной и вторичной обмоток наводится одинаковая ЭДС, и соответственно коэффициент трансформации будет зависеть от отношения витков первичной и вторичной обмоток.

Коэффициентом трансформации  $k$  называется отношение большей ЭДС обмоток к меньшей (или отношение их числа витков). Коэффициент трансформации всегда больше единицы [8].

На рисунке 5 приведена электрическая схема трансформатора с двумя обмотками. Первичная обмотка с количеством витков  $W_1$  и напряжением питания  $U_1$ . Вторичная обмотка с числом витков  $W_2$  и выходное напряжение  $U_2$ .

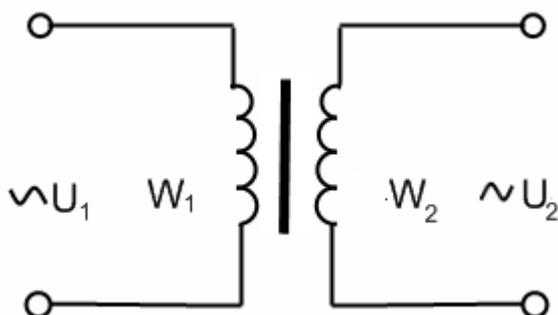


Рисунок 5 – Электрическая схема трансформатора

Коэффициент трансформации равен:

$$k = \frac{W_2}{W_1} \quad (1)$$

То есть, подбирая нужное соотношение между витками первичной и вторичной обмоток, получают требуемое напряжение на выходе трансформатора. Если на вторичной обмотке необходимо получить большее напряжения, чем напряжение питания, то используют повышающий трансформатор. Если же наоборот, то понижающий, у которого число витков первичной обмотки меньше, чем у вторичной.

Для получения постоянного напряжения к выходу трансформатора можно добавить выпрямитель напряжения.

## 1.2 Преобразователи напряжения (инверторы)

Инверторы напряжения – устройства, предназначенные для преобразования постоянного тока в переменный с регулируемыми

напряжением и частотой. Такие устройства применяются в источниках бесперебойного питания, при индукционном нагреве, для регулирования скорости вращения электродвигателей переменного тока. В результате преобразования необходимо получить напряжение синусоидальной формы, амплитуду и частоту которого можно регулировать.

Работа преобразователя напряжения основана на том, что ток в ветвях периодически прерывается с помощью вентиля. В качестве вентилей используют тиристоры, МОП – транзисторы, биполярные транзисторы.

### 1.2.1 Однотактный прямоходовый преобразователь напряжения

На рисунке 6 изображена схема однотактного прямоходового преобразователя напряжения.

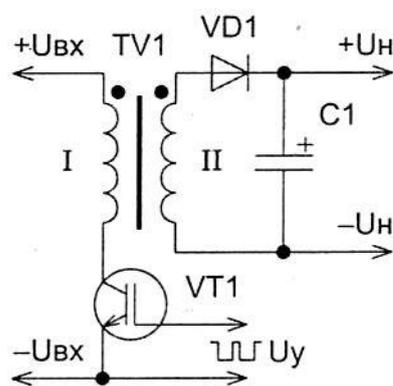


Рисунок 6 – Схема однотактного прямоходового преобразователя

Принцип работы данного преобразователя следующий. В течении прямого хода, когда на первичную обмотку трансформатора подано напряжение положительной полярности и по ней протекает ток, который создает магнитное поле в сердечнике трансформатора. На вторичной обмотке появляется напряжение, которое идет в нагрузку, предварительно выпрямленное диодом VD1 и сглаженное конденсатором C1. В следующий момент времени, когда на первичную обмотку трансформатора подано отрицательное напряжения, на вторичной обмотке напряжение становится

противоположным, поэтому диод VD1 закрыт. Ток в нагрузку протекает благодаря конденсатору C1.

Достоинством однотактного прямоходового преобразователя является небольшие габариты сердечника трансформатора. Так же к достоинствам можно отнести наличие всего одного транзистора в схеме.

Недостатком такого преобразователя является несимметричность перемагничивания петли гистерезиса. Поэтому КПД такого преобразователя обычно меньше, чем в двухтактных преобразователях с симметричным перемагничиванием трансформатора.

### 1.2.2 Двухтактный преобразователь с отводом от середины первичной обмотки трансформатора

Рассмотрим принципиальную схему двухтактного преобразователя напряжения с трансформатором, имеющим вывод от средней точки (рисунок 7). В иностранной технической литературе такие преобразователи напряжения называют «push-pull».

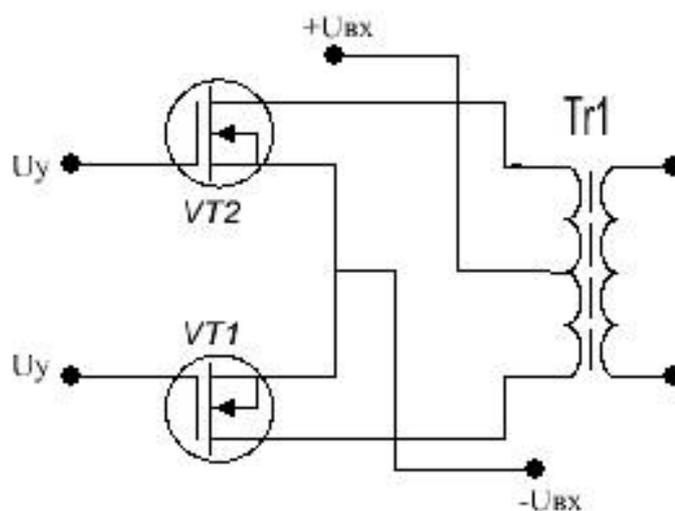


Рисунок 7 – Двухтактный преобразователь напряжения

Предположим, на затвор полевого транзистора VT1 подано достаточное напряжение для его открытия, а транзистор VT2 в это время находится в режиме отсечки. Тогда потечет ток по цепи ( $+U_{ex} \rightarrow$  средняя точка первичной обмотки трансформатора TV1  $\rightarrow$  транзистор VT1  $\rightarrow -U_{ex}$ ). При протекании тока по первичной обмотке трансформатора TV1 на вторичной обмотке возникает напряжение.

Снимаем напряжение с затвора транзистора VT1 и приложив отпирающее напряжение между затвором и истоком транзистора VT2. Ток потечет по цепи ( $+U_{ex} \rightarrow$  средняя точка первичной обмотки трансформатора TV1  $\rightarrow$  транзистор VT2  $\rightarrow -U_{ex}$ ). Таким образом, ток снова потечет по первичной обмотке трансформатора TV1 и наведет напряжение на вторичной обмотке трансформатора. Подключив нагрузку к вторичной обмотке повышающего трансформатора, в ее цепи потечет ток.

Такие преобразователи обычно используют при низком напряжении питания и выходной мощности от единиц ватт до киловатта.

Достоинством таких преобразователей является высокий КПД и возможность работы в режиме короткого замыкания длительное время.

Частота пульсаций выходного напряжения преобразователей со средней точкой в первичной обмотке трансформатора составляет удвоенную частоту преобразования.

Недостатком преобразователей со средней точкой в первичной обмотке трансформатора нужно считать высокое напряжение на закрытых ключевых транзисторах (приблизительно удвоенное напряжение питания плюс напряжение индуктивного выброса). Высокое обратное напряжение, приложенное к транзисторам, заставляет в преобразователях напряжения с отводом от средней точки первичной обмотки трансформатора, применять транзисторы с большим параметром обратного напряжения.

На рисунке 8 изображены схема двухтактного преобразователя напряжения.

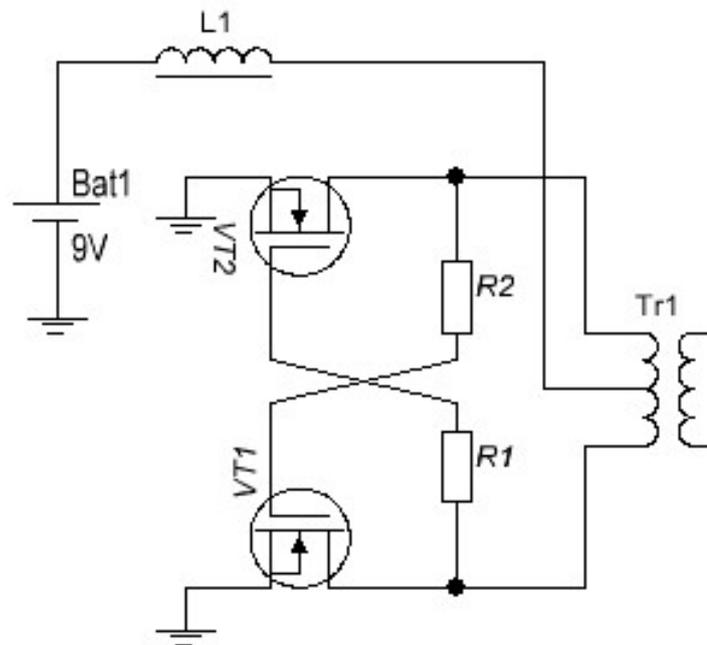


Рисунок 8 – Схема двухтактного преобразователя

Пожалуй, одна из самых простых схем преобразования напряжения представляет двухтактный преобразователь на полевых транзисторах, которые включены по схеме мультивибратора. Резисторы в схеме не критичны, их номинал может быть от 220 Ом до 1 кОм, они ограничивают ток затвора полевых транзисторов. Резисторы желательно выбрать с мощностью более 0,5 Вт, так как возможен их перегрев при длительной работе генератора.

Работа выбранного преобразователя (рисунок 8) достаточно проста. Полевые транзисторы, поочередно открываясь и закрываясь, создают в первичной обмотке трансформатора переменное напряжение высокой частоты. Открытие и закрытие транзисторов происходит за счет насыщения сердечника трансформатора. В момент, когда сердечник насыщается происходит переключение транзисторов.

Для понимания принципа работы двухтактного преобразователя приведена его упрощенная схема (рисунок 9).

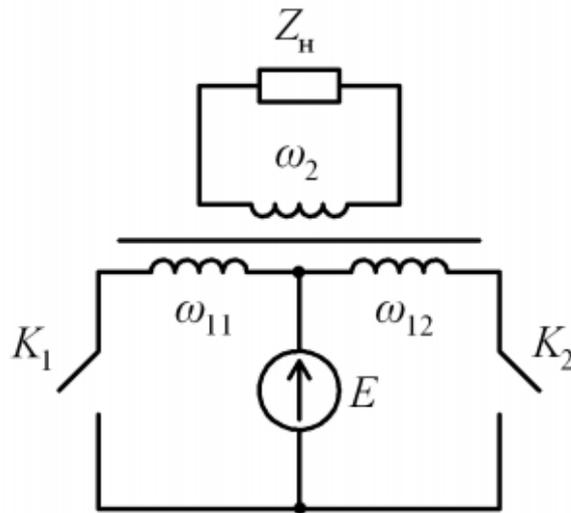


Рисунок 9 – Упрощенная схема двухтактного преобразователя

Первичная обмотка разделена на две секции, число витков секций одинаково. Источник постоянного напряжения подключен к средней точке первичной обмотке трансформатора и к общей точке ключей  $K_1$  и  $K_2$ . В качестве ключей можно использовать полевые транзисторы. Для увеличения мощности преобразователя нужно поставить более мощные транзисторы, то есть мощность ограничивается транзисторами.

Ключи  $K_1$  и  $K_2$  замыкаются поочередно. Каждый из ключей замкнут половину периода  $T$ . Для определенности предположим, что в первую половину периода на интервале  $0-T/2$  замкнут ключ  $K_1$ , а ключ  $K_2$  разомкнут. Тогда инвертор можно представить эквивалентной схемой, изображенной на рисунке 10.

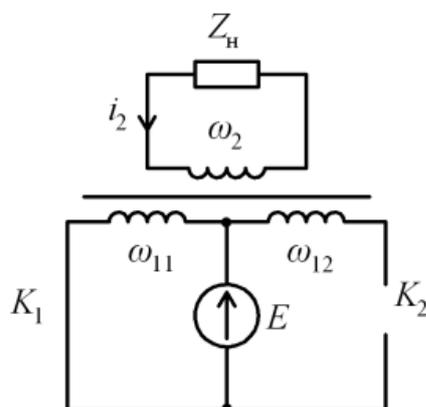


Рисунок 10 – Эквивалентная схема инвертора на интервале  $0 - T/2$

Во вторую половину периода на интервале  $T/2 - T$  замкнут ключ  $K_2$ , а ключ  $K_1$  разомкнут. Такому состоянию ключей соответствует эквивалентная схема на рисунке 11.

