

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



Институт электронного обучения  
 Направление подготовки (специальность) 230101 Вычислительные машины, комплексы,  
 системы и сети  
 Кафедра Вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) Н.Г.Марков  
 (Ф.И.О.)

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

В форме:

дипломного проекта
--------------------

Студенту:

Группа	ФИО
3-8302	Митроев Игорь Викторович

Тема работы:

Разработка высоковольтного источника питания для испытания изоляции на пробой
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10 июня 2016 г.
--	-----------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	1 диапазон изменения напряжения на выходе от 0 до 100кВ; 2 связь с персональной ЭВМ по интерфейсам RS232 и RS485; 3 индикатор для отображения выходного напряжения.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1 Аналитический обзор современной научно-технической, нормативной литературы по тематике работы; 2 Уточнение требований к высоковольтному источнику питания; 3 Определение основных компонентов высоковольтного источника питания; 4 Разработка структурной, функциональной, принципиальной схем высоковольтного источника питания, краткое описание основных узлов. 5 Выбор элементной базы высоковольтного источника питания; 6 Разработка программного обеспечения; 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;

	8 Социальная ответственность.
<b>Перечень графического материала</b>	Схема структурная, функциональная схема, принципиальная схема.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Структурная схема</b>	<b>Ким В.Л.</b>
<b>Программное обеспечение</b>	<b>Ким В.Л.</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	<b>Конотопский В.Ю.</b>
<b>Социальная ответственность</b>	<b>Извеков В.Н.</b>
<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	11 января 2016

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ким В.Л.	д.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8302	Митроев И.В.		

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



Институт кибернетики  
Специальность 230101 Вычислительные машины, комплексы, системы и сети  
Кафедра вычислительной техники

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА**

Тема работы
Разработка высоковольтного источника питания для испытания изоляции на пробой УДК 004.312

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8302	Митроев Игорь Викторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ким Валерий Львович	д.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Извеков Владимир Николаевич	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ВТ	Марков Николай Григорьевич	д.т.н.		

## Содержание

Список принятых сокращений.....	5
Введение .....	6
Техническое задание .....	8
1 Аналитический обзор .....	11
1.1 Высоковольтный аппарат для испытания изоляции ИМ-60 .....	11
1.2 Установка для испытания силовых кабелей АИД-70/50 .....	13
1.3 Аппараты высоковольтные АВ-70-2 и АВ-70-0,5 .....	14
1.4 Испытательная установка УВИ-50 .....	15
2 Разработка структурной схемы высоковольтного источника питания .....	17
3 Выбор и обоснование функциональных схем устройства.....	19
3.1 Выбор функциональной схемы силовой части устройства .....	19
3.1.1 Выбор схемы умножителя напряжения .....	19
3.1.2 Выбор схемы инвертора .....	23
3.1.3 Заключение .....	25
3.2 Разработка функциональной схемы системы управления .....	26
4 Расчёт и выбор основных элементов умножителя напряжения.....	28
4.1 Описание работы схемы умножения напряжения .....	28
4.2 Разработка методики выбора ёмкостей умножителя напряжения .....	31
4.3 Выбор элементов схемы умножителя напряжения .....	34
5 Расчёт и выбор основных элементов силовой части.....	39
5.1 Расчёт силового выпрямителя .....	39
5.2 Расчёт инвертора .....	41
6 Разработка системы управления.....	47
7 Разработка и расчёт схемы источника вторичного электропитания .....	51
8 Разработка программного обеспечения .....	67
8.1 Алгоритм работы высоковольтного источника питания .....	67
9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	71
9.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	71
9.2 Анализ конкурентных технических решений .....	72

9.3	Технология QuaD .....	73
9.4	Определение возможных альтернатив проведения исследований .....	75
9.5	Организация и планирование работ .....	76
9.5.1	Структура работ в рамках проекта .....	76
9.5.2	Продолжительность этапов работ .....	77
9.6	Расчёт сметы затрат на выполнение проекта .....	84
9.6.1	Расчет затрат на материалы .....	84
9.6.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	85
9.6.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	85
9.6.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	86
9.6.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	87
9.6.6	Расчет затрат на научные и производственные командировки .....	88
9.6.7	Контрагентные расходы .....	88
9.6.8	Накладные расходы .....	88
9.6.9	Расчёт себестоимости разработки .....	89
9.6.10	Расчёт прибыли .....	90
9.6.11	Расчёт НДС .....	91
9.6.12	Цена разработки проекта .....	91
9.7	Оценка экономической эффективности проекта .....	91
9.8	Оценка научно-технического уровня разработки.....	92
10	Социальная ответственность .....	96
	Введение.....	96
10.1	Производственная безопасность .....	97
10.2	Производственная санитария .....	98
10.2.1	Требования к микроклимату .....	98
10.2.2	Требования к уровню шума .....	101
10.2.3	Расчёт освещенности .....	103

10.2.4 Требования к защите от электромагнитного излучения .....	106
10.3 Техника безопасности.....	107
10.3.1 Общие требования безопасности .....	107
10.3.2 Требования безопасности перед началом работ .....	107
10.4 Требования к электробезопасности .....	108
10.5 Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности .....	111
10.6 Экологическая безопасность .....	113
10.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	114
10.8 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	118
Заключение .....	120
Список использованных источников .....	121

Приложение А Высоковольтный источник питания ИПВ. Схема электрическая принципиальная.

Приложение Б (справочные) Листинг программного обеспечения микроконтроллера.

### **Список принятых сокращений**

ИПВ – высоковольтный источник питания

ТЗ – техническое задание

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

УН – умножитель напряжения

АБ – аккумуляторная батарея

МК – микроконтроллер

ШИМ – широтно-импульсная модуляция

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь

## Введение

Высоковольтный источник питания (ИПВ) для проверки изоляции на пробой планируется использовать для высоковольтных испытаний изоляции электрических кабелей, твёрдых диэлектриков, защитных средств, изоляции электрических аппаратов. Испытание изоляции повышенным напряжением позволяет убедиться в наличии необходимого запаса прочности изоляции, отсутствии местных общих дефектов, не обнаруживаемых другими способами. Изоляция считается выдержавшей электрическое испытание повышенным напряжением в том случае, если не было пробоя, перекрытия по поверхности, поверхностных разрядов, увеличения тока утечки выше нормированного значения, наличия местных нагревов от диэлектрических потерь. В случае несоблюдения одного из этих факторов - изоляция электрического испытания не выдержала.

Испытание "на проход" высоким напряжением относится к электроискровым способам неразрушающего контроля и является основным способом контроля качества электрической полимерной изоляции.

Испытания кабелей происходят следующим образом: при движении кабеля по производственной линии жила кабеля заземляется, а к поверхности изоляции прикладывается высокое напряжение посредством специальных электродов. В момент прохождения дефектного места изоляции кабеля через электродный узел возникает пробой изоляции. Пробой фиксируется по возрастанию тока, протекающего через изоляцию от электродного узла на заземлённую токоведущую жилу кабеля. При этом «здоровая» изоляция не повреждается, а место с дефектной изоляцией помечается прогаром от электрического пробоя.

Испытания изоляции электрических аппаратов проводятся при помощи специальных приспособлений для проверки электрической прочности, в которых внешние контакты аппарата объединяются в группы по своей принадлежности. Высоковольтное испытательное напряжение прикладывается между группами контактов, а также между объединёнными группами

относительно корпуса аппарата. Во всех случаях измерения проводятся в прямой и обратной полярностях прикладываемого напряжения.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель проекта,  
д.т.н., профессор кафедры  
ВТ

\_\_\_\_\_ Ким В.Л.

«\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2016г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ  
на разработку

Высоковольтный источник питания для испытания изоляции на пробой

Исполнитель  
Студент группы 3-8302  
Митроев И.В.

TOMCK — 2016

## **1 НАИМЕНОВАНИЕ, ШИФР, ОСНОВАНИЕ, ИСПОЛНИТЕЛЬ И СРОКИ ВЫПОЛНЕНИЯ**

1.1 Наименование – разработка высоковольтного источника питания для испытания изоляции на пробой.

1.2 Шифр не устанавливается.

1.3 Основанием для выполнения разработки является задание, выданное руководителем преддипломной практики.

1.4 Исполнитель – работа выполняется на кафедре вычислительной техники Томского политехнического университета.

## **2 ЦЕЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ, НАИМЕНОВАНИЕ И ИНДЕКС ИЗДЕЛИЯ.**

2.1 Целью является разработка высоковольтного источника питания. Разрабатываемый ИПВ предназначен для испытаний прочности изоляции электрических кабелей, защитных средств, изоляции электрических аппаратов.

2.2 Наименование изделия – высоковольтный источник питания для испытания изоляции на пробой.

2.3 Индекс – ИПВ.

## **3 ТАКТИКО – ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИЗДЕЛИЮ**

### **3.1 Состав изделия**

ИПВ должен состоять из следующих элементов:

- программируемый микроконтроллер (МК);
- силовая часть;
- система управления;
- индикатор.

### **3.2 Технические требования**

- номинальное напряжение сети 220 В;
- отклонение напряжения сети +10% –15%;
- частота напряжения сети  $50 \pm 1$  Гц;
- диапазон изменения напряжения на выходе от 0 до 100 кВ;

- максимальная мощность нагрузки при максимальном выходном напряжении 100 Вт;
- максимальная величина пульсаций выходного напряжения не более 5%;
- точность стабилизации выходного напряжения не менее 5%;
- полярность относительно заземления отрицательная;
- прибор должен отображать на индикаторе значения текущих выходных напряжения и тока;
- прибор должен отображать на индикаторе значение выходного напряжения перед пробоем;
- прибор должен обеспечивать связь с персональной ЭВМ по интерфейсу RS232 и RS485.

### 3.3 Требования к конструкции

- прибор должен иметь возможность ручной транспортировки.