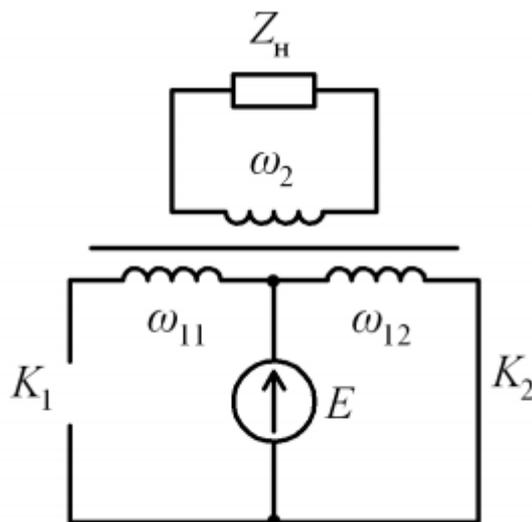


Рисунок 11 – Эквивалентная схема инвертора на интервале  $T/2 - T$

Направление тока в нагрузке изменяется на противоположное. Таким образом, на нагрузке появится переменное напряжение.

### 1.2.3 Двухтактный полумостовой преобразователь

На рисунке 12 изображена схема двухтактного полумостового преобразователя.

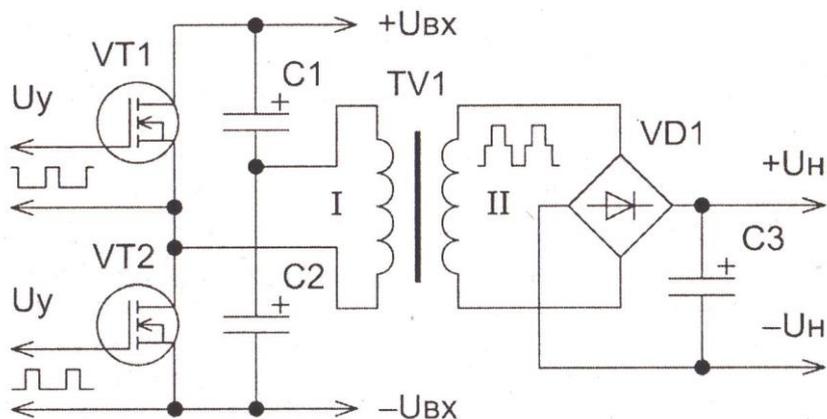


Рисунок 12 – Схема полумостового преобразователя

Принцип его работы следующий. Пока на транзисторы VT1 и VT2 не поступило напряжение, они закрыты. Напряжение в средней точке емкостного делителя равно половине напряжения питания преобразователя. Когда на транзистор VT2 откроется, ток потечет по цепи  $+U_{вх}$ , конденсатор C1, обмотка трансформатора I TV1, транзистор VT2,  $-U_{вх}$ . Тогда на вторичной обмотке появится напряжение, которое будет выпрямлено сборкой диодов VD1 и сглажено конденсатором C3. В это время транзистор VT1 закрыт. Когда транзистор VT2 закроется, а транзистор VT1 будет открыт, ток потечет по цепи  $+U_{вх}$ , транзистор VT1, обмотка трансформатора, конденсатор C2,  $-U_{вх}$ . На вторичной обмотке трансформатора появится напряжение противоположной полярности, по сравнению с предыдущим тактом. Это напряжение выпрямится сборкой диодов VD1 и сгладится конденсатором C3. Транзистор VT2 закрыт во время второго такта.

Как можно заметить, ток в нагрузку протекает во время обоих тактов. Пульсации выходного напряжения частотой в два раза большей, по сравнению с частотой преобразования. Это позволяет использовать сглаживающий конденсатор C3 относительно меньшей емкости. Петля гистерезиса сердечника трансформатора близка к предельной петле.

Достоинством такого преобразователя является относительно низкое обратное напряжение, приложенное к транзисторам, примерно равное питающему напряжению преобразователя. Это позволяет использовать преобразователь с большим напряжением питания.

### **1.3 Выбор схемы генератора**

На основе проделанного обзора для разработки генератора в качестве генератора переменного напряжения был выбран двухтактный инвертор с отводом от средней точки первичной обмотки трансформатора. Данный преобразователь был выбран по следующим соображениям: простота реализации схемы, симметричная работа сердечника трансформатора, возможность работы в режиме короткого замыкания длительное время. И для

того, чтобы уменьшить коэффициент трансформации трансформатора был решено использовать умножитель напряжения на четыре. Также использование умножителя способствует уменьшению требований к изоляции трансформатора.

На рисунке 14 приведена выбранная схема генератора высокого постоянного напряжения. Состоит она из преобразователя напряжения, который ток постоянного напряжения преобразует в ток переменного напряжения. Повышающего трансформатора и умножителя напряжения.

Двухтактный преобразователь служит преобразователем постоянного напряжения в переменное, которое подается на повышающий трансформатор. Повышающий трансформатор необходим для получения высокого напряжения на выходе схемы.

Выбор остановлен на схеме, которая показана на рисунке 14. Преимуществами данной схемы являются простота реализации. Так же плюсом является наличие умножителя напряжения на выходе схемы. Умножитель составлен из двух однополупериодных удвоителей напряжения. Благодаря умножителю напряжения можно реализовать трансформатор с небольшим коэффициентом трансформации, а это меньшие требования к изоляции трансформатора, сокращение затрат на обмоточный материал и гораздо меньшая трудоемкость работы.

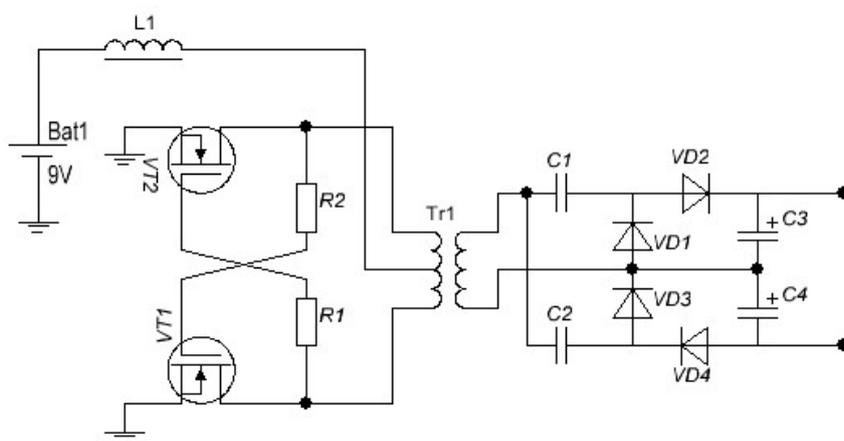


Рисунок 14 – Схема генератора высокого напряжения

Схема генератора состоит из батареи (Bat) напряжением 9 В, кнопки пуска с помощью которой подается напряжение от батареи.

Преобразователь напряжения включает в себя полевые транзисторы (VT1 и VT2) и резисторы (R1 и R2). Резисторы ограничивают ток затвора полевых транзисторов, соответственно они регулируют скорость переключения транзисторов. Резисторы подбираются по току, который необходимо обеспечить для заряда емкости затвора.

Так же в схеме присутствует повышающий трансформатор (Tr1). На его вход подается переменное напряжение от мультивибратора и на его выходе мы получаем напряжение той же полярности, но гораздо большей амплитуды.

С выхода трансформатора напряжение поступает на выводы умножителя напряжения, который увеличивает напряжение в четыре раза. В состав умножителя входят диоды (D1–D4) и конденсаторы (C1–C4).

## 2 РАСЧЕТ СХЕМЫ

При расчете генератора исходными данными являлось получение выходного напряжения (15–20) кВ. Мощность собранного генератора 3 Вт. Для того, чтобы генератор можно было использовать в следующих устройствах:

- электрошокового устройства;
- ионизатора воздуха;
- электрической мухобойки.

### 2.1 Расчет трансформатора

Мощность трансформатора была выбрана равной  $P = 3$  Вт. Напряжение первичной обмотки известно из имеющихся батарей. Было решено включить параллельно две батареи напряжением по 9 В. Таким образом напряжение составит  $U_1 = 9$  В. На выходе трансформатора нужно получить напряжение  $U_2 = 3800$  В. Частота работы трансформатора по исходным данным 20 кГц.

#### 2.1.1 Выбор сердечника

Габаритная мощность сердечника должна быть как минимум больше требуемой на 20% или более:

$$P_p = 1,2 \times P = 1,2 \times 3 = 3,6 \text{ Вт}, \quad (2)$$

где,  $P_p$  – минимальная необходимая мощность сердечника,

$P$  – выбранная мощность трансформатора.

По формулам ниже рассчитываем габаритную мощность сердечника трансформатора. При частоте 20 000 Гц и индукции 0,3 Тл:

$$P_{\text{габ}} = S_0 \times S_c \times f \times \frac{B_{\text{max}}}{150} = 0,99 \times 2,2 \times 20000 \times \frac{0,3}{150} = 87,12 \text{ Вт}, \quad (3)$$

где  $S_c = 2,2 \text{ см}^2$  эффективное сечение сердечника (таблица 2).

$$S_0 = \frac{d_2 - d_3}{2} \times 2h_2 = \frac{29,9 - 16,2}{2} \times 2 \times 7,3 = 0,99 \text{ см}^2, \quad (4)$$

где  $S_0$  площадь окна сердечника.

По результатам расчетов был выбран ферритовый чашечный сердечник Ч36, который удовлетворяет требуемой мощности и частоте работы схемы. Обозначение сердечника в конструкторской документации М2000НМ-15 Ч36 П ПЯ0.707.402 ТУ.

Ферриты наиболее часто используют в силовой импульсной технике. Они представляют собой поликристаллические многокомпонентные соединения, изготавливаемые по особой технологии. Являясь полупроводниками, ферриты обладают высокими значениями собственного электрического сопротивления, превышающего сопротивление сталей в 50 раз и более. Именно это обстоятельство позволяет применять ферриты в индуктивных элементах, работающих на высоких частотах, без опасения, что могут резко повыситься потери на вихревые токи. В таблице 1 приведены основные параметры марганец-цинковых марок ферритов.

Таблица 1 – Основные параметры марганец-цинковых ферритов

Параметры	Марка феррита					
	6000НМ	4000НМ	3000НМ	2000НМ	1500НМ	1000НМ
Начальная магнитная проницаемость	6000	4000	3000	2000	1500	1000
Относительный температурный коэффициент начальной магнитной проницаемости на интервале температур от 20 до 70	0,2...1,5	+800 -500	+500 -500	-2...4,5	+200 -300	+200 -200
Магнитная индукция В при Нм = 800 А/м, Тл	0,35	0,36	0,38	0,39	0,35	0,35
Максимальная магнитная проницаемость	10000	7000	3500	3500	–	1800
Напряженность магнитного поля Н при максимальной магнитной проницаемости, А/м	12	16	20	20	–	40
Остаточная магнитная индукция Вг не более, Тл	0,11	0,13	0,15	0,14	–	0,11
Точка Кюри не ниже, С	110	140	140	200	200	200

## 2.1.2 Параметры сердечника ЧЗ6.

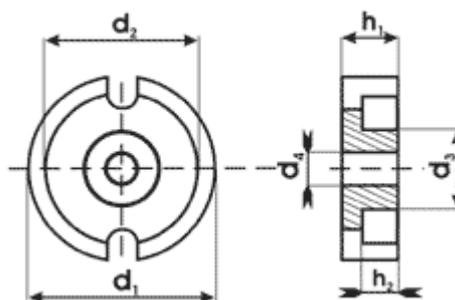


Рисунок 13 – Сердечник конфигурации Ч

Таблица 2 – Эффективные параметры сердечника ЧЗ6

Типоразмер	Эффективная длина магнитного пути, (мм)	Эффективное сечение, (мм <sup>2</sup> )	Эффективный объем сердечника, (мм <sup>3</sup> )	Масса, (г)	Магнитная проницаемость
ЧЗ6	54	220	11880	35,6	2000

Таблица 3 – Геометрические размеры сердечника ЧЗ6

Типоразмер	Класс точ.	d <sub>1</sub> (мм)	d <sub>2</sub> (мм)	d <sub>3</sub> (мм)	d <sub>4</sub> (мм)	h <sub>1</sub> (мм)	h <sub>2</sub> (мм)
ЧЗ6	II	36,2	29,9	16,2	5,4	11,0	7,3

## 2.1.3 Потери в сердечнике

После выбора сердечника целесообразно посчитать потери в нем:

$$P_{уд} = P_0 \left( \frac{f}{f_0} \right)^\alpha \left( \frac{B_{max}}{B_{max0}} \right)^\beta = 35,5 \times \left( \frac{20000}{1000} \right)^{1,2} \left( \frac{0,3}{1} \right)^{2,4} = 4,535 \text{ Вт/кг}, \quad (5)$$

где  $P_{уд}$  – мощность, рассеиваемая в единицы массы сердечника;

$f_0=1000$ Гц,  $B_{max0}=1$ Тл – базовые значения частоты и индукции;

$P_0=35.5$ Вт – справочная величина из приложения Б.