## **4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ.**

### 4.1 ИПВ должен отвечать следующим экономическим требованиям:

- наименьшие затраты при разработке;
- наименьшие затраты при эксплуатации;
- относительно недорогая цена.

## **5 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

5.1 ИПВ должно сохранять технические характеристики при нахождении в следующих условиях:

- температура окружающей среды от +10 до +30 °С;
- атмосферное давление 600 – 800 мм.рт.ст.

## 1 Аналитический обзор

Исследования предметной области проводятся с целью выявления актуальных научно-технических разработок и исключения необоснованного дублирования исследования. Исходные данные, полученные в результате исследования, обеспечивают конкурентоспособность и высокий технический уровень разрабатываемого устройства.

В исследования предметной области входит комплекс работ по целенаправленному поиску, отбору и систематизации информации различного типа, анализ которой позволяет определить наиболее перспективные направления в развитии изучаемой отрасли техники, дать обоснование потребности и технико-экономической целесообразности разрабатываемого устройства, принять оптимальное решение при выборе схемных реализаций.

Исследования предметной области позволяют значительно уменьшить время разработки, найти наиболее оптимальный вариант выполнения расчетов, удовлетворяющий заданным параметрам.

Далее приводятся данные о некоторых устройствах, сходных по параметрам и функциональному назначению с разрабатываемым ИПВ.

### 1.1 Высоковольтный аппарат для испытания изоляции ИМ-60



Рисунок 1.1 – Внешний вид высоковольтного аппарата для испытания изоляции ИМ-60

Предназначен для высоковольтных испытаний и измерения токов утечки изоляции электрических кабелей напряжением до 10 кВ, твердых диэлектриков,

защитных средств, изоляции электрических аппаратов выпрямленным высоким напряжением отрицательной полярности. Выполнен на основе преобразования низковольтного постоянного в выпрямленное высоковольтное напряжение с промежуточным звеном повышенной частоты.

**Технические характеристики:**

- Переменное напряжение питания от сети 50 Гц 220 В±15%;
- Напряжение питания постоянное от аккумуляторной батареи (АБ) 12 В±10%;
- Ток потребления от сети не более 0,25 А;
- Ток потребления от АБ не более 5 А;
- Максимальное выходное выпрямленное напряжение 60 кВ;
- Полярность относительно заземления отрицательная;
- Максимальный ток нагрузки при напряжении 60 кВ не менее 0,5 мА;
- Максимальный ток нагрузки при напряжении 30 кВ не менее 1,0 мА;
- Ток короткого замыкания 3,0 мА;
- Максимальное расстояние от высоковольтного вывода аппарата до заземленного корпуса не менее 330 мм;
- Габаритные размеры 360х310х125 мм;
- Масса аппарата не более 8,7 кг;
- Время подготовки аппарата к проведению работ по испытанию изоляции с учетом соблюдения правил техники безопасности не более 5 мин;
- Цена 67500 руб.

В аппарате предусмотрены:

- Плавное регулирование выходного напряжения от 0 до 60 кВ;
- Возможность питания от сети ~220 В и от АБ автомобиля 12 В;
- Работоспособность аппарата в режиме холостого хода и короткого замыкания;
- Минимальные масса-габаритные показатели;

– Наличие стрелочных индикаторов тока утечки изоляции и контроля высоковольтное напряжения.

## 1.2 Установка для испытания силовых кабелей АИД-70/50



Рисунок 1.2 – Внешний вид установки для испытания силовых кабелей АИД-70/50

Аппарат АИД-70 предназначен для испытания изоляции силовых кабелей выпрямленным электрическим напряжением, а также для испытания твердых диэлектриков синусоидальным напряжением частотой 50 Гц.

### **Технические характеристики:**

- Переменное напряжение питания от сети 50 Гц 220 В±15%;
- Максимальное выходное выпрямленное напряжение 70 кВ;
- Максимальное выходное переменное напряжение 50 кВ;
- Максимальный ток нагрузки при выпрямленном напряжении 70 кВ 12 мА;
- Максимальный ток нагрузки при переменном напряжении 50 кВ 20 мА;
- Габаритные размеры пульта управления при массе не более 13,5 кг 400х212х358 мм;
- Габаритные размеры пульта управления при массе не более 35 кг 338х298х655 мм;
- Цена 135000 руб.

При необходимости используя один пульт и два источника, между высоковольтными выводами источников можно получить на выпрямленном напряжении 140 кВ, а на переменном – 100 кВ.

### 1.3 Аппараты высоковольтные АВ-70-2 и АВ-70-0,5



Рисунок 1.3 – Внешний вид аппаратов высоковольтных АВ-70-2 и АВ-70-0,5

Аппарат высоковольтный АВ-70 состоит из блока управления и высоковольтного блока и предназначен для испытания высоковольтной изоляции путем подачи на объекты испытания переменного высокого напряжения промышленной частоты или выпрямленного высокого напряжения с контролем тока утечки. Измерение выходного напряжения производится по высокой стороне с помощью цифрового измерителя. Измерение выходного тока осуществляется только на выпрямленном напряжении на трех пределах измерения.

#### **Технические характеристики АВ-70-2:**

- Переменное напряжение питания от сети 50 Гц 220 В±10%;
- Максимальное выходное выпрямленное напряжение 70 кВ;
- Максимальное выходное переменное напряжение 50 кВ;
- Максимальный ток нагрузки при выпрямленном напряжении 70 кВ 45 мА;
- Максимальный ток нагрузки при переменном напряжении 50 кВ 45 мА;
- Относительная погрешность не более 3%;
- Габаритные размеры блока управления 510x150x500 мм;
- Габаритные размеры высоковольтного блока 420x480x800 мм;
- Масса БУ 25 кг;
- Масса БВ 71 кг;
- Цена 363000 руб.

### Технические характеристики АВ-70-0,5:

- Переменное напряжение питания от сети 50 Гц 220 В±10%;
- Максимальное выходное выпрямленное напряжение 70 кВ;
- Максимальное выходное переменное напряжение 50 кВ;
- Максимальный ток нагрузки при выпрямленном напряжении 70 кВ 15 мА;
- Максимальный ток нагрузки при переменном напряжении 50 кВ 15 мА;
- Относительная погрешность не более 3%;
- Габаритные размеры блока управления 380x220x380 мм;
- Габаритные размеры высоковольтного блока 370x480x850 мм;
- Масса БУ 16 кг;
- Масса БВ 45 кг;
- Цена 300000 руб.

### 1.4 Испытательная установка УВИ-50

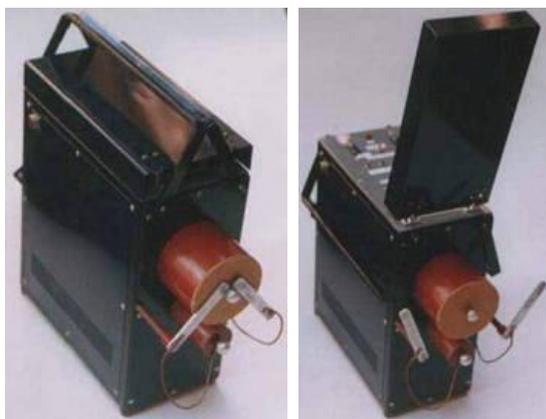


Рисунок 1.4 – Внешний вид испытательной установки УВИ-50

Установка предназначена для испытания изоляции электрооборудования постоянным напряжением отрицательной полярности. Уровень испытательного напряжения и величина тока утечки контролируются встроенными цифровыми приборами. Силовая часть установки представляет собой регулируемый инвертор с частотой преобразования около 20 кГц. Высоковольтный блок содержит повышающий трансформатор и выпрямитель с умножением

напряжения. Во время испытаний доступ оператора к высоковольтному выводу ограничен защитной крышкой установки.

### **Технические характеристики**

- Переменное напряжение питания от сети 50 Гц 220 В±15%;
- Напряжение питания постоянное от АБ 12В±10%;
- Максимальное выходное выпрямленное напряжение 50 кВ;
- Максимальный ток нагрузки при выпрямленном напряжении 50 кВ 5 мА;
- Габаритные размеры 550x208x440 мм;
- Масса 16 кг;
- Цена 149000 руб.

### **Заключение**

Представленные модели ИПВ не отвечают требованиям ТЗ по следующим критериям:

- не обеспечивают связи с персональной ЭВМ;
- дорогостоящие;
- не обеспечивают заданное напряжение на выходе (кроме АИД-70/50, но необходимо использование второго источника питания);
- не имеют возможности ручной транспортировки (кроме ИМ-60).

## 2 Разработка структурной схемы высоковольтного источника питания

В результате обзора научно-технической литературы и анализа существующих технических решений была сформирована структурная схема ИПВ, представленная на рисунке 2.1.

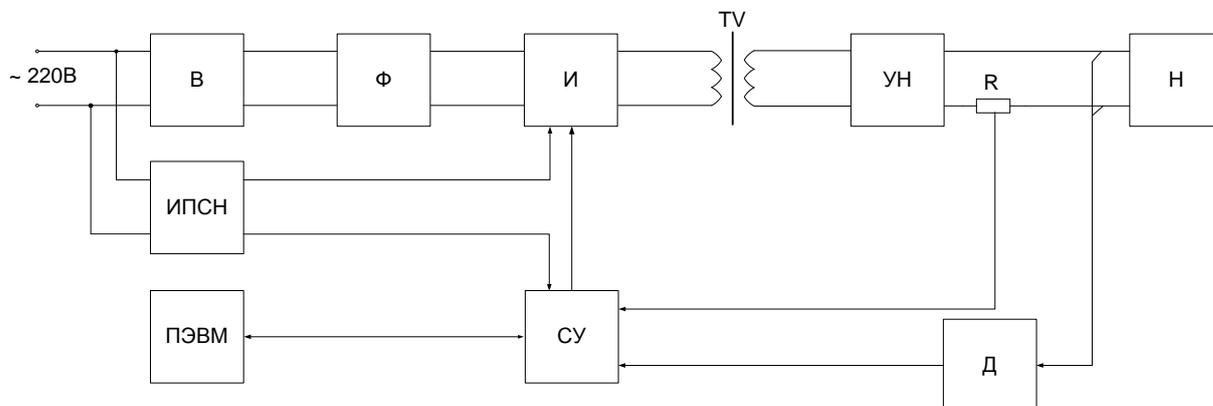


Рисунок 2.1 – Структурная схема ИПВ

ИПВ состоит из:

- Выпрямителя (В);
- Фильтра (Ф);
- Инвертора (И);
- Трансформатора (TV);
- Умножителя напряжения (УН);
- Нагрузки (Н);
- Источника питания собственных нужд (ИПСН);
- Системы управления (СУ);
- Делителя напряжения обратной связи (Д).

Силовая часть системы, состоящая из выпрямителя, фильтра, инвертора, высокочастотного трансформатора и УН, преобразует переменное напряжение на входе в выпрямленное высоковольтное напряжение.

Трансформатор используется как промежуточное звено и выполняет функцию предварительного повышения напряжения. Дальнейшее повышение уровня напряжения производит диодно-конденсаторный УН.

Блок высоковольтного умножителя позволяет уменьшить габариты высоковольтного трансформатора, который при использовании обычного

выпрямителя получается очень большим. Распределённая ёмкость значительно увеличивается с ростом напряжения высоковольтной обмотки, что значительно уменьшает возможность использования высокой частоты. Схемы умножения напряжения рекомендуется использовать при выходной мощности не выше 100 Вт [1,2]. При больших мощностях наиболее эффективно строить высоковольтные трансформаторно-выпрямительные модули по схемам с суммированием выходных напряжений, полученных на выходе гальванически развязанных выпрямительных узлов.

Так как схемы умножения напряжения обладают определёнными фильтрующими свойствами, то необходимость в выходном фильтре с целью снижения пульсаций отсутствует.

Входной выпрямитель с фильтром необходимы для преобразования входного напряжения сети электроснабжения переменного тока в напряжение постоянного тока, подаваемого на вход инвертора.

Инвертор осуществляет инвертирование напряжения при помощи ключевых силовых компонентов.

Система управления осуществляет посредством драйверов управление силовыми компонентами инвертора, обеспечивает контроль и индикацию выходного тока и напряжения, защиту от перегрузок, коротких замыканий, превышения и понижения выходного напряжения относительно заданных уровней, регулирование выходного напряжения, обеспечивает связь с персональной ЭВМ.

Источник питания собственных нужд обеспечивает электропитание узлов системы управления и инвертора.

### 3 Выбор и обоснование функциональных схем устройства

#### 3.1 Выбор функциональной схемы силовой части устройства

##### 3.1.1 Выбор схемы умножителя напряжения

Все УН состоят из включенных определенным образом конденсаторов и диодов, представляет собой преобразователь напряжения переменного тока низковольтного источника в высокое напряжение постоянного тока.

Различают однополупериодные и двухполупериодные УН. Однополупериодные умножители, вырабатывают напряжение только во время одной половины периода входного переменного тока, в то время как двухполупериодные во время всего периода переменного тока.

Так же различают последовательные и параллельные УН. В последовательных умножителях выходное напряжение складывается из напряжений на последовательно включенных конденсаторах, в параллельных на параллельно включенных конденсаторах.

Приведём основные варианты построения однофазных схем УН. На рисунках 3.1 – 3.2 приведены схемы однополупериодных умножителей.

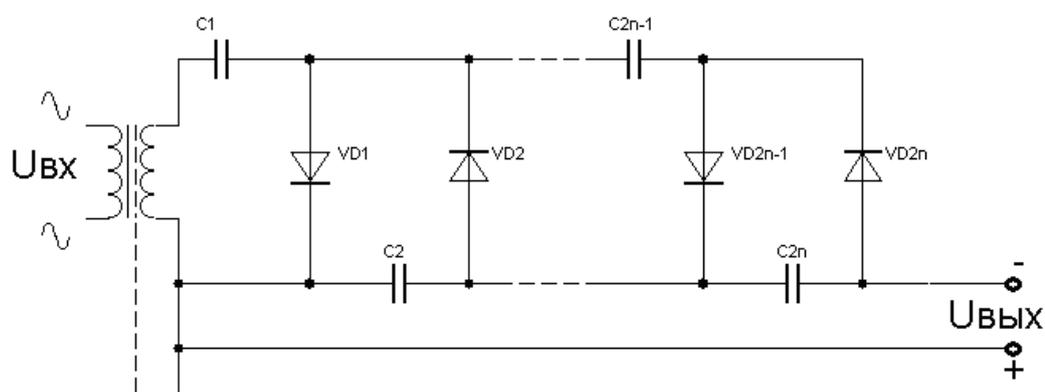


Рисунок 3.1 – Схема однофазная однополупериодная

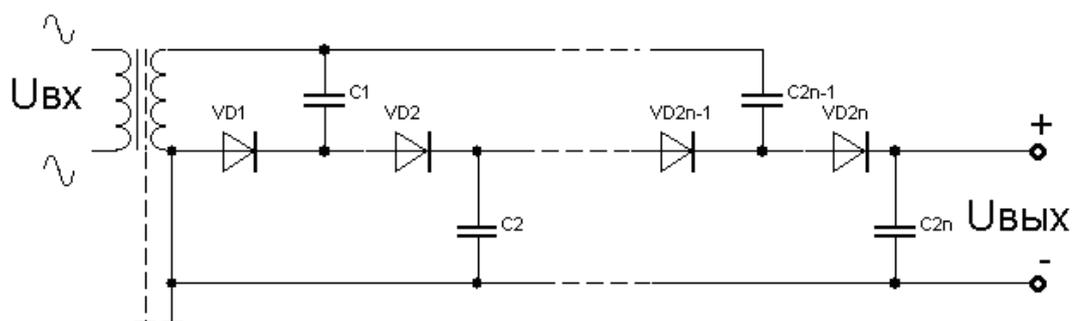


Рисунок 3.2 – Схема однофазная однополупериодная с зависимостью напряжения на конденсаторе от его порядкового номера

Умножитель изображенный на рисунке 3.1 является последовательным. Последовательные умножители применяются наиболее часто. Они более универсальны, напряжение на диодах и конденсаторах распределены равномерно, можно реализовать большое число ступеней умножения.

Параллельные УН (рисунок 3.2) имеют такой недостаток, как увеличение напряжения на конденсаторах с увеличением числа ступеней умножения, что ограничивает их применение до выходного напряжения примерно 20 кВ [2].

На рисунках 3.3 – 3.6 изображены схемы двухполупериодных умножителей.