$\alpha=1,2$  коэффициент, справочная величина из приложения Б.

$\beta=2,4$  коэффициент, справочная величина из приложения Б.

Масса сердечника известна из таблицы 2. При массе  $m=35,6$  г потери в сердечнике составят:

$$P_c = P_{уд} \times m = 4,535 \times 35,6 = 0,16 \text{ Вт.} \quad (6)$$

Полученное значение потерь в сердечнике, приемлемо с точки зрения способности самого сердечника рассеять эти потери без превышения допустимого перегрева.

Выбранное значение индукции 0,3 Тл, таким образом, оставляем без изменения. В то же время потери оказались малыми, поэтому можно рассчитывать на повышение рабочей частоты без изменения индукции в случае необходимости.

#### 2.1.4 Расчет числа витков

Сделав выбор сердечника, можно найти число витков первичной обмотки.

$$w_1 = \frac{q \times U_1}{2 \times f \times S_c \times B_{\max}} = \frac{0,5 \times 7,2}{2 \times 20000 \times 2,2 \times 10^{-4} \times 0,3} = 1,364. \quad (7)$$

где  $q=0,5$  – максимальный коэффициент заполнения, равен отношению длительности импульса к периоду. Так как, каждый транзистор открыт половину периода, то максимальный коэффициент заполнения составит 0,5.

Округляем в большую сторону, таким образом, число витков первичной обмотки будет равно  $w_1 = 2$  витка.

Определяем количество витков вторичной обмотки:

$$w_2 = w_1 \frac{U_2}{U_1} = 2 \frac{1400}{7,2} = 388,99 \text{ витков.} \quad (8)$$

Округляя до целого значения в большую сторону, получаем число витков вторичной обмотки  $w_2 = 389$  витков.

### 2.1.5 Выбора провода обмоток

Прежде чем выбрать провода обмоток, нужно знать какие токи будут протекать в них.

Найдем ток, протекающий в первичной обмотке.

$$I_1 = \frac{P}{U_1} = \frac{3}{7,2} = 0,417 \text{ А.} \quad (9)$$

Ток, протекающий во вторичной обмотке.

$$I_2 = \frac{P}{U_2} = \frac{3}{1400} = 2 \text{ мА.} \quad (10)$$

Задаемся плотностью тока в обмотках  $j = 3 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ .

Теперь сечение проводов первичных и вторичной обмоток можно высчитать по формулам:

$$S_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{0,417}{3} = 0,139 \text{ мм}^2 \quad (10.1)$$

$$S_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{2 \times 10^{-3}}{3} = 7,143 \times 10^{-4} \text{ мм}^2 \quad (10.2)$$

где  $S_1$  – сечение провода первичной обмотки;

$S_2$  – сечение провода вторичной обмотки.

В качестве провода первичной обмотки выбран провод из таблицы, которая приведена в приложении А. Будем использовать трехжильный провод, который скручен из проводов ПЭВ-1 диаметром  $d_{\text{ПЭВ}} = 0,5 \text{ мм}$ .

Сечение такого провода будет равно:

$$S_{\text{ПЭВ}} = \frac{3 \times \pi \times d_{\text{ПЭВ}}^2}{4} = \frac{3 \times \pi \times 0,5^2}{4} = 0,589 \text{ мм}^2. \quad (11)$$

Сечение скрученного трехжильного провода удовлетворяет требуемому сечению.

Применение многожильного провода позволяет обеспечить достаточную гибкость провода, а так же снизить потери от поверхностного эффекта.

В качестве провода вторичной обмотки выберем провод ПЭВ-1 с диаметром  $d_{2ПЭВ} = 0,1 \text{ мм}$ .

Сечение такого провода будет равно:

$$S_{2ПЭВ} = \frac{\pi \times d_{2ПЭВ}^2}{4} = \frac{\pi \times 0,1^2}{4} = 7,85 \times 10^{-3} \text{ мм}^2. \quad (12)$$

Применение данного провода в качестве провода вторичной обмотки удовлетворяет требуемому сечению.

Провода ПЭВ-1 одножильные с винифлексовой изоляцией (лак). Провод ПЭВ-1 имеет однослойную изоляцию. Провода ПЭВ-1 рассчитаны на работу в температурном диапазоне  $-60^\circ\text{C}$  до  $105^\circ\text{C}$ . При максимальной температуре ресурс работы провода составит 20 000 часов.

### **2.1.6 Расчет изоляции трансформатора**

Для начала расчета изоляции нужно знать сколько слоев витков будем размещено на катушке. Так как длина катушки 10 мм, а используемый намоточный провод вторичной обмотки диаметром 0,1 мм, было посчитано, что один слой будет содержать максимум 100 витков.

Так как обмотка наматывается вручную, а не намоточной машиной, то достичь такого числа витков будет практически невозможно. Поэтому в один слой будет помещено 60-70 витков провода ПЭВ-1 диаметром 0,1 мм.

Зная число витков в одном слое катушки, можно рассчитать количество слоев.

$$k = \frac{400}{70} = 5,7. \quad (13)$$

Количество слоев  $k$  округляем до целого в большую сторону, получится 6 слоев.

Между шестью слоями витков будет уложено пять слоев изоляции.

Напряжение на выходе трансформатора составит 4 кВ, а количество витков вторичной обмотки 400. Соответственно, на один виток обмотки будет приходиться 10 вольт.

$$g = \frac{4000}{400} = 10 \text{ В.} \quad (14)$$

Так как в одном слое изоляции 70 витков, то между слоями изоляции максимальное напряжение составит:

$$U_{\text{изоляция}} = 10 \times 70 = 700 \text{ В.} \quad (14.1)$$

В качестве материала изоляции было принято взять клейкую ленту из полимера винилхлорида. По справочным данным его пробивное напряжение 900 Вольт. Таким образом, намотав три слоя изоляции скотчем, мы обеспечим напряжения пробоя:

$$U_3 = 900 \times 3 = 2700 \text{ В.} \quad (15)$$

Между первичными и вторичной обмоткой будет наложено 15 слоев скотча. Данной изоляцией, обеспечится напряжения пробоя:

$$U_{\text{п}} = 900 \times 10 = 9000 \text{ В.} \quad (16)$$

Спроектированная изоляция обеспечивает более чем 3-х кратный запас электрической прочности между слоями высоковольтной обмотки и более чем 2-х кратный – между высоковольтной и низковольтной обмотками.

## **2.2 Выбор элементов генератора**

### **2.2.1 Выбор конденсаторов**

Выбор конденсаторов производился по напряжению, которое к ним прикладывается. По расчетам получилось, что к двум конденсаторам будет приложено напряжение трансформатора 3800 В. К двум оставшимся конденсаторам, будет приложено удвоенное напряжение трансформатора, то есть 7600 В. Конденсаторы выбираются по напряжению с запасом в 40%.

$$U_{c2} = 1,4 \times 7600 = 10640 \text{ В.} \quad (17)$$

$$U_c = 1,4 \times 3800 = 5320 \text{ В.} \quad (18)$$

В качестве конденсаторов на напряжение 5320 В были выбраны керамические высоковольтные конденсаторы К15-5 Н20 1000пФ, 6300 Вольт, который изображен на рисунке 14.

В качестве конденсаторов на напряжение 10640 В были выбраны дисковые высоковольтные керамические конденсаторы DHRB34C102M2FB, 1000пФ, 15кВ, который изображен на рисунке 15.



Рисунок 14 – Конденсатор K15-5 H20



Рисунок 15 – Конденсатор DHRB34C102M2FB

### 2.2.2 Выбор диодов

Выбор диодов производится по максимальному обратному напряжению. По расчетам получилось, что в процессе работы генератора к диодам будет приложено удвоенное напряжение трансформатора 7600 Вольт. Диода должны выбираться минимум с 20% запасом по напряжению.

$$U_{VD}=1,2 \times 7600=9120\text{В.} \quad (19)$$

По полученному напряжению 9120 были выбраны диоды КЦ106Г с максимальным обратным напряжением 10 кВ. Ток протекающий через диоды по расчетам получился приблизительно 3,1 мА. Максимальный ток диодов КЦ106Г составляет 10 мА. Поэтому данные диоды удовлетворяют двум требуемым параметрам.

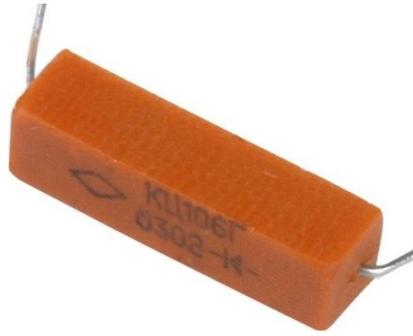


Рисунок 16 – Диод КЦ106Г

### 2.2.3 Выбор транзисторов

Выбор полевых транзисторов производился по напряжению приложенному к ним, которое составляет 30 В. Транзисторы выбираются минимум с 40% запасом по напряжению.

$$U_{VT} = 1,4 \times 30 = 42 \text{ В.} \quad (20)$$

Так же при выборе транзисторов учитывался ток, протекающий в них. По расчетам ток протекающий через полевые транзисторы приблизительно 0,5 А.

Были выбраны полевые транзисторы IRFZ48 с максимальным напряжением 55 В и максимальным током 64 А, это полностью удовлетворяет нашим требованиям. На рисунке 17 показан полевой транзистор IRFZ48.

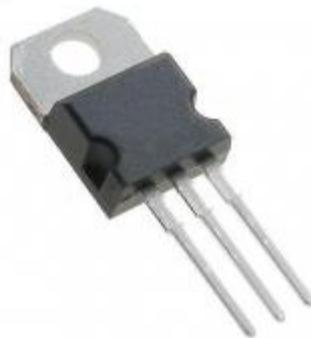


Рисунок 17 – Транзистор IRFZ48

## **3 МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ В ПРОГРАММЕ LTSPICE IV**

### **3.1 Описание программы LTspice IV**

Конструирование, изготовление и наладка источников питания имеет свои специфические особенности. Для примера, авария источника питания и выход из строя его отдельных элементов может случиться за считанные доли секунды. Это практически не дает возможности рассмотреть причины поломки устройства. Многих проблем можно избежать, если заранее произвести моделирование схемы источника питания. Моделирование дает возможность проверки элементов источника питания в критических режимах. Также с помощью программы можно производить замеры напряжения и тока, что весьма проблематично в реальных устройствах. Программа LTspice IV позволяет уточнить и оптимизировать результаты расчетов, а иногда и экспериментально подбирать параметры элементов и режимы работы.

В настоящее время доступно множество программ для моделирования электрических схем, однако выбор сделан в пользу программы LTspice IV из-за ряда преимуществ. Программа является полностью бесплатной и подходит практически для всех платформ, в том числе и Windows. Программа на английском языке, однако имеет интуитивно понятный интерфейс и в случае необходимости можно найти руководство по данному симулятору, так как программа LTspice IV является весьма популярной среди российской аудитории.

### **3.2 Схема в программе LTspice**

На рисунке 18 изображена моделируемая схема портативного генератора высокого постоянного напряжения в программе LTspice IV. Схема состоит из источника питания (V1) напряжением 9 вольт, катушки индуктивности (L1) 10 мкГн, двух транзисторов M1 и M2 марки IRFZ48N, резисторов R1 и R2 номинала 800 Ом, трансформатора состоящего из трех

катушек (двух первичных L2 и L4, и вторичной L3), конденсаторов C1-C4 емкостью 2 нФ и диодов D1-D4. В качестве нагрузки подключен резистор номиналом 100 МОм.