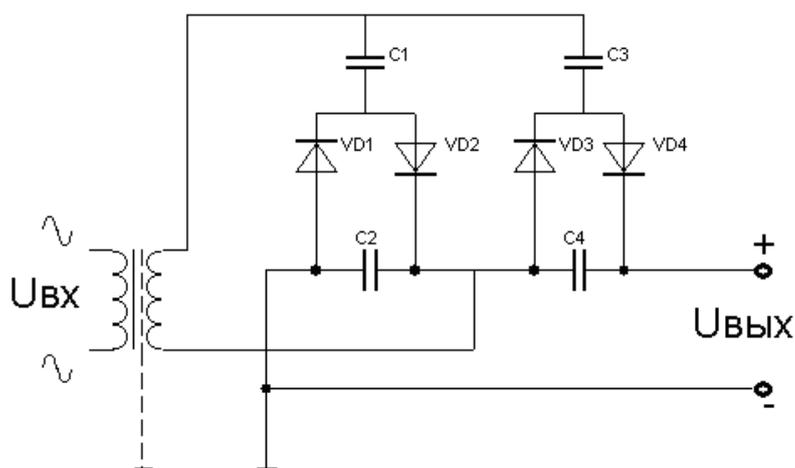


Рисунок 3.3 – Схема однофазная двухполупериодная

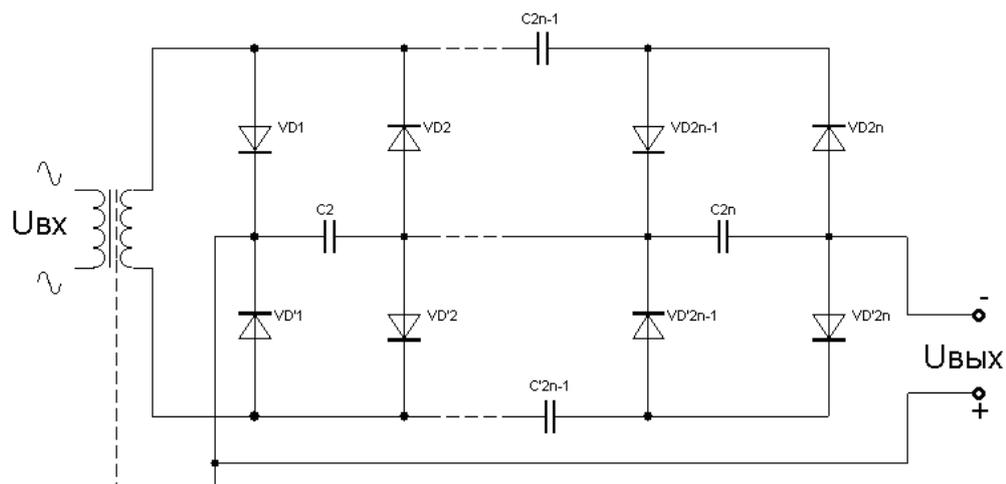


Рисунок 3.4 – Схема однофазная двухполупериодная мостовая

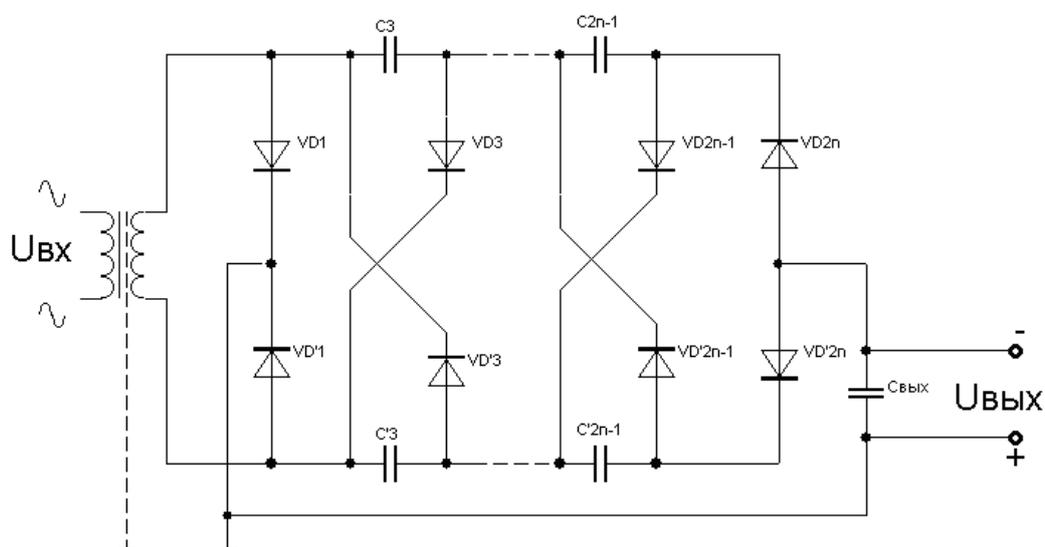


Рисунок 3.5 – Схема однофазная двухполупериодная циклическая

Также к двухполупериодным относятся схемы, полученные при параллельном соединении двух схем по рисунку 3.1 или рисунку 3.2. Примеры таких схем представлены на рисунках 3.6 – 3.7.

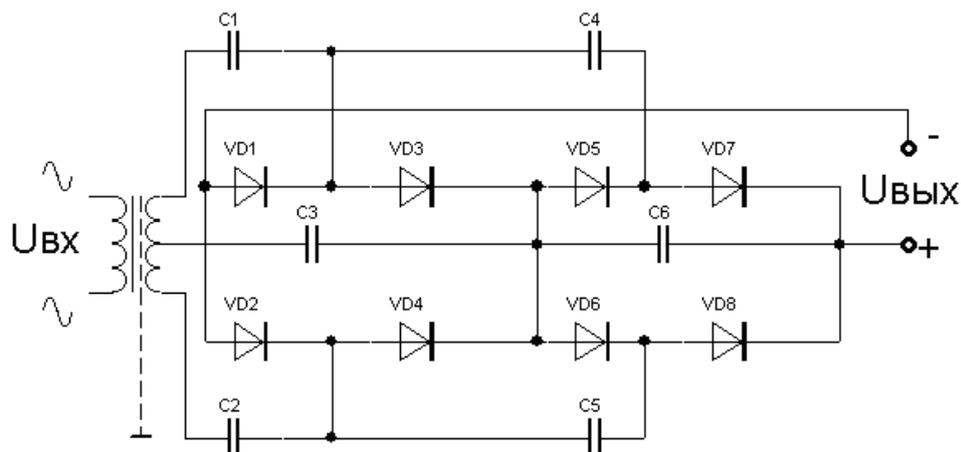


Рисунок 3.6 – Симметричная схема умножения напряжения при параллельном соединении схем по рисунку 3.1

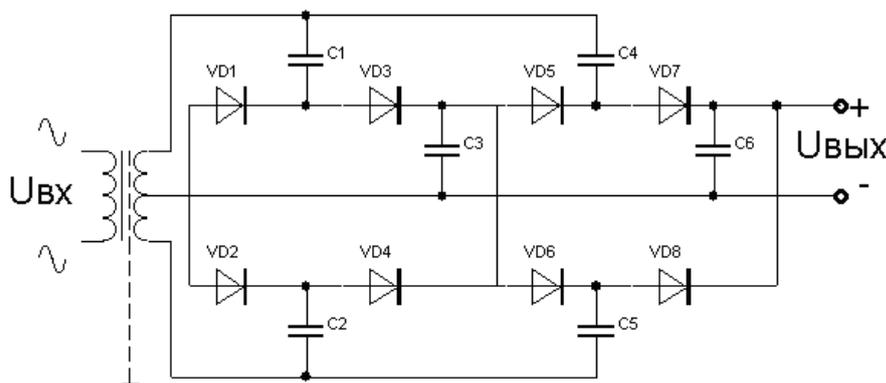


Рисунок 3.7 – Симметричная схема умножения напряжения при параллельном соединении схем по рисунку 3.2

Недостаток однотактных схем заключается в том, что они работают на меньшую мощность по сравнению с двухполупериодными.

В состав схем умножителей представленных на рисунке 3.6 входит трансформатор со средней точкой обмотки. Такие трансформаторы имеют большую вторичную обмотку, что отрицательно сказывается на их параметрах.

Из всех представленных схем подходящими являются последовательная однофазная однополупериодная схема (рисунок 3.1) и двухполупериодная мостовая схема умножителя (рисунок 3.4). Напряжения на конденсаторах и диодах данных схем распределены равномерно. Число конденсаторов для первой равно  $2n$ , для второй  $3n-2$ , где  $n$ -количество каскадов умножения. Число

диодов  $2n$  и  $4n$  соответственно. Выше было сказано, что одноктактные схемы работают на меньшую мощность по сравнению с двухтактными, поэтому остановим свой выбор на двухполупериодной мостовой схеме умножения напряжения, представленной на рисунке 3.4.

### 3.1.2 Выбор схемы инвертора

Высоковольтный умножитель напряжения представляет собой ёмкостную нагрузку, это накладывает ограничения на использование в качестве преобразователя инверторов напряжения, так как инверторы напряжения не работают на ёмкостную нагрузку.

Однако возможно использование схемы инвертора напряжения, представленной на рисунке 3.8, отличающейся наличием дросселя в цепи переменного тока, что ограничивает значение выходного тока.

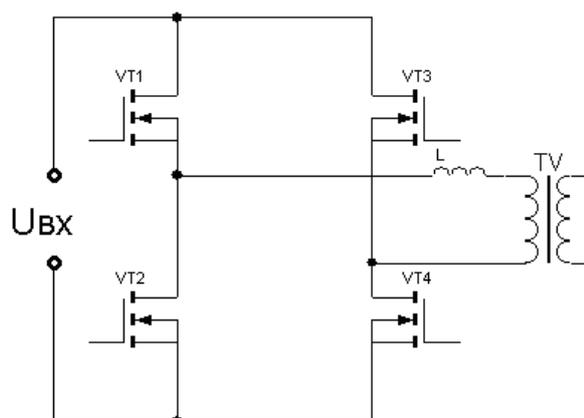


Рисунок 3.8 – Схема инвертора напряжения с дросселем в цепи переменного тока

Одним из возможных типов преобразователей работающих на ёмкостную нагрузку является инвертор тока. На рисунке 3.9 представлена схема мостового инвертора тока. В данной схеме выход какого-либо преобразователя постоянного напряжения подключен к мосту через достаточно большую индуктивность.

К недостатку данной схемы можно отнести то, что при обрыве цепи нагрузки напряжение на ключах неограниченно повышается, вплоть до полного выхода схемы из строя.

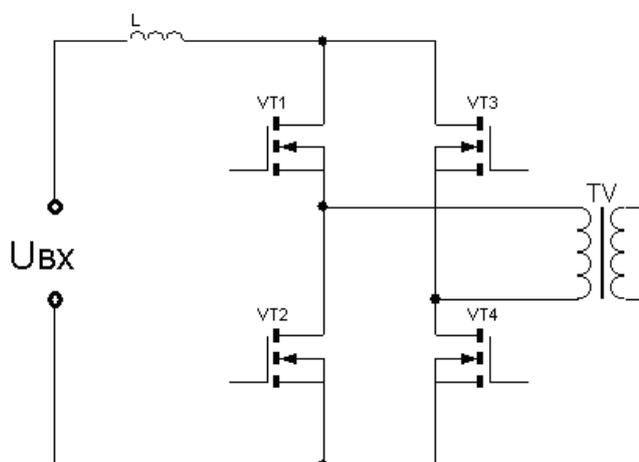


Рисунок 3.9 – Схема мостового инвертора тока

Другим классом схем, подходящих нам, являются резонансные преобразователи. Схема мостового последовательного резонансного преобразователя представлена на рисунке 3.10. Работа схемы основана на использовании резонансного LC-фильтра, включенного последовательно с нагрузкой. Управление резонансными преобразователями требует наличия в контуре управления звена «напряжение–частота».

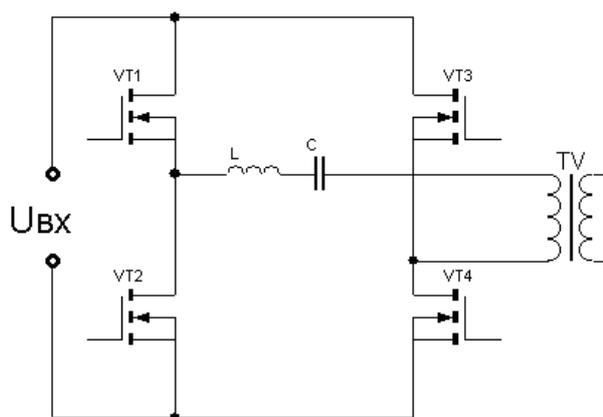


Рисунок 3.10 – Схема мостового последовательного резонансного преобразователя

Преобразователь, использующий параллельный резонансный контур (рисунок 3.11) и работающий от источника тока является двойственным (дуальным) по отношению к последовательному. Речь не идет здесь о реальном источнике тока, а только о том, что на частоте коммутации входная цепь преобразователя имеет большое сопротивление.

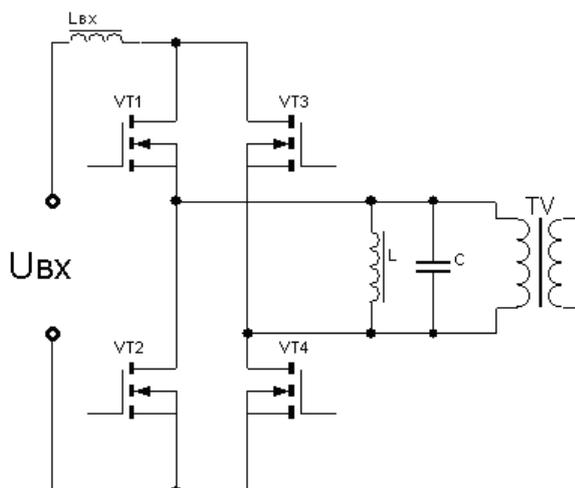


Рисунок 3.11 – Схема параллельного мостового резонансного преобразователя

В ходе проведения анализа предложенных схем и моделированию их работы, выбор был остановлен на схеме инвертора напряжения с дросселем в цепи переменного тока (рисунок 3.8).

### 3.1.3 Заключение

Объединив выбранные схемы инвертора и умножителя напряжения, получим функциональную схему силовой части устройства, представленную на рисунке 3.12.

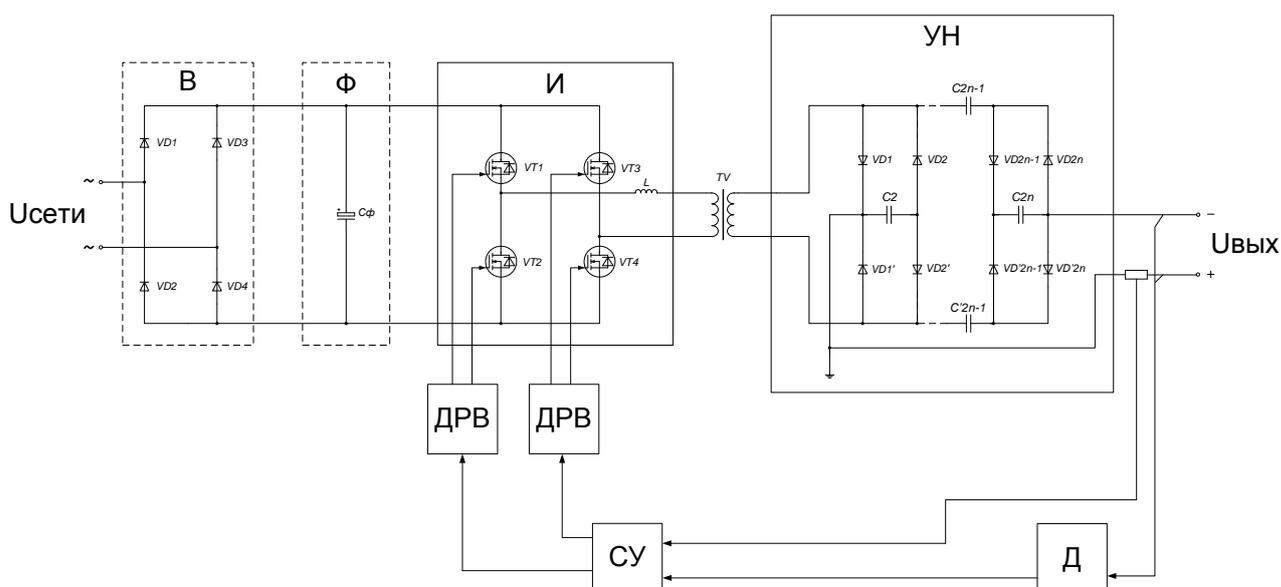


Рисунок 3.12 – Функциональная схема силовой части устройства

В – выпрямитель

Ф – фильтр

И – инвертор

УН – умножитель напряжения

ДРВ – драйвер

СУ – система управления

Д – делитель напряжения обратной связи

### 3.2 Разработка функциональной схемы системы управления

Перечислим основные действия, выполняемые системой управления:

- подача сигналов управления на драйвера силовых компонентов инвертора;
- обеспечение контроля и индикации выходного тока и напряжения;
- защита от перегрузок, коротких замыканий, превышения и понижения выходного напряжения относительно заданных уровней;
- регулирование выходного напряжения;
- обеспечение связи с персональной ЭВМ.

Функциональная схема системы управления представлена на рисунке 3.13.

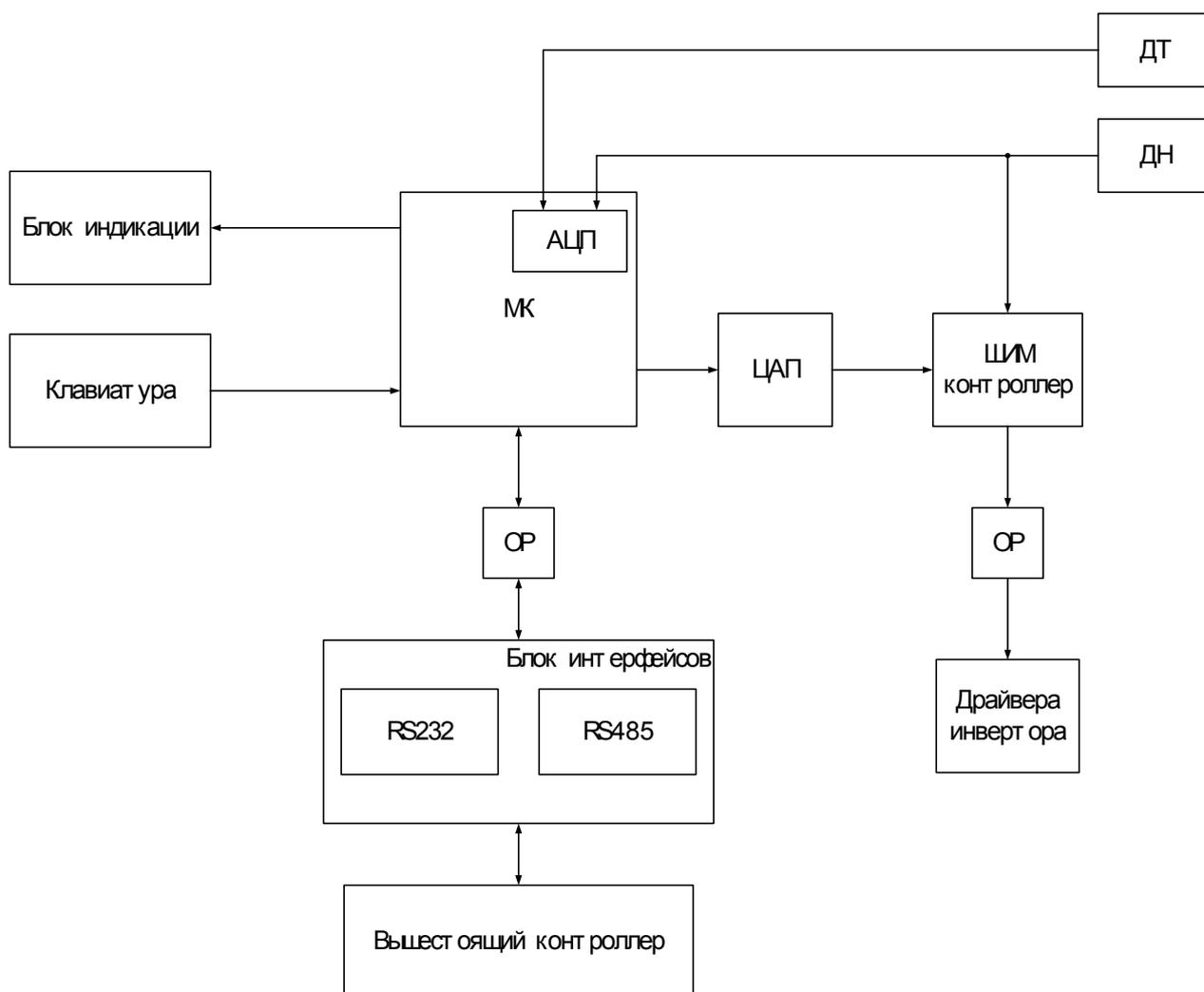


Рисунок 3.13 – Функциональная схема системы управления

ДТ – датчик тока

ДН – датчик напряжения

МК – микроконтроллер

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь

ОР – опто-развязка

В данной схеме МК осуществляет контроль и индикацию выходного тока и напряжения, задаёт уровни выходного напряжения и тока пробоя, обеспечивает связь с вышестоящим контроллером.

ШИМ контроллер управляет драйверами силовых компонентов инвертора, для формирования и стабилизации заданного напряжения.



## 4 Расчёт и выбор основных элементов умножителя напряжения

### 4.1 Описание работы схемы умножения напряжения

Принцип действия схемы умножителя рассмотрим на примере последовательной однофазной однополупериодной схемы (рисунок 4.1).