В процессе моделирования менялись номиналы индуктивности, резисторов, конденсаторов и нагрузки.

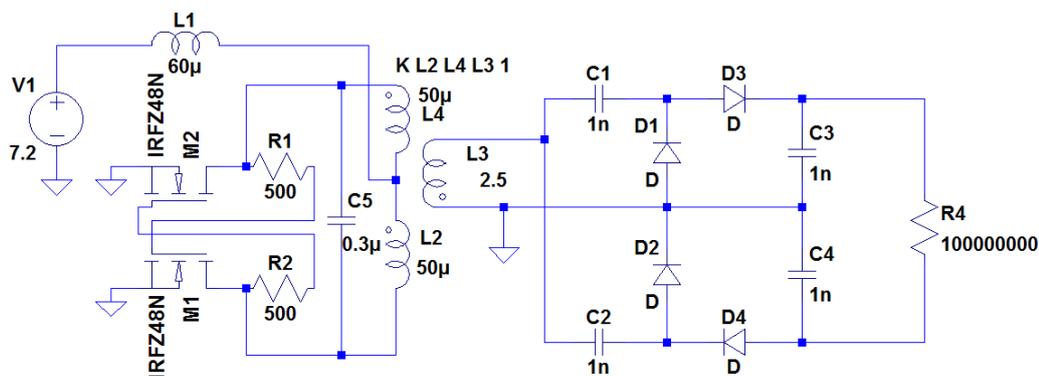


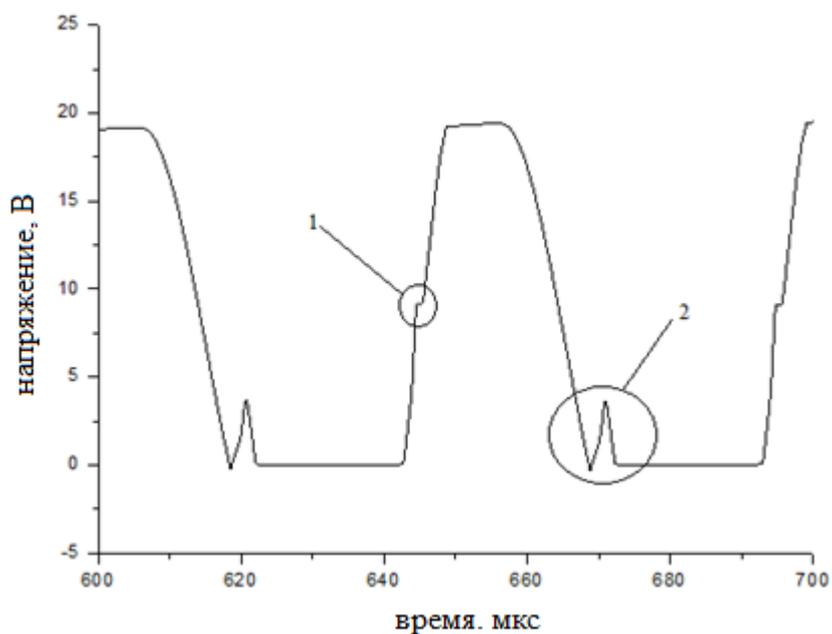
Рисунок 18 – Схема генератора в программе LTspice IV

Так как используемая модель не учитывает эффекта насыщения сердечника, поэтому в схему искусственно введен конденсатор C5 для более адекватного моделирования реальной схемы. Установлено, что включение конденсатора указанного номинала в реальную схему практически не изменяет характеристик её работы.

Без данного контура осциллограммы программы моделирования не соответствуют действительности.

### 3.3 Получение модельных осциллограмм

В процессе моделирования схемы генератора были получены осциллограммы напряжений на разных элементах цепи. На рисунке 18 приведена осциллограмма напряжения на стоке транзистора из программы LTspice IV.



1— момент закрытия транзистора, 2 – момент открытия транзистора

Рисунок 19 – Осциллограмма напряжения на стоке транзистора

Из данной осциллограммы можно посчитать некоторые параметры для сравнения с осциллограммой на рисунке 27, полученной экспериментально, то есть измеренной осциллографом на готовом устройстве. Амплитуда напряжения приблизительно 20 В, частота работы транзистора 20 кГц.

На рисунке 20 приведена осциллограмма выходного напряжения повышающего трансформатора.

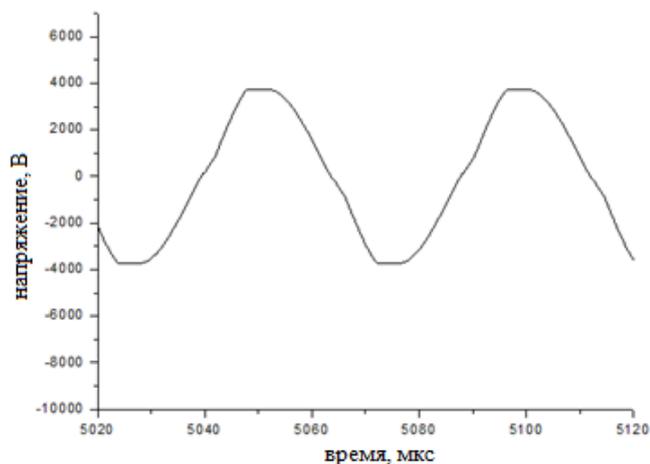


Рисунок 20 – Осциллограмма напряжения на выходе трансформатора

Для сравнения с экспериментальной осциллограммой на рисунке 29 выделим параметры данной осциллограммы. Амплитуда напряжения немного меньше 4 кВ, частота выходного напряжения трансформатора 20 кГц. Форма импульсов напряжения синусоидальная.

На рисунке 21 приведена осциллограмма напряжения на затворе полевых транзисторов из программы моделирования LTspice.

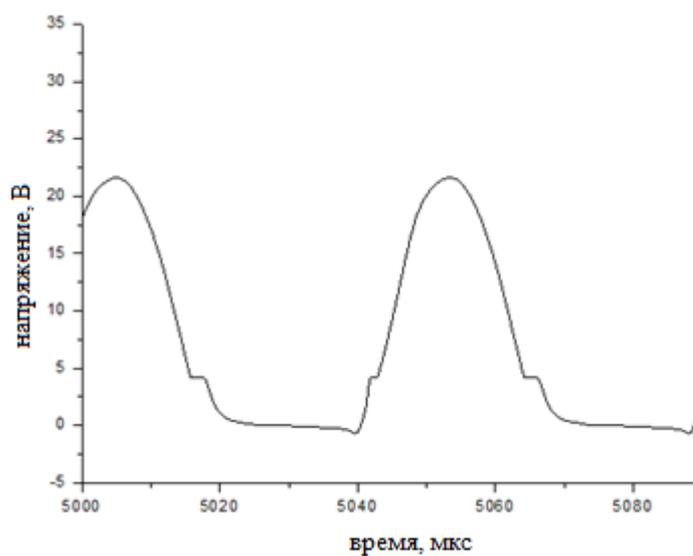


Рисунок 21 – Осциллограмма напряжения на затворе транзисторов

Аналогично с предыдущими осциллограммами выделим основные параметры. Амплитуда напряжения приблизительно 22 В, частота 20 кГц.

#### 4 СБОРКА ГЕНЕРАТОРА

После расчета всех элементов генератора высокого напряжения и моделирования его режимов работы была начата его сборка.

Сначала был собран повышающий трансформатор. На каркас было намотано 400 витков вторичной обмотки и по 2 витка первичных обмоток. Далее каркас был помещен внутрь ферритового сердечника, состоящего из двух чашек и скрепленных между собой. Выводы обмоток были дополнительно изолированы термоусаживаемой трубкой. Изготовленный трансформатор показан на рисунке 22.



Рисунок 22 – Фотография трансформатора

Выводы первичных обмоток трансформатора спаяны с преобразователем напряжения. Средняя линия трансформатора спаяна с кнопкой пуска генератора, которая соединена с источником питания. Таким образом, нажимая кнопку пуска питание будет подводиться к средней точки первичных обмоток трансформатора. Выводы вторичной обмотки спаяны с умножителем. Как видно из рисунка 22, выводы вторичной обмотки дополнительно изолированы термоусаживаемой трубкой.

Был спаян умножитель напряжения на текстолитовой подставке, состоящий из четырех диодов и четырех конденсаторов. Фотография умножителя приведена на рисунке 23.



Рисунок 23 – Фотография умножителя напряжения

На текстолитовой подставке был спаян преобразователь напряжения, состоящий из двух транзисторов и двух резисторов. Получившийся преобразователь представлен на рисунке 24.

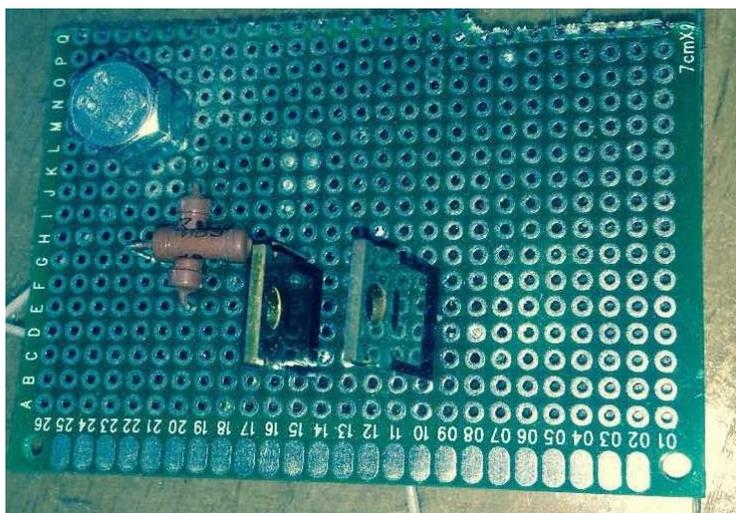


Рисунок 24 – Фотография преобразователя напряжения.

В качестве источника питания использовались две батареи “Крона” напряжением 9 В, включенных параллельно. Фотография источника питания приведена на рисунке 25.



Рисунок 25 – Фотография источника питания схемы

В конце работы все составляющие генератора были спаяны между собой изолированными проводами.

В итоге получилось готовое устройство – макет портативного генератора постоянного высокого напряжения, который изображен на рисунке 26.

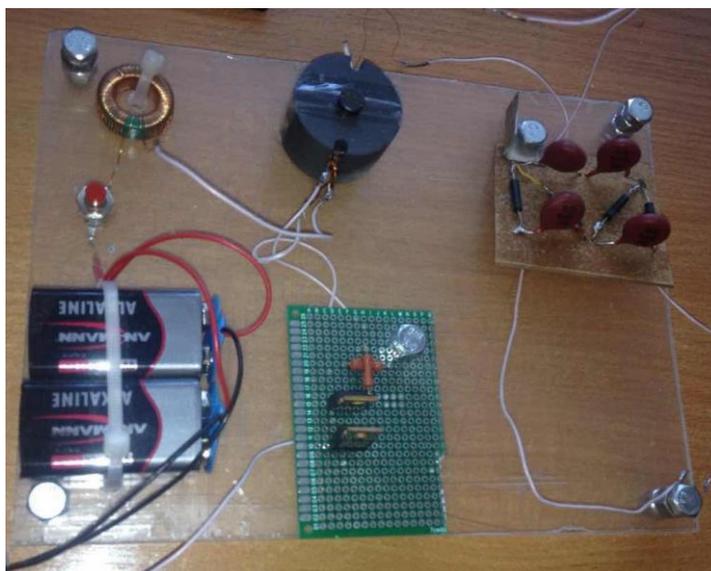


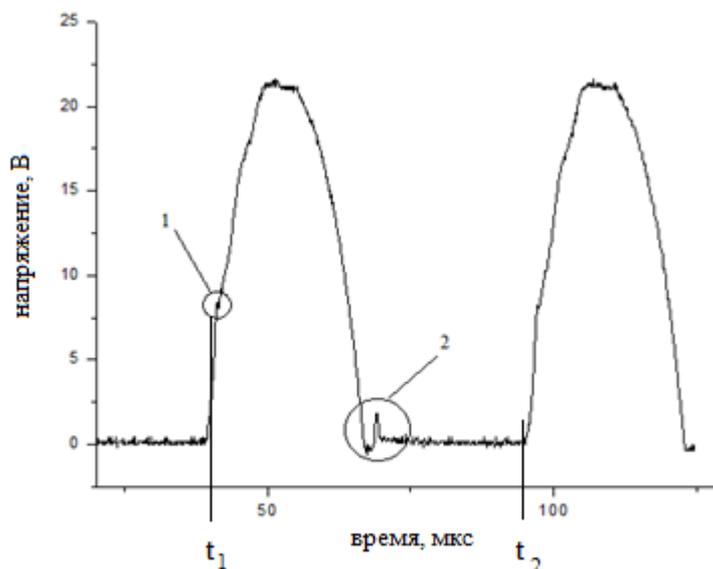
Рисунок 26 – Генератор высокого постоянного напряжения

## 5 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЬНЫХ И РЕАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА

### 5.1 Получение экспериментальных осциллограмм

На готовом устройстве были произведены измерения. С помощью осциллографа были получены осциллограммы напряжений на выходе трансформатора, на затворе и стоке полевых транзисторов.