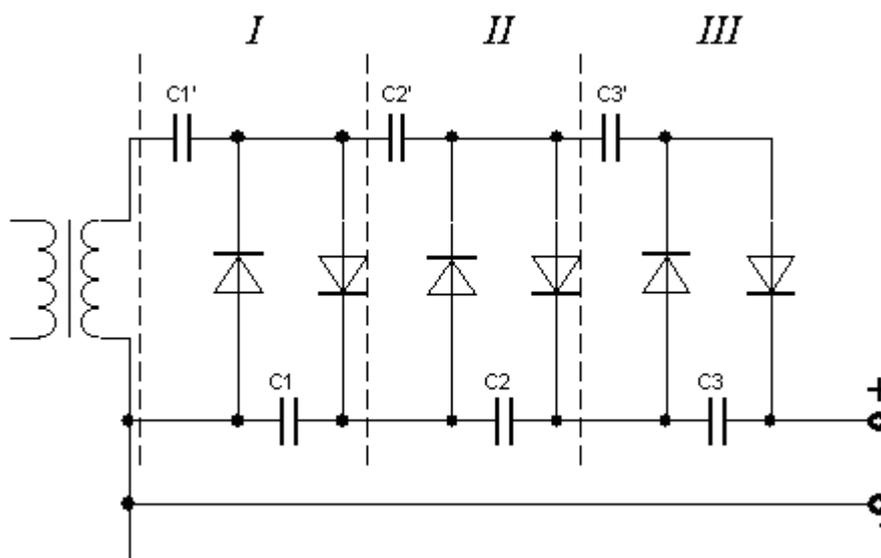


Рисунок 4.1 – Схема умножителя напряжения

В схеме имеется разрядная ( $C1-C3$ ) и подзарядная ( $C1'-C3'$ ) колонны конденсаторов и вентили. Поочередно в различные полупериоды питающего напряжения эти колонны подзаряжают друг друга (рисунок 4.2, 4.3).

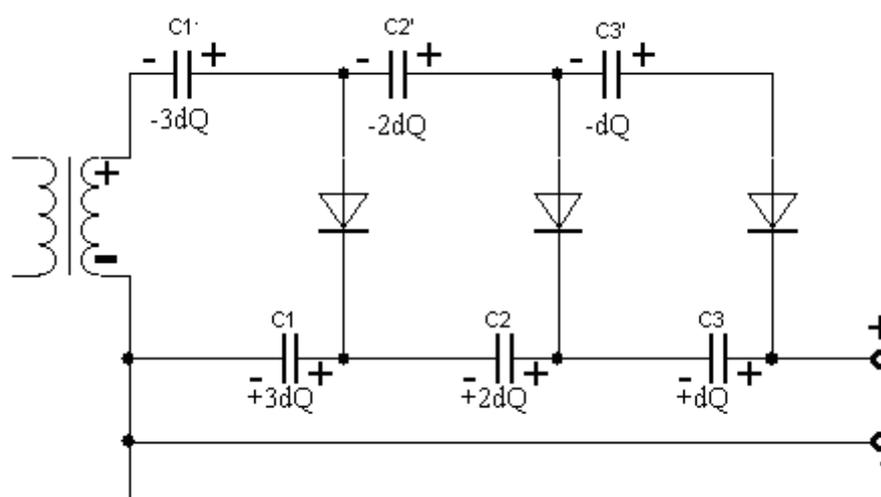


Рисунок 4.2 – Принцип её действия схемы умножения напряжения

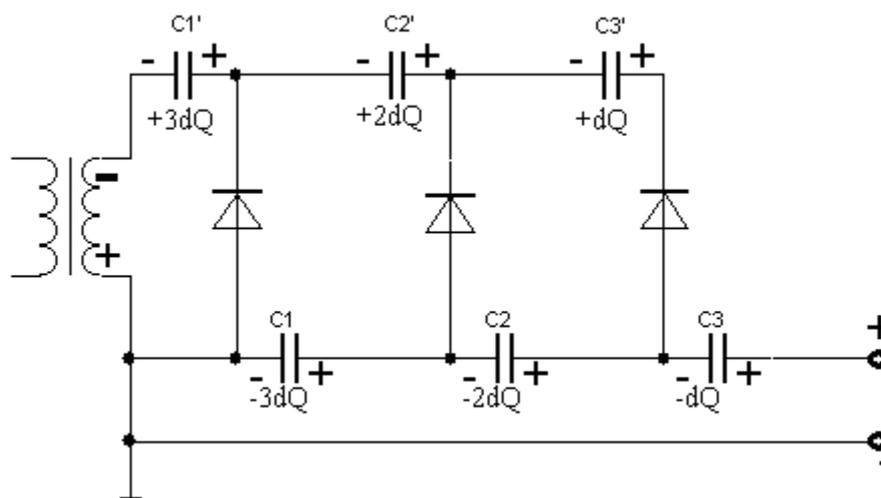


Рисунок 4.3 –Принцип её действия схемы умножения напряжения

Ток нагрузки  $i_n$  понижает величину заряда на каждом из конденсаторов разной колонны за время, равное периоду питающего напряжения  $T$ , на величину  $\Delta Q$ , равную произведению  $i_n$  на  $T$ . Конденсатор  $C3$ , не участвующий в подзаряде конденсаторов  $C1'–C3'$  (рисунок 4.3), теряет за время  $T$  заряд  $\Delta Q$ . В тот момент, когда напряжение на вторичной обмотке трансформатора достигает амплитудного значения с полярностью, изображенной на рисунке 4.2, в установившемся режиме конденсатор  $C3$  восстанавливает потерянный заряд  $\Delta Q$ . Конденсатор  $C3'$  при этом теряет ровно столько же. В следующий полупериод (рисунок 4.3) конденсатор  $C3'$  подзарядается на величину  $\Delta Q$ , а конденсатор  $C2$  теряет при этом  $\Delta Q$ . Кроме того, конденсатор  $C2$  теряет ещё такой же заряд от протекания тока нагрузки. Всего, таким образом, за время  $T$  конденсатор  $C2$  теряет заряд  $2\Delta Q$ . Подзарядая его в следующий полупериод, конденсатор  $C2'$  теряет заряд  $2\Delta Q$ , поскольку через них течет в это время общий ток. Рассуждая таким образом и дальше, находим, что потеря заряда конденсаторами в такой схеме равна:

$$\Delta Q_k = \Delta Q_n(n - k + 1) \quad (4.1)$$

где  $\Delta Q_k$  – потеря заряда  $k$ -м конденсатором;

$\Delta Q_n$  – заряд, стекающий в нагрузку за время  $T$ ;

$n$  – число конденсаторов в схеме;

$k$  – номер конденсатора в схеме.

Напряжение на всех конденсаторах (кроме  $C_1'$ ) равны  $2U_a$ , где  $U_a$  – амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора. Выходное напряжение схемы при холостом ходе равно  $2nU_a$ . Во время потери и приобретения заряда  $k$ -м конденсатором напряжение на нём меняется на  $\Delta u_k$ , равное частному от деления  $\Delta Q_k$  на  $C_k$ . Если все конденсаторы в схеме имеют равную ёмкость, то

$$\Delta u_k = \Delta Q_n \frac{n - k + 1}{C} \quad (4.2)$$

то есть пульсации напряжения на конденсаторах увеличивается с приближением к началу схемы. Пульсация выходного напряжения равна сумме пульсаций на конденсаторах разрядной колонны:

$$u_n = \sum_1^n \frac{\Delta Q_n}{C} (n - k + 1) = \frac{\Delta Q_n}{C} \frac{n^2 + n}{2} \quad (4.3)$$

В формуле 4.3 множитель обозначим как  $\Gamma$ . Введенный коэффициент зависит от вида схемы и числа каскадов [3]. Величина пульсаций (двойная амплитуда переменного напряжения) для схем умножения напряжения выражается формулой 4.4 [3].

$$u_n = \Gamma \frac{i_n}{f_{вх} C} \quad (4.4)$$

где  $f_{вх}$  – частота входного тока. В таблице 4.1 приведены коэффициенты для последовательной однофазной однополупериодной и однофазной двухполупериодной мостовой схем умножения взятые из [2,3].

Более сложную зависимость от  $n$  имеет выражение для падения напряжения в схеме. Уменьшение напряжения на конденсаторах разрядной колонны при увеличении тока нагрузки определяется не только их разрядом. Конденсатор  $C_1'$  заряжается до  $U_a$  при любом  $i_n$ . Конденсатор  $C_1$  при отсутствии  $i_n$  заряжается до  $2U_a$ , при наличии тока нагрузки у него появляются пульсации  $\Delta u_1$  и, кроме того, он заряжается на величину  $\Delta u_1'$  меньше, так как, заряжая его, конденсатор  $C_1'$  теряет такую величину напряжения. Конденсатор

$C_2'$ , в свою очередь, зарядится на величину  $\Delta u_1' + \Delta u_1$  меньше, чем при холостом ходе, и так далее. Таким образом, даже при отсутствии внутреннего сопротивления трансформатора и вентилей схема умножения напряжения обладает сопротивлением, которое линейно уменьшается при повышении частоты питающего напряжения или при увеличении ёмкости конденсаторов.

В [3] дана формула:

$$B = C f_{\text{вх}} R_{\text{вых}} \quad (4.5)$$

где  $R_{\text{вых}}$  – выходное сопротивление схемы, обусловленное разрядом конденсаторов;

$B$  – коэффициент, характеризующий нагрузочную способность, зависящий от вида схемы и числа каскадов.

В таблице 4.1 приведены коэффициенты  $B$  для двух схем умножения напряжения, взятые из [2,3].

Таблица 4.1 – Значения параметров схем умножения напряжения

Параметр	Схема	
	Однополупериодная	Двухполупериодная
$k_{\text{ум}} = \frac{U_{\text{выххх}}}{U_a}$	$2n$	$n$
Число диодов	$2n$	$4n$
Число конденсаторов	$2n$	$3n-2$
$B = C f_{\text{вх}} R_{\text{вых}}$	$\frac{8n^3 + 9n^2 + n}{12}$	$\frac{2n^3 - 3n^2 + 4n}{12}$
$u_n = \Gamma \frac{i_n}{f_{\text{вх}} C}$	$\frac{n^2 + n}{2}$	$\frac{n}{2}$

## 4.2 Разработка методики выбора ёмкостей умножителя напряжения

Даже при отсутствии внутреннего сопротивления трансформатора и вентилей схема умножения напряжения обладает сопротивлением, которое линейно уменьшается при повышении частоты питающего напряжения или при увеличении ёмкости конденсаторов [3]. Это выходное сопротивление схемы, обусловленное разрядом конденсаторов, обозначим как  $R_{\text{вых}}$ .

Число каскадов необходимое для формирования выходного напряжения на холостом ходу для однофазной двухполупериодной мостовой схемы умножения напряжения находится по формуле [3]

$$n = \frac{U_{\text{вых-хх}}}{U_a} \quad (4.6)$$

где  $U_a$  – амплитудное значение напряжения на входе умножителя.

Из вышесказанного следует, что выходное напряжение умножителя напряжения с учётом потерь на разряд конденсаторов током нагрузки определяется по формуле

$$U_{\text{вых}} = nU_a - I_n R_{\text{вых}} \quad (4.7)$$

Таким образом, график нагрузочной характеристики для схем умножения напряжения должен иметь вид представленный на рисунке 4.4.

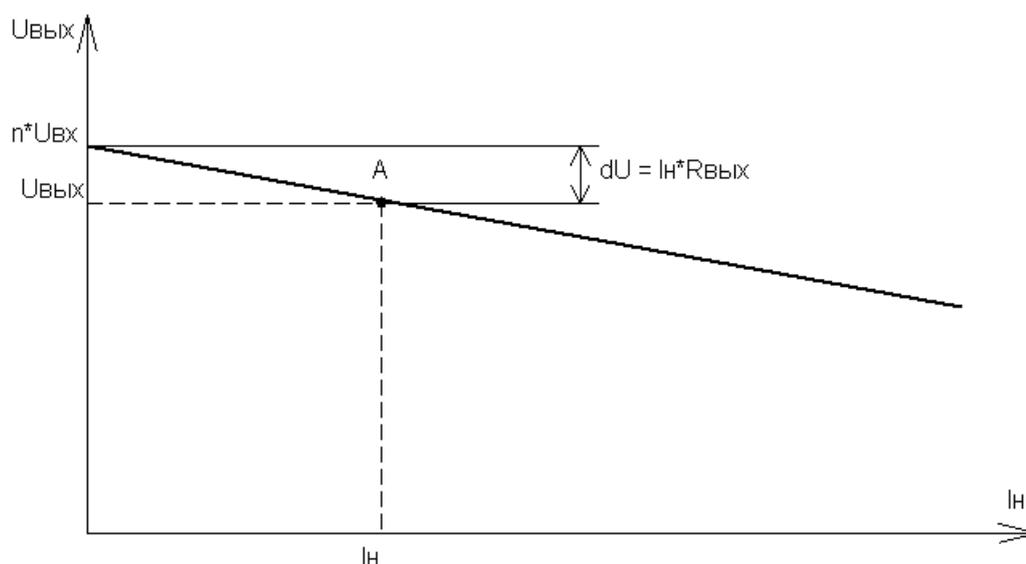


Рисунок 4.4 – Нагрузочная характеристика

Для обеспечения необходимой мощности нагрузки при максимальном напряжении на выходе необходимо чтобы нагрузочная характеристика умножителя напряжения проходила через рабочую точку.

Из выражения (4.7) получаем:

$$R_{\text{вых}} = \frac{nU_a - U_{\text{вых}}}{I_n} \quad (4.8)$$

Ёмкость конденсаторов, при которой схема будет обладать таким  $R_{\text{вых}}$ , выражается из формулы (4.5). Зная частоту  $f_{\text{вх}}$  получаем:

$$C = \frac{B}{f_{\text{вх}} R_{\text{вых}}} \quad (4.9)$$

Величину пульсаций выходного напряжения при выбранном значении ёмкости можно определить по формуле (4.4).

На рисунке 4.5 представлены нагрузочные характеристики однофазной двухполупериодной мостовой схемы умножения напряжения, рассчитанные по приведённой выше методике для различных значений  $R_{\text{вых}}$  при  $U_a$  равной 8000 В.

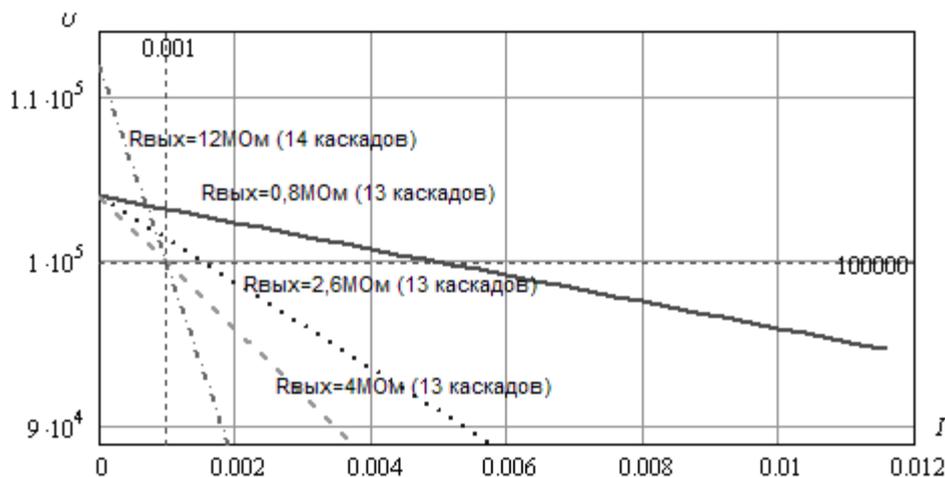


Рисунок 4.5 – Расчётные нагрузочные характеристики умножителя напряжения ( $U_a = 8000$  В)

Воспользовавшись формулами (4.5) и (4.7) можно построить график зависимости значения количества каскадов от ёмкости конденсаторов. На рисунке 4.6 представлен такой график для  $U_a$  равной 8000 В.

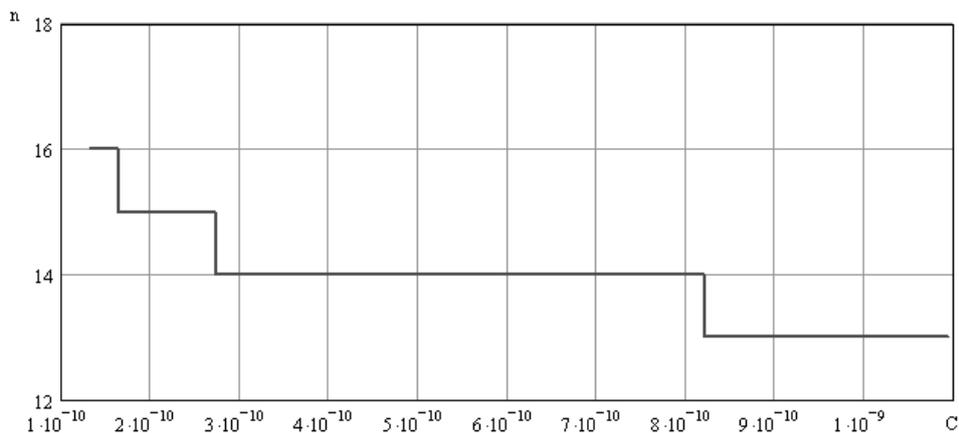


Рисунок 4.6 – Зависимость количества каскадов от ёмкости конденсаторов

Из графика на рисунке 4.6 следует, что при уменьшении значений используемых ёмкостей (при увеличении выходного сопротивления схемы обусловленного разрядом конденсаторов  $R_{\text{вых}}$ ) для получения необходимых значений выходных напряжения и тока надо увеличивать количество каскадов. Другими словами, если с помощью существующих ёмкостей мы не можем обеспечить необходимое  $R_{\text{вых}}$ , то нужно увеличивать количество каскадов.

### 4.3 Выбор элементов схемы умножителя напряжения

Главными критериями выбора элементов схемы умножителя напряжения, а именно диодов и конденсаторов, стало следующее. Для уменьшения количества каскадов умножителя, а следовательно и количества диодов и конденсаторов (для двухполупериодной мостовой схемы  $4n$  и  $3n-1$  соответственно), необходимо повышать значение пикового входного напряжения, то есть значение напряжения на каскадах умножителя. Но имеется ограниченный набор диодов и конденсаторов, способных при таком напряжении работать на частотах порядка 20 – 100 кГц. К тому же, не все из существующих подходящих элементов возможно найти в продаже. В таблицах 4.2 – 4.3 представлены подходящие по параметрам высоковольтные диоды и конденсаторы.

Таблица 4.2 – Высоковольтные конденсаторы

Высоковольтные керамические						
Тип	Номинальное напряжение, В	Группа ТКЕ	Диапазон номинальных ёмкостей, пФ	Допуск, %	Габаритные размеры, мм	
К15-5	1600; 3000; 6300	Н20	68...6800	±20	8...34	4...5
		Н50	68...220	±10; ±20	10...14.5	7
		Н70	330...15 000	$\begin{matrix} +80 \\ -20 \end{matrix}$	8...38	4...7
ДЕНR33А- 472КА3В	6300		4700	±10	7.5	4

Таблица 4.3 – Высоковольтные диоды

Тип	Uобр, кВ	Iпр, мА	t вост, мкс.	Iобр, мкА	Uпр, В	Аналоги		
						Sanken	Philips	FUJI
2CL70	6	5	0.1	2	20	SHV-06	BY8406	ESJA54-06
2CL71	8	5	0.1	2	25	SHV-08	BY8408	ESJA54-08
2CL72	10	5	0.1	2	30	SHV-10	BY8410	ESJA52-10
2CL73	12	5	0.1	2	37.5	SHV-12	BY8412	ESJA52-12
2CL74	14	5	0.1	2	42.5	SHV-14	BY8414	ESJA52-14
2CL75	16	5	0.1	2	50	SHV-16	BY8416	ESJA53-16
2CL76	18	5	0.1	2	55	SHV-18	BY8418	ESJA53-18
2CL77	20	5	0.1	2	62.5	SHV-20	BY8420	ESJA53-20
BY8406	6	10	0.1	3	25			
BY8408	8	5	0.1	3	35			
BY8410	10	5	0.1	3	42			
BY8412	12	5	0.1	3	52			
BY8414	14	5	0.1	3	60			
BY8416	16	3	0.1	3	70			
BY8418	18	3	0.1	3	77			
BY8420	20	3	0.1	3	88			
BY8424	24	3	0.1	3	98			

После рассмотрения возможных вариантов, было принято решение использования керамических конденсаторов серии K15-5 номинальным напряжением 6300 В и ёмкостью 4700 пФ. Эти конденсаторы имеются в наличии в большом количестве и их легко найти в продаже.