На рисунке 27 приведена осциллограмма напряжения на стоке транзисторов.



$$t_1=35 \text{ мкс}, t_2=90 \text{ мкс}; T=t_2-t_1=90-35=55 \text{ мкс}.$$

1 – момент закрытия транзистора, 2 – момент открытия транзистора

Рисунок 27 – Осциллограмма напряжения на стоке транзистора

Из осциллограммы можно выделить ее параметры. Амплитудное напряжение составляет 22 Вольта.

Для определения частоты работы транзисторов на рисунке 27 опущены перпендикуляры. Судя по осциллограмме период составляет 55 мкс. Тогда частоту можно посчитать по следующей формуле:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{55 \times 10^{-6}} = 18,2 \text{ кГц} \quad (1)$$

На рисунке 28 приведена осциллограмма напряжения на затворе транзисторов.

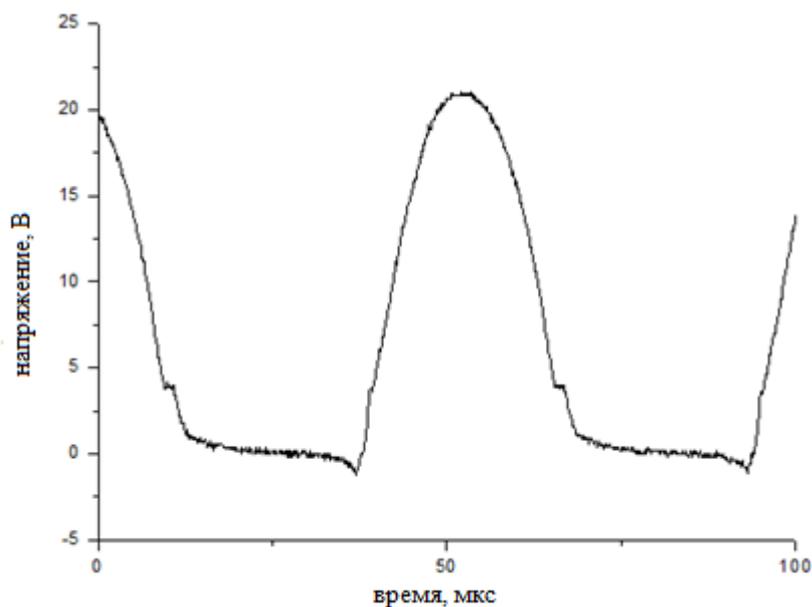


Рисунок 28 – Осциллограмма напряжения на затворе транзисторов

Из осциллограммы выше можно выделить параметры. Амплитудное напряжение 22 Вольта.

На рисунке 29 приведена осциллограмма напряжения на выходе повышающего трансформатора.

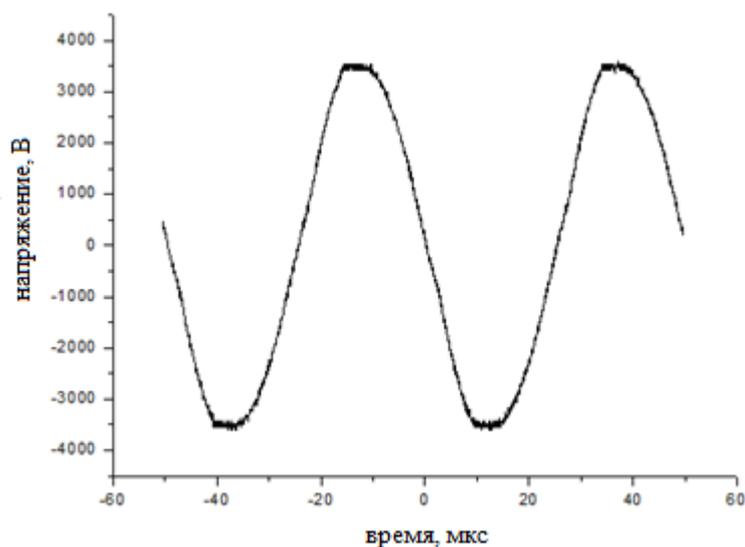


Рисунок 29 – Осциллограмма выходного напряжения трансформатора

Можно выделить следующие параметры. Амплитуда напряжения немного меньше 4000 Вольт.

Сравнивая модельные осциллограммы на рисунках 19, 20, 21 с реальными осциллограммами на рисунках 27, 28, 29 можно утверждать, что режимы работы реальной схемы соответствуют режимам, полученным в симуляторе LTSpice. Это видно по формам осциллограмм и по параметрам, таким как амплитудное напряжение и частота. В модельных осциллограммах частота получилась равной 20 кГц, в экспериментальных – 18,2 кГц. Амплитудное напряжение на стоке транзистора модельной осциллограммы получилось 20 В, а экспериментальной – 22. Амплитудное напряжение на затворе транзистора модельной осциллограммы получилось 22 В, а экспериментальной также 22 В. Амплитудное напряжение на выходе трансформатора по модельной осциллограмме 3800 В, по экспериментальной – 3900 В. Небольшое их расхождение обусловлено тем, что в программе LTSpice IV, в которой производилось моделирование, модели элементов идеализированы. А реальные элементы имеют свои паразитные параметры, которые не учитываются при моделировании. Собранный генератор в целом соответствует техническому заданию.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Т21	Алипов Адиль Ержанович

<b>Институт</b>	<b>ФВТ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ВЭСЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Высокотехнологические пламенные и энергетические установки

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Научный проект проводился в лаборатории кафедры ВЭСЭ НИ ТПУ. Использовалась материально-техническая база ТПУ. В проекте принимали участие два человека: руководитель, студент.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i>	Технико-экономическое обоснование проекта SWOT-анализ проекта
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Проект выполняется в рамках бакалаврского диплома, устав не требуется.
3. <i>Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет.</i>	Планирование работ по проекту Расчет сметы затрат на проект
4. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта</i>	Оценка рисков проекта

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. <i>Диаграмма графика работ</i>	
2. <i>График проведения и смета проекта</i>	
3. <i>Матрица решений</i>	

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т21	Алипов Адиль Ержанович		



комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT – анализ проекта позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок. Для анализа проекта составлена таблица 4.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 4 – SWOT анализ проекта

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность устройства. С2. Широкое применение устройства. С3. Возможность создания современных моделей и наличие большого спектра библиотечных моделей. С4. Дешевизна составных элементов С5. Простой монтаж элементов С6. Высокое напряжение на выходе генератора С7. Возможность увеличения мощности генератора при помощи замены транзисторов на более мощные	В1. Возможность применения на любую нагрузку В2. Простая эксплуатация В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Завышенные требования к повышающему трансформатору Сл2. Ограниченная мощность генератора источником питания Сл3. Не предусмотрена система охлаждения	У1. Возможность создание более доступного в цене аналогового устройства У2. Развитая конкуренция технологий производства

Слабые стороны данного проекта можно устранить благодаря модернизации генератора. Последствия со стороны, его удорожание и увеличение габаритов.

Таблица 5 – Матрица решений.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
B1	+	+	+	-	+	+	0
B2	+	+	0	+	+	-	-
B3	0	+	+	+	+	+	+

Проведен комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Самое большое негативное влияние оказывает возможность создание более доступной в цене аналоговой программы, что на данном этапе не прогнозируется.

Что касается слабых сторон, то портативный генератор имеет завышенные требования к повышающему трансформатору, но с развитием технологий, данная слабая сторона регулируется сама собой.

Результаты проекта могут быть перепроданы с целью экономии время покупателя на организацию работы, расчеты и так далее.

Проведен SWOT-анализ проекта. Судя по нему, мы можем сказать, что проект практически не имеет слабых сторон, однако проект имеет узкий круг потребителей. Но, не смотря на это, проект имеет коммерческий потенциал.

## **5.2 Планирование работ по проекту**

Исходными данными для расчета является план выполнения работ, их трудоемкость и перечень исходных материалов.

Для определения трудоемкости выполнения проекта составим перечень основных видов и этапов работы, которые должны быть выполнены (таблица 5).

Таблица 5 – План научно-исследовательской работы

№ этапа	Наименование этапов	Наименование работ	Исполнители	Продолжительность этапов в %
1	Подготовительный этап	Получение технического задания	Руководитель Студент	23
		Изучение программы Origin 8.	Студент	27
		Обзор топологии схем получения высокого напряжения, выбор схемы генератора.		
2	Теоретическая часть	Расчеты узлов схемы: трансформатора, преобразователя, умножителя.	Студент	34
		Расчет элементов схемы: конденсаторов, диодов, транзисторов.		
3	Моделирование схемы	Создание модели в программе LTspice IV	Студент	10
		Получение модельных осциллограмм		
4	Экспериментальная часть	Реализация генератора, сборка	Руководитель Студент	10
		Получение экспериментальных осциллограмм		
5	Внесение корректив в разработки	Пуско-наладочная работа генератора	Руководитель Студент	3
6	Выводы	Выводы сделанные в течение работы над проектом	Студент	2

Одной из основных целей планирования научно – исследовательской работы является определение общей продолжительности ее проведения. В настоящее время для определения ожидаемого значения продолжительности работы  $t_{ож}$  применяются несколько вариантов использования вероятностных оценок продолжительности. Рассмотрим один из них:

$$t_{ОЖ} = \frac{3 \times t_{MIN} + 2 \times t_{MAX}}{5}, \quad (21)$$

где  $t_{MIN}$  – кратчайшая продолжительность данной работы;

$t_{\text{MAX}}$  – самая длительная продолжительность данной работы.

Для определения трудоемкости выполнения проекта воспользуемся формулой:

$$T = n \times t_{\text{ож}(ij)}, \quad (22)$$

где,  $T$  – трудоемкость, чел.×дн.;

$n$  – количество исполнителей, человек;

$t_{\text{ож}(ij)}$  – продолжительность работ, дней.

Результаты сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Определение трудоемкости работ

№ этапа	Кол-во исполнителей	Кол-во Дней	Продолжительность работ			Т, чел/дн
			$t_{\text{MIN}}$	$t_{\text{MAX}}$	$t_{\text{ож}}$	
1	Руководитель проекта Студент	78	75	80	77	154
2	Руководитель проекта Студент	81	78	83	80	160
3	Руководитель проекта Студент	93	90	98	93	186
4	Руководитель проекта Студент	30	28	33	30	60
5	Руководитель проекта Студент	9	7	11	9	18
6	Руководитель проекта Студент	6	5	7	6	12
7	Руководитель проекта Студент	3	2	5	3	6

Далее, строим линейный график работ и график занятости работников. Он является наиболее простым и наглядным; он отражает наименования этапов, численность исполнителей и длительность выполнения каждого вида работ.

Общая продолжительность НИР составила 300 рабочих дней ( $t_{\text{раб}}$ ), при этом не учитывались выходные и праздничные дни. Для учета выходных и праздников переведем рабочие дни в календарные, для перевода воспользуемся формулой:

$$t_{\text{кал}} = \frac{t_{\text{раб}}}{k_{\text{пер}}} = \frac{300}{0,66} = 455 \text{ дней}, \quad (23)$$

где  $t_{\text{кал}}$  - общая продолжительность НИР в календарных днях;

$t_{\text{раб}}$  - общая продолжительность НИР в рабочих днях;

$k_{\text{пер}}$  – переводной коэффициент равный 0,66.

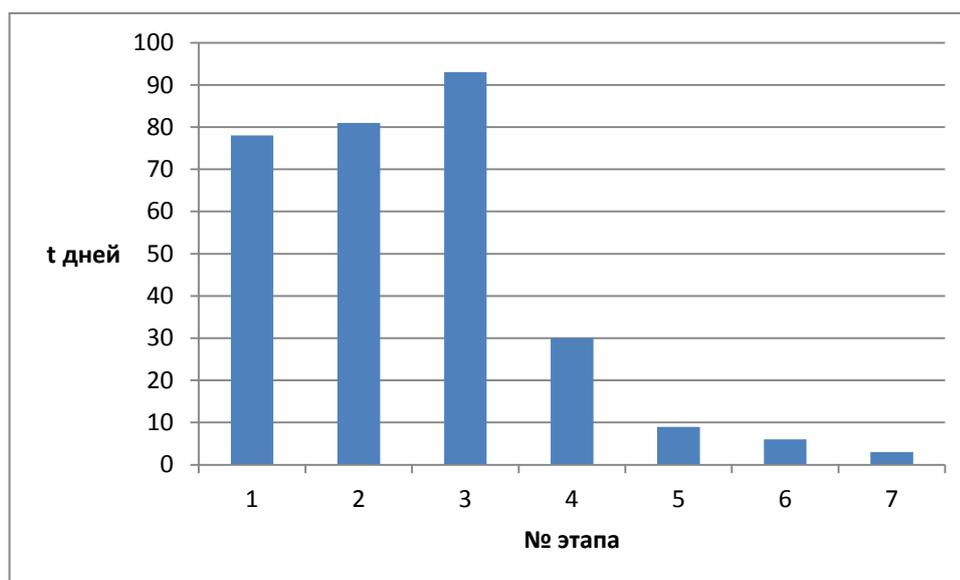


Рисунок 30 – Диаграмма графика работ

### 5.3 Смета затрат на проект

Рассчитываем смету расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам. комп. техн}} + I_{\text{з/плл}} + I_{\text{соц. отч.}} + I_{\text{накл. расх}} + I_{\text{прочие}}. \quad (24)$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции.

Рассчитываем материальные затраты ( $I_{\text{мат}}$ ). Результаты расчета сведем в таблицу 7.

$$I_{\text{мат}} = K_{\text{комп}} + K_{\text{бат}} + K_{\text{паяльник}} + K_{\text{эл}} = 44000 + 1000 + 600 + 986 = 46586 \text{ руб.} \quad (25)$$

Таблица 7 – Материальные затраты

Материалы и оборудование	Ед. изм	Срок службы, год	Кол-во материала, ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
Компьютер	шт	7	2	22000	44000
Паяльник	шт	10	1	600	600
Батарея	шт	1	2	500	1000
Электроды	шт	10	2	100	200
Корпус	шт	5	1	350	350
Транзисторы	Шт	2	2	56	112
Резисторы	Шт	5	2	18	36
Конденсаторы	Шт	5	4	9	36
Диоды	Шт	4	4	13	52
Провода и остальное	Шт	10	-	-	200
Итого					46586

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году.

Рассчитаем амортизацию компьютерной техники ( $I_{\text{ам. комп. техн}}$ ).

Для расчета амортизации оборудования воспользуемся следующей формулой:

$$И_{\text{ам.комп.}} = \left( \frac{T_{\text{исп.к.}}}{365} \right) \times K_{\text{комп.}} \times H_a. \quad (26)$$

где,  $T_{\text{исп.к.}} = 455$  дней – время использования компьютерной техники;

365 дней – число дней в году;

$K_{\text{комп.}}$  – стоимость компьютера, руб.;

$H_a$  – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{\text{сл.к.}}}. \quad (27)$$

где  $T_{\text{сл.к.}}$  – срок службы компьютерной техники, год.

$$И_{\text{ам.комп.}} = \left( \frac{T_{\text{исп.к.}}}{365} \right) \times K_{\text{комп.}} \times H_a = \left( \frac{455}{365} \right) \times 22000 \times \frac{1}{7} = 3917 \text{ руб.} \quad (28)$$

$$И_{\text{ам.комп.техн.}} = 2 \times И_{\text{ам.комп.}} = 2 \times 3917 = 7834 \text{ руб.} \quad (29)$$

Результаты расчета сведем в таблицу 8.

Таблица 8 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование Оборудования	$K_{\text{комп.}}$ руб.	$T_{\text{исп.к.т.}}$ дней.	$И_{\text{ам.комп.}}$ руб
Компьютер	22000	455	3917
Компьютер	22000	455	3917
Итого:			7834

Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей.

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;
- выплаты по районным коэффициентам;

- компенсации за неиспользованный отпуск;
- другие виды выплат.

Примем, что полный фонд заработной платы (ФЗП):

$$\text{ФЗП} = 30000 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды выражаются в виде единого социального налога, который включает в себя: обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Единый социальный налог – 26%.

Рассчитываем отчисления на социальные нужды ( $I_{\text{соц.отч.}}$ ):

$$I_{\text{соц.отч.}} = \text{ЕСН} = 0,26 \times \text{ФЗП} = 0,26 \times 30000 = 7800 \text{ руб.} \quad (30)$$

Накладные расходы используют на следующее:

- 1) затраты на текущий ремонт;
- 2) амортизацию основных производственных фондов;
- 3) затраты на охрану труда и пожарную безопасность.

Для проектных отделов накладные затраты составляют 200% от полного фонда заработной платы. Тогда:

$$I_{\text{накл.расх}} = 2,0 \times \text{ФЗП} = 2,0 \times 30000 = 60000 \text{ руб.} \quad (31)$$

Прочие затраты – затраты, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 2% от всех издержек и вычисляются по формуле:

$$I_{\text{прочие}} = 0,02 \times (I_{\text{мат}} + \text{ЗП} + I_{\text{ам.комп.т.}} + \text{ЕСН}) = 0,02 \times (46586 + 30000 + 7834 + 7800) = 1844 \text{ руб.} \quad (32)$$

Рассчитываем себестоимость проекта ( $K_{\text{проекта}}$ ).

$$\Sigma I_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.комп.техн}} + \text{ЗП} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}} = 46586 + 7834 + 30000 + 7800 + 60000 + 1844 = 154064 \text{ руб.} \quad (33)$$

Рассчитываем плановые накопления (ПР). Стоимость проекта включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$ПР = 0,3 \times K_{\text{проекта}} = 0,3 \times 154064 = 46220 \text{ руб.} \quad (34)$$

Рассчитываем стоимость проекта (Ц):

$$Ц = K_{\text{проекта}} + ПР = 154064 + 46220 = 200284 \text{ руб.} \quad (35)$$

В таблице 9 представлена смета затрат на проект.

Таблица 9 – Смета затрат на научно-исследовательскую работу

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	$I_{\text{матер}}$	46 586
Амортизация компьютерной техники	$I_{\text{ам, комп. техн}}$	7834
Затраты на оплату труда	ЗП	30 000
Отчисления на социальные нужды	$I_{\text{соц. отчисл}}$	7800
Накладные расходы	$I_{\text{накл. расх}}$	60 000
Прочие затраты	$I_{\text{прочие}}$	1844
Себестоимость проекта	$K_{\text{проекта}}$	154 064
Плановые накопления (прибыль)	ПР	46 220
Стоимость проекта (цена)	Ц	200 284

#### 5.4 Оценка рисков проекта

Произведем оценку рисков. Определение рисков является одним из важнейших моментов при создании проекта. Учет рисков даст возможность избежать опасных факторов, которые негативно отражаются на внедрении в жизнь проекта.

Производится оценка важности рисков. При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления ( $P_i$ ). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом ( $w_i$ ). Важность оценивается по 10- балльной шкале  $b_i$ . Сумма весовых коэффициентов

должна равняться единице. Оценка важности рисков приведена в таблицах 10-14

Таблица 10 – Социальные риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i \cdot w_i$
1	Низкая квалификация ремонтного персонала	0	2	0,07	0
2	Непросвещенность компаний о предлагаемом методе	25	6	0,18	4,5
3	Бюрократические проволочки на стадии регистрации	50	8	0,28	14
4	Несоблюдение техники безопасности	25	7	0,25	6,25
5	Увеличение нагрузки на персонал	25	5	0,18	4,5
6	Отсутствие корпоративных стандартов	75	1	0,04	3
	Сумма		29	1	32,25

Таблица 11 – Экономические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i \cdot w_i$
1	Инфляция	100	1	0,02	2
2	Экономический кризис	75	2	0,04	3
3	Недобросовестность поставщиков	25	2	0,1	2,5
4	Непредвиденные расходы в плане работ	50	7	0,04	2
5	Снижение уровня спроса на продукцию	25	10	0,2	5
6	Сложность выхода на мировой рынок	75	7	0,2	15
7	Колебания рыночной конъюнктуры	25	6	0,1	2,5
8	Отсутствие в числе сотрудников экономистов	25	2	0,04	1
9	Низкие объемы сбыта	50	10	0,16	8
	Сумма		47	1	41

Таблица 12 – Политические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i \cdot w_i$
1	Снижение приоритета Правительства РФ энергосбережения	25	7	0,5	12,5
2	Смена власти	0	1	0,05	0
3	Угроза национализации	0	1	0,05	0
4	Отсутствие поддержки со стороны чиновников	75	6	0,4	30
	Сумма		15	1	42,5

Таблица 13 – Технологические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i \cdot w_i$
1	возможность поломки оборудования	25	7	0,25	6,25
2	низкое качество поставленного оборудования	25	9	0,3	7,5
3	неправильная сборка оборудования	25	8	0,3	7,5
4	опасность для работающего персонала и аппаратуры	75	4	0,15	11,25
	Сумма		28	1	32,5

Таблица 14 – Научно-технические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i \cdot w_i$
1	развитие конкурентных технологий	50	7	0,15	7,5
2	создание новых методов получения высокого напряжения	75	7	0,15	11,25
3	риск невозможности усовершенствования технологии	50	8	0,15	7,5
4	отсутствие результата в установленные сроки	50	7	0,16	8
5	получение отрицательного результата при внедрении производство	25	10	0,2	5
6	несвоевременное патентование	25	9	0,19	4,75
	Сумма		48	1	44

Произведем расчет общих рисков (таблица 15), которые дают общую оценку в 43, т.е. проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен препятствий.

Таблица 15 – Общие риски

№ п/п	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$b_i \cdot w_i$
1	Социальные	6	0,15	32,25	4,84
2	Экономические	9	0,25	41	10,25
3	Политические	4	0,1	42,5	4,25
4	Технологические	8	0,2	32,5	6,5
5	Научно-технические	10	0,3	44	13,2
Итого			1		39

Расчет рисков дает общую оценку в **39**. Эта цифра говорит, что проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен вероятных препятствий. Оценка отдельных групп риска (с наиболее высокими показателями, в особенности научно-технические и технологические) будет учтена на подготовительном

этапе, чтобы по возможности снизить их отрицательное влияние на проект в целом.

Мероприятия по снижению возможных рисков при сооружении проекта:

Социальные:

Несоблюдение техники безопасности – применять плакаты и таблички при проведении работ, составить правила по технике безопасности, ведение журнала по технике безопасности.

Отсутствие корпоративных стандартов – составить общие правила для персонала.

Низкая квалификация персонала – произвести тщательный подбор персонала.

Инертность российской промышленности в отношении передовых технологий – провести презентации и показы, с целью доказательства эффективности и превосходства нашего материала.

Экономические:

Инфляция – заранее просчитать все расходы с учетом инфляции и может даже с запасом.

Недобросовестные поставщики – нужно выбрать добросовестных и проверенных поставщиков.

Непредвиденные расходы – закладка в бюджет непредвиденных расходов.

Низкие объемы производства - в среднесрочном плане, при нехватке производственных мощностей, планируется увеличить площади производства 2-3 раза.

Снижение уровня спроса – производить активную рекламную кампанию.

Технологические:

Опасность повреждения оборудования при транспортировке – при транспортировке оборудования выбрать проверенных перевозчиков.

Опасность повреждения оборудования при монтаже – сделать план размещения оборудования, провести тщательную подготовку перед монтажом.

Возможность поломки оборудования – заказать оборудование у известных фирм-производителей, регулярно следить за бережным отношением к оборудованию при эксплуатации.

Низкое качество поставленного оборудования – заказать оборудование у известных фирм-производителей.

Неправильная сборка оборудования – заранее сделать схемы соединений между частями оборудования, провести проверку соединений после сборки.

Политические:

Снижение поддержки со стороны государства – скорее всего очень маловероятно, поскольку развитие nanoиндустрии в России является одним из приоритетных направлений развития науки и техники.

Смена власти – скорее всего очень маловероятно.

Нарушение действующих нормативных актов и стандартов – назначить ответственного за соблюдение всех правил.

Научно-технические:

Развитие конкурентных технологий – постоянно искать пути оптимизации технологии.

Создание новых методов – постоянно искать пути оптимизации технологии.

Материал не соответствует заявленным свойствам – при производстве на новом запущенном оборудовании произвести тщательный анализ получаемого порошка различными методами.

Данный проект подвержен рискам, однако если относиться к выполнению работ добросовестно, то большинство из них исключено. Социальные риски легко устранимы при должном выполнении всех намеченных мероприятий. Политические риски в основном в принципе не

возможны. Технические риски можно избежать, если относиться к выбору поставщиков добросовестней, а также внимательно следить за условиями труда рабочих, и самим технологическим процессом. Экономические же риски можно преодолеть заранее к ним подготовившись – грамотно оценить рентабельность проекта, оправданность и сумму вкладываемых средств. Научно-технические риски преодолеваются путем постоянной оптимизации технологии. Исходя из всего вышеперечисленного, можно смело утверждать, что проект можно воплотить в жизнь.

Таким образом, при учете возможности возникновения факторов, указанных при оценке рисков, а также при применении вышеуказанных мероприятий, предлагаемый проект является реализуемым. В особенности при реализации этапа опытно-конструкторских работ следует обратить внимание на научно-технические и технологические риски.

В данном разделе выпускной квалификационной работе подробно приведен план выполнения работы, произведена оценка трудоемкости работы. Общая продолжительность проекта 455 календарных дней.

Также была рассчитана стоимость затрат на реализацию НТП (Бюджет научно-технического проекта составил 200 284 рублей), осуществлен комплексный SWOT-анализ научно-исследовательского проекта, на основе которого выявлены слабые стороны проекта и предложены рекомендации для их устранения. Согласно оценке коммерческого и инновационного потенциала проекта возможности, совместно с сильными сторонами, благоприятствуют развитию спроса на результаты проекта. Одна из основных угроз – возможность создания наиболее экономически выгодной методики. В целом, научно-исследовательский проект почти не имеет слабых сторон и угроз.

При разработке проекта использовалась материально-техническая база Томского Политехнического Университета, поэтому затраты на компьютерное оборудование и комплектующие материалы, диоды, транзисторы можно не учитывать, а учесть только их амортизацию. Тем

самым, бюджет проекта снизится на 46 586 рублей и составит чуть более 150 000 рублей. Это незначительная сумма для подобного НТП, поэтому его можно назвать ресурсоэффективным и весьма перспективным с точки зрения коммерческой реализации его результатов.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Т21	Алипову Адилю Ержановичу

<b>Институт</b>	<b>ИФВТ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ВЭСЭ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Высокотехнологические плазменные и энергетические установки

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Портативный генератор высокого напряжения.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	Вредные факторы: -шум при работе генератора -генерация озона -повышенный уровень электромагнитного излучения -недостаточное освещение -неблагоприятные условия микроклимата. Опасные факторы: Плазменная дуга имеет высокую температуру Опасность поражение электрическим током Статическое электричество
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	Вырабатываемые в процессе работы стенда химически-активные частицы представляют собой метастабильные соединения азота и кислорода, время жизни которых составляет от нескольких миллисекунд до нескольких минут. Концентрация данных частиц крайне низкая, при этом они никак не воздействуют на окружающую среду. Значительная доля химически-активных частиц распадается через несколько секунд после попадания в вентиляцию.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС при работе со стендом: -отравление озоном; -пожар;
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Требования к рабочей зоне: -обеспечение электромагнитной совместимости оборудования; - вентиляция помещения; -наличие системы аварийного отключения питания.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнидеятельности	Анищенко Юлия Владимировна	Кандидат технических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т21	Алипов Адиль Ержанович		

## **7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

В данной выпускной квалификационной работе были выполнены проектирование, расчеты и сборка портативного генератора высокого напряжения. Целью данного раздела является оценка и анализ опасных факторов, которые оказывают воздействия на окружающую среду и на рабочий персонал, который занимается проектированием генератора. Проведена разработка мер защиты от этих факторов. Так же в данном разделе, будут рассмотрены вопросы, касающиеся непосредственно техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

### **7.1 Производственная безопасность**

#### **7.1.1 Анализ опасных и вредных факторов**

В ходе анализа разработки портативного генератора высокого напряжения были выявлены следующие опасные факторы:

- поражение электрическим током;
- термическое поражение.

Так же присутствуют вредные факторы, которые оказывают неблагоприятное влияние на исследователя. Это:

- повышенный уровень шума;
- повышенная концентрация озона;
- недостаточная освещенность;
- отклонение параметров микроклимата.

В основе работы данного портативного генератора лежит схема увеличения напряжения. В качестве источника питания используется батарея напряжением 9 Вольт. На выходе генератора получается напряжение порядка десятка киловольт.

При работе с высоким напряжением соблюдение правил электробезопасности является ключевым моментом. Особенностью работ с высоким напряжением является то, что поражение электрическим током

может произойти даже без прямого контакта с оголенной частью проводника. Электрический ток оказывает на человека негативное влияние в виде ожогов, вызывает изменения частоты работы сердца вплоть до его остановки. Поражение электрическим током так же может вызвать нарушение работы нервной системы, сокращение мышц, судороги.

Обязательным условием работы с генератором является III группа допуска исследователя.

III квалификационная группа присваивается только электротехническому персоналу. Эта группа дает право единоличного обслуживания, осмотра, подключения и отключения электроустановок от сети напряжением до 1000 В.

Помимо группы допуска у персонала, необходимо проведение специальных мер по обеспечению электробезопасности на рабочем месте. Эти меры включают в себя:

- заземление корпуса;
- отсутствие токоведущих частей установки в открытом состоянии.

Возможно получение термического ожога при неосторожной работе с данной электроустановкой. Термическое поражение может возникнуть в двух случаях: поражение электрическим током и при воздействии плазменной дуги на живую ткань. Не исключено получение ожогов при непосредственном контакте оголенными частями генератора.

Анализируя тепловое воздействие, можно заключить, что наиболее тяжелая возможная степень ожога при неосторожной работе – вторая.

*Вторая степень.* Повреждается ороговевший эпителий до росткового слоя. Формируются небольшие пузыри с серозным содержимым. Полностью заживают за счёт регенерации из сохранившегося росткового слоя за 1—2 недели.

Тем не менее, существует ряд мероприятий, позволяющих предотвратить термическое поражение персонала:

- не подставлять руки на расстояние менее 5 см;

- после/во время длительной работы генератора не допускать прикосновение к его нагретому корпусу без защитных перчаток;
- не допускать длительного воздействия плазменной дуги на живую ткань.

В некоторых случаях возможно поражение электрическим током через плазменную струю. Это может возникнуть в случае, если подставить конечность максимально близко к срезу сопла. В этом случае разряд перекинется с анода на тело человека. Для исключения этого явления, необходимо не допускать контакта с плазменной струей вблизи среза сопла.

Повышенный уровень шума при работе с электроустановкой обусловлен циклическими обрывом и новым иницированием разряда. Частота цикла составляет 50-1000 Гц, в зависимости от скорости потока газа. В результате данных режимов работы, средняя величина звукового давления на рабочем месте составляет 75-80 дБ что является допустимым значением для рабочего места. Учитывая кратковременность проведения экспериментов, можно заключить, что данный вредный фактор не оказывает существенного вреда организму персонала. Тем не менее, данный фактор является нежелательным. Для устранения воздействия шума при работе установки рекомендуется использовать специальные звукоизолирующие наушники.

В процессе работы генератора происходит активная генерация химически-активных атомов и молекул на основе азота и кислорода. Значительную долю химически-активных частиц составляют оксиды азота, которые оказывают положительное воздействие на заживление ран, а также участвуют в процессе обмена веществ. Оксиды азота являются безопасными для организма соединениями. Вместе с тем, происходит активная генерация молекул озона.

Высокая окисляющая способность озона и образование во многих реакциях с его участием свободных радикалов кислорода определяют его высокую токсичность. Воздействие озона на организм может приводить к преждевременной смерти.

Наиболее опасное воздействие высоких концентраций озона в воздухе:

- на органы дыхания прямым раздражением;
- на холестерин в крови человека с образованием нерастворимых форм, приводящим к атеросклерозу;
- на органы размножения у самцов всех видов животных, в том числе и человека (вдыхание этого газа убивает мужские половые клетки и препятствует их образованию). При долгом нахождении в среде с повышенной концентрацией этот газ может стать причиной мужского бесплодия.

Озон в Российской Федерации отнесён к первому, самому высокому классу опасности вредных веществ. Согласно нормативам по озону [«ГН 2.1.6.695-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»]:

предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны 0,1 мг/м<sup>3</sup>.

При этом, порог человеческого обоняния приближённо равен 0,01 мг/м<sup>3</sup>.

Необходимым мероприятием для устранения воздействия данного фактора является вытяжная вентиляция лаборатории.

### **7.1.2 Электромагнитное излучение**

Как и любая электроустановка, генератор способен создавать электромагнитные поля. Следствием воздействия электромагнитного излучения на организм является функциональное нарушение со стороны нервной системы, которое проявляется в виде вегетативных дисфункций неврастенического и астенического синдрома. Лица подверженные электромагнитному излучению, жалуются на слабость, раздражительность, утомляемость, ослабление памяти и расстройство сна. Зачастую этим симптомам сопутствуют расстройства вегетативных функций. Нарушения со

стороны сердечно - сосудистой системы проявляются, в большинстве случаев, нейроциркуляторной дистонией, гипотонией, болью в области сердца.

Предельно допустимый уровень электромагнитного поля:  $E = 500 \text{ В/м}$ . Так как величина электромагнитного излучения незначительна, нет необходимости в использовании дополнительных средств коллективной и индивидуальной защиты.

### **7.1.3 Неблагоприятные условия микроклимата**

Неблагоприятные условия микроклимата приводят к потере теплового равновесия. Понижение температуры и повышение скорости движения воздуха также увеличивает теплоотдачу от организма и может привести к переохлаждению организма за счет возрастания отдачи теплоты конвекцией и при испарении пота. Переохлаждение организма влияет на функциональную деятельность органов человека, скорость биохимических процессов, приводящее к снижению внимания, затормаживанию умственной деятельности.

При повышении температуры, тепловыделения человека начинают превышать теплоотдачу, может возникать перегрев организма. Самочувствие ухудшается и падает работоспособность. Может вызывать серьезные изменения в деятельности сердечно - сосудистой системы. Наблюдаются изменения со стороны дыхания, снижается секреция желудочного и поджелудочного сока, желчи, угнетается моторика желудка, снижается сила условных рефлексов, ослабляется внимание, ухудшается координация движения, что вызывает рост травматизма, снижение работоспособности и производительности труда.

Независимо от природных метеорологических условий в производственных помещениях и рабочей зоне должны быть созданы климатические условия, безопасные для человека и наиболее благоприятные для выполнения работы. Микроклиматические условия на рабочих местах

должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 16 - допустимые параметры микроклимата на рабочем месте.

Таблица 16 - Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте

Сезон года	Температура воздуха, °С.		Температура поверхностей, °С.	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с.	
	Диапазон ниже величин	Диапазон выше величин			Ниже величин не более	Выше величин не более
Хол-ый	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
Теплый	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75	0,1	0,4

Допустимые показатели микроклимата - температура стен, потолка и пола, ограждающих рабочую зону не должна превышать предельно допустимых величин температуры воздуха. Температура окружающей среды (20–22) °С, влажность воздуха 45 %, скорость движения воздуха 0,2 м/с [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Мероприятия по созданию благоприятных условий являются отопление в холодный период, поддерживающая температура воздуха в рабочей зоне, и вентиляция в теплый период. В помещении в целом используется принудительная вентиляция, с разных сторон осуществляется приток воздуха и вытяжка.

#### **7.1.4 Недостаточное освещение**

Согласно СНиП 23-05-95 работа в лаборатории имеет разряд зрительной работы VIII а. Освещение должно быть таким, чтобы не давать глазам ощущения напряжения. При плохом освещении оператор быстро устает, работает медленнее, возникает опасность ошибочных действий. Кроме того, плохое освещение может привести к некоторым

профессиональным заболеваниям. Требуется обеспечить нижеприведенные условия:

- устойчивая и равномерная освещенность;
- тени должны быть мягкими;
- глаза должны быть защищены от попаданий прямых солнечных лучей.

В лаборатории отсутствует естественное освещение, так как помещение находится в подвале. В периоде любого промежутка времени, применяется искусственное освещение (люминесцентные лампы), так как свечение от них приближено к естественному. Для достижения требуемого качества освещения установлены люминесцентные лампы на потолке и на верхней части стен. Норма освещения должна составлять 400 люкс.

## **7.2 Экологическая безопасность**

Данная электроустановка является полностью безопасной для окружающей среды, поскольку в ее работе отсутствуют загрязняющие выбросы. Образующиеся в процессе работы установки химически-активные частицы имеют время жизни от нескольких секунд до нескольких минут, а продукты их распада – кислород и азот, являющиеся основой для воздуха.

### **7.2.1 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Были выявлены следующие возможные чрезвычайные ситуации при работе с генератором:

- пожар;
- превышение ПДК отравляющих веществ в помещении.

Пожар является одним из наиболее вероятных чрезвычайных ситуаций и может возникнуть по следующим причинам:

- короткое замыкание;
- пробой между элементами цепи, перекрытие по поверхности;
- плохой электрический контакт электрических соединений;

- нахождение горючих и легковоспламеняющихся материалов вблизи пламенной дуги.

В настоящее время эффективным методом борьбы с коротким замыканием является использование дополнительных приборов и оборудования, таких как предохранители и защитные реле. К профилактическим мерам по снижению вероятности возникновения короткого замыкания относятся:

- использование исправного оборудования;
- перед использованием произвести тщательный осмотр;
- своевременное устранение выявленных недостатков;
- не допускать механических воздействий на изоляцию оборудования.

Пробой в местах неплотно прилегающих токоведущих частей, в совокупности с наличием пыли и прочих загрязнений, может стать причиной возникновения пожара. Для устранения данного фактора необходимо устранять указанные выше недостатки. Необходимые профилактические меры:

- периодический осмотр электронных компонентов оборудования на предмет искрящих промежутков;
- регулярная чистка оборудования от пыли и прочих загрязнений;
- своевременное устранение выявленных недостатков.
- чистота оборудования на регулярной основе;
- регулярный осмотр схемы на наличие плотного контакта элементов.

Температура плазменной дуги генератора может достигать тысяч Кельвин. Очевидно, что наличие вблизи легковоспламеняющихся материалов и газов может привести к возгоранию. Таким образом, для устранения вероятности пожара нужно держать такие материалы подальше от плазменной дуги.

Как уже отмечалось ранее в данном разделе, генератор является источником химически-активных соединений кислорода и азота, в том числе озона. Возможной чрезвычайной ситуацией при работе стенда является превышение ПДК озона в помещении. Для предотвращения возникновения данной ЧС необходимо своевременное включение вытяжной вентиляции.

### **7.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Привлечение трудящихся к работам в ночное время не производится, так как работа выступает как научно-исследовательская и неоплачиваемая. Практикуется применение спецодежды и СИЗ (маски, перчатки, каски и т.д.). Спецпитание и особое лечебно-профилактическое обслуживание отсутствует. Особенности обязательного социального страхования и пенсионного обслуживания стандартные. Набираемый на работу персонал не подразделяют по половому признаку, т.е. данного рода деятельностью могут заниматься и мужчины и женщины. Режим работы с 9:00 утра до 17:00 вечера, суббота и воскресенье являются выходными днями.

К работе с генератором высокого напряжения не допускаются лица:

- не достигшие возраста 18 лет;
- не прошедшие медицинское освидетельствование и имеющие заболевания, препятствующих выполнению работ;
- не имеющие профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы;
- не прошедшие инструктаж и проверку знаний правил по электробезопасности, предъявляемых к соответствующей должности или профессии.

Аттестация по ТБ проводится не реже 1 раза в год, инструктажи проводятся не реже 1 раза в 3 месяца. В производственных помещениях лаборатории запрещается курить. Место для курения – на улице. Сотрудники, работающие с генератором, несут ответственность за

соблюдение требований безопасности и за правильную эксплуатацию установки. При любых аварийных и травма опасных ситуациях, неисправности оборудования дежурный по установке сообщает руководителю лаборатории. По окончании работ сотрудники должны привести в порядок рабочее место.

Персонал, обслуживающий установку, должен знать:

- правила устройства электроустановок;
- правила технической эксплуатации электроустановок;
- межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации установок;
- правила радиационной безопасности, инструкция № 53 - РБ.;
- правила пользования защитными средствами;
- правила пожарной безопасности;
- правила работы с измерительной аппаратурой и приборами.

## Заключение

В процессе выпускной квалификационной работы были достигнуты все поставленные задачи. Было рассмотрено множество схем получения высокого напряжения и на основании этого выбрана используемая схема для изготовления портативного генератора высокого постоянного напряжения. Были рассчитаны ее параметры, выбраны требуемые элементы схемы, такие как диоды, конденсаторы, резисторы, транзисторы. Был произведен полный расчет трансформатора, посчитано число витков первичных и вторичной обмоток, выбран провод этих обмоток. Рассчитана изоляция трансформатора.

Было произведено моделирование схемы генератора в программе LTspice IV. Получены осциллограммы напряжений на затворе и стоке транзисторов, а так же на выходе трансформатора. Был собран макет портативного генератора высокого постоянного напряжения. Были получены экспериментальные осциллограммы напряжений на затворе и стоке транзисторов и на выходе трансформатора. Далее был проведен сравнительный анализ модельных и экспериментальных осциллограмм. В результате анализа сделаны выводы, что экспериментальные осциллограммы полученные на макете генератора и модельные осциллограммы, полученные в программе LTspice похожи по ряду параметров. По амплитудным значениям напряжения на стоке и затворе транзисторов, по выходному напряжению трансформатора и по частоте работы. Судя по данным параметрам можно утверждать, что режимы работы реальной схемы соответствуют режимам работы, полученным в программе моделирования LTspice. Небольшое их расхождение обусловлено тем, что в программе LTspice IV, в которой производилось моделирование, модели элементов идеализированы. А реальные элементы имеют свои паразитные параметры, которые не учитываются при моделировании.

### Список использованных источников

- 1 Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – Москва: Солон-пресс, 2006. – 416 с.
- 2 Хныков А.В. Теория и расчет многообмоточных трансформаторов. – Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2003. – 100 с.
- 3 Шустов М.А. Практическая схемотехника. – Москва: Альтекс, 2007. – 200 с.
- 4 Петрович В.П. Вентильные преобразователи электромеханических систем. – Томск: ТПИ, 1986. – 93 с.
- 5 Глебов Б.А. Магнитно-транзисторные преобразователи напряжения для питания. – Москва: Радио и связь, 1981. – 97 с.
- 6 Китаев В.Е. Трансформаторы: учебное пособие. – Москва: Высшая школа, 1967. – 258 с.
- 7 Дымков А.М. Трансформаторы напряжения. – Москва: Энергия, 1975. – 201 с.
- 8 Бальян Р.Х. Трансформаторы малой мощности. – Ленинград: Судпромгиз, 1961. – 367 с.
- 9 Володин В.А. LTspice компьютерное моделирование электронных схем. – Санкт-Петербург: БХВ Петербург, 2010. – 389 с.
- 10 Кузьмина Е.А. Методы поиска новых идей и решений. – Москва
- 11 Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами: Учебное пособие. – М.: Омега-Л, 2004. – 664 с.
- 12 Попова С.Н. Управление проектами. Часть I: учебное пособие / С.Н. Попова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 121 с.
- 13 Сущность методики FAST в области ФСА [Электронный ресурс] URL: <http://humeur.ru/page/sushhnost-metodiki-fast-v-oblasti-fsa>
- 14 Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. – 175 с.

## Приложения А

Таблица А1 – Обмоточные провода марки ПЭВ-1 и ПЭВ-2

Диаметр проволоки (мм)	Макс. наружный диаметр пр-да (мм)		Сопротивление 1 метра (Ом)	Диаметр проволоки (мм)	Макс. наружный диаметр пр-да (мм)		Сопротивление 1 метра (Ом)
	ПЭВ-1	ПЭВ-2			ПЭВ-1	ПЭВ-2	
0,02	0,025	—	54,905	0,5	0,548	0,569	0,0878
0,025	0,031	—	35,139	0,53	0,579	0,601	0,0781
0,03	0,037	—	24,704	0,56	0,611	0,632	0,07
0,032	0,04	—	21,445	0,6	0,653	0,676	0,061
0,045	0,05	—	10,845	0,63	0,684	0,706	0,0553
0,05	0,056	0,068	8,785	0,67	0,726	0,749	0,0489
0,06	0,074	0,081	6,1	0,69	0,747	0,77	0,0461
0,063	0,078	0,085	5,533	0,71	0,767	0,79	0,0435
0,071	0,088	0,095	4,355	0,75	0,809	0,832	0,039
0,08	0,098	0,105	3,431	0,77	0,83	0,854	0,037
0,09	0,11	0,117	2,711	0,8	0,861	0,885	0,0343
0,1	0,121	0,129	2,196	0,83	0,892	0,916	0,0318
0,112	0,134	0,143	1,75	0,85	0,913	0,937	0,03
0,12	0,143	0,153	1,525	0,9	0,965	0,99	0,0271
0,125	0,149	0,159	1,425	0,93	0,996	1,02	0,0253
0,13	0,155	0,165	1,299	0,95	1,017	1,07	0,0243
0,14	0,166	0,176	1,120	1,0	1,068	1,093	0,0219
0,15	0,177	0,188	0,976	1,06	1,13	1,155	0,0195
0,16	0,187	0,199	0,858	1,08	1,151	1,176	0,0188
0,17	0,198	0,211	0,759	1,12	1,192	1,217	0,0175
0,18	0,209	0,222	0,677	1,18	1,254	1,279	0,0157
0,19	0,22	0,234	0,608	1,25	1,325	1,354	0,014
0,2	0,23	0,245	0,549	1,32	1,397	1,423	0,0126
0,21	0,243	0,258	0,497	1,4	1,479	1,506	0,0112
0,224	0,256	0,272	0,437	1,45	1,53	1,557	0,0104
0,236	0,269	0,285	0,394	1,5	1,581	1,608	0,00976
0,25	0,284	0,301	0,351	1,56	1,642	1,67	0,00902
0,265	0,3	0,319	0,312	1,6	1,683	1,711	0,00858
0,28	0,315	0,334	0,28	1,7	1,785	1,813	0,0076
0,3	0,337	0,355	0,244	1,8	1,888	1,916	0,00678
0,315	0,352	0,371	0,221	1,9	1,99	2,018	0,00608
0,335	0,374	0,393	0,195	2,0	2,092	2,12	0,00549
0,355	0,395	0,414	0,174	2,12	2,214	2,243	0,00488
0,38	0,421	0,441	0,152	2,24	2,336	2,365	0,00438
0,4	0,442	0,462	0,137	2,36	2,459	2,488	0,0043
0,425	0,469	0,489	0,122	2,44	2,54	2,57	0,00369
0,45	0,495	0,516	0,108	2,5	2,601	2,631	0,00351
0,475	0,521	0,543	0,097				

## Приложение Б

Таблица Б1 – Коэффициенты для оценки потерь в ферритовых сердечниках

Марка феррита	$P_0$ , Вт/кг	$\alpha$	$\beta$
2000HM	35,5	1,2	2,4
3000HM	52,0	1,2	2,8
2000HM1	68,0	1,2	2,8
1500HM3	23,2	1,2	2,2
2000HM3	44,6	1,3	2,7
2500HMC1	7,3	1,1	1,9
2500HMC2	11,5	1,2	1,7