Из перечисленных диодов, в продаже по приемлемой цене оказались диоды 2CL73 на 12кВ.

Исходя из параметров выбранных конденсаторов, параметров схемы умножителя напряжения рассчитаны для значения пикового входного напряжения равного 5500 В. Это напряжение и будет максимальным обратным напряжением, прикладываемым к диодам.

По формуле 4.6 число каскадов, необходимое для формирования выходного напряжения на холостом ходу, составляет

$$n = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{100000}{5500} = 19 \quad (4.10)$$

Для измерения параметров необходимо использовать датчик тока (шунт) и датчик напряжения (делитель). Оцифровка параметров будет проводиться с помощью АЦП, встроенного в МК. Благодаря этому задача разработки датчиков сводится к тому чтобы преобразовать измеряемый параметр в напряжение того диапазона, который может измерять АЦП

Выберем резисторы делителя напряжения. Для того чтобы делитель напряжения не вносил значительные искажения в работу умножителя напряжения, необходимо чтобы ток, проходящий через него, был незначителен по сравнению с током нагрузки. То есть сопротивление умножителя напряжения было значительно больше расчетного сопротивления нагрузки.

Из известных значений максимального выходного напряжения и максимальной мощности нагрузки найдем сопротивление нагрузки:

$$R_n = \frac{U_{вых}^2}{P} = \frac{100000^2}{100} = 100 \text{ МОм} \quad (4.11)$$

Зададимся что напряжение делителя не менее чем в 10 раз больше сопротивления нагрузки, то есть в делитель уходит 10% тока. Тогда общее сопротивление делителя

$$R_{\Sigma дел} = 10R_n = 10 \cdot 100 \cdot 10^6 = 1 \cdot 10^9 \text{ Ом} \quad (4.12)$$

Параметры высоковольтных резисторов представлены в таблице 4.4.

Выберем резисторы типа СЗ–14 сопротивлением 56 МОм и один резистор RC0805 сопротивлением 51 кОм падение напряжения с которого будет подаваться на вход АЦП МК. Так как номинальное напряжение резисторов СЗ–

14 10 кВ то нам понадобится 18 резисторов. Общее сопротивление делителя в этом случае составляет:

$$R_{\Sigma\text{дел}} = 18 \cdot 56 \cdot 10^6 + 1 \cdot 51 \cdot 10^3 = 1.008051 \cdot 10^9 \text{ Ом} \quad (4.13)$$

$$I_{\text{дел}} = 100000\text{В} \div 1.008051 \cdot 10^9 = 0,000099\text{А} \quad (4.14)$$

$$R_{\text{рез}} = 5\text{В} \div 0,000099 = 51\text{кОм} \quad (4.15)$$

Таблица 4.4 – Высоковольтные резисторы

Высоковольтные лакоплёночные композиционные					
Тип	Номинальное напряжение, кВ	Диапазон номинальных сопротивлений, Ом	Номинальная мощность, Вт	Габаритные размеры, мм	
				L	Ø
СЗ–9	4	$47 \cdot 10^6 - 100 \cdot 10^6$	1	30	
СЗ–12	17	$1 \cdot 10^9 - 18 \cdot 10^9$		36	7
СЗ–14	10	$470 \cdot 10^3 - 5.6 \cdot 10^9$	1	29	6.2
СЗ–5 вариант “а”	5;10;15	$1 \cdot 10^9 - 5.6 \cdot 10^9$		25	5.2
		$1 \cdot 10^9 - 4.7 \cdot 10^9$		29	7
		$5.6 \cdot 10^9 - 15 \cdot 10^9$			
СЗ–5 вариант “б”	10;15	$1 \cdot 10^9 - 15 \cdot 10^9$		30	7.3
КЭВ	2.5–5	$510 \cdot 10^3 - 5.1 \cdot 10^9$	0.5	25	5.5

Выберем резистор для шунта. Так как максимальный ток нагрузки равен 1мА, а напряжение, которое может измерить АЦП равно 5В.  $R_{\text{ш}} = 5\text{В} \div 1\text{мА} = 5\text{кОм}$

## 5 Расчёт и выбор основных элементов силовой части

### 5.1 Расчёт сетевого выпрямителя

Проведем расчет сетевого выпрямителя. Сетевой выпрямитель представляет собой диодный мост со сглаживающим конденсатором. Для ограничения тока заряда конденсатора при включении выпрямителя в сеть на входе преобразователя имеется терморезистор с отрицательным ТКЕ, т.е. с уменьшающимся при нагреве сопротивлением. При расчёте выпрямителя будут использоваться формулы из [4]

Приведём исходные данные и требования, предъявляемые к сетевому выпрямителю:

- сетевое напряжение  $U_{\text{сети}} 220 \text{ В}$ ;
- частота сети  $f_c 50 \text{ Гц}$ ;
- выходная мощность  $W_{\text{вых}} 100 \text{ Вт}$ ;
- амплитуда переменной составляющей  $U_{\sim} 5 \text{ В}$ ;
- КПД  $\eta 0.8$ .

Исходя из представленных выше данных найдём среднее значение выпрямленного напряжения:

$$U_{cp} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{сети}} - U_{\sim} = \sqrt{2} \cdot 220 - 5 \text{ В} = 306.127 \text{ В} \quad (5.1)$$

Поделив значение выходной мощности на полученное значение выпрямленного напряжения получим средний потребляемый ток:

$$I_{cp} = \frac{W_{\text{вых}}}{U_{cp} \cdot \eta} = \frac{100}{306.127 \cdot 0.8} \text{ А} = 0.408 \text{ А} \quad (5.2)$$

То есть эквивалентное входное сопротивление преобразователя равно:

$$R = \frac{U_{cp}}{I_{cp}} = \frac{306.127}{0.408} \text{ Ом} = 749.71 \text{ Ом} \quad (5.3)$$

Расчёт требуемой ёмкости конденсатора фильтра производим для минимального напряжения сети, т.к. при этом требуется максимальная ёмкость:

$$C = \frac{1}{\left[ \arccos \left( 1 - \frac{2 \cdot U_{\sim}}{\sqrt{2} \cdot U_{\text{сети}} \cdot 0.9} \right) \right]^2 \cdot f_c \cdot R} = \frac{1}{\left[ \arccos \left( 1 - \frac{2 \cdot 5}{\sqrt{2} \cdot 220 \cdot 0.9} \right) \right]^2 \cdot 50 \cdot 749.71} \text{ Ф} =$$

$$= 3.71266 \cdot 10^{-4} \Phi = 371.266 \text{ мк}\Phi \quad (5.4)$$

Найдём значение максимально возможного напряжения на конденсаторе фильтра:

$$U_{C_{\max}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{сети}} \cdot 1.1B = 342.24B \quad (5.5)$$

Предварительно определив круговую частоты сети  $\omega$  найдём угол  $\delta$ , при котором происходит отсечка тока в диодах (если принять, что этот угол мал):

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_c = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \quad (5.6)$$

$$\delta = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R} = \frac{1}{314 \cdot 371.266 \cdot 749.71} = 0.011 \quad (5.7)$$

Угол проводимости диодов:

$$\theta = \frac{1}{2} \cdot \left( \arccos \left( 1 - \frac{2 \cdot U_{\sim}}{\sqrt{2} \cdot U_{\text{сети}}} \right) \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \left( \arccos \left( 1 - \frac{2 \cdot 5}{\sqrt{2} \cdot 220} \right) \right)^2 = 0.032 \quad (5.8)$$

Действующее значение тока в конденсаторе:

$$I_{\text{конд}} = \left\{ \frac{1}{\pi} \cdot \left( \int_{-(2\theta-\delta)}^{\delta} (\sqrt{2} \cdot U_{\text{сети}} \cdot \omega \cdot C \cdot \sin \omega t)^2 d\omega t + \int_{\theta}^{\pi-2\theta} I_{\text{cp}}^2 d\omega t \right) \right\}^{1/2} =$$

$$= \left\{ \frac{1}{3.14} \cdot \left( \int_{-(2 \cdot 0.032 - 0.011)}^{0.011} (\sqrt{2} \cdot 220 \cdot 314 \cdot 371.266 \cdot 10^{-6} \cdot \sin 314t)^2 d\omega t + \int_{0.032}^{3.14 - 2 \cdot 0.032} 0.408^2 d\omega t \right) \right\}^{1/2} A =$$

$$= 0.429A \quad (5.9)$$

Выбираем конденсатор КГ 350-470мкФ с максимально допустимым действующим током 2.1А.

Для выбора диодов найдём средний ток протекающий через один диод:

$$I_{\text{д.ср}} = 0.5 \cdot I_{\text{ср}} = 0.5 \cdot 0.408A = 0.204A \quad (5.10)$$

Также необходимо найти максимальный ток и максимальное прикладываемое к диоду обратное напряжение:

$$I_{\text{д.нр.макс}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{сети}} \cdot \omega \cdot C \cdot \sin(\theta - \delta) + I_{\text{ср}} =$$

$$= \sqrt{2} \cdot 220 \cdot 314 \cdot 371.266 \cdot 10^{-6} \cdot \sin(0.032 - 0.011) + 0.408A = 1.166A \quad (5.11)$$

$$U_{\text{д.макс}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{сети}} \cdot 1.1 = \sqrt{2} \cdot 220 \cdot 1.1B = 342.24B \quad (5.12)$$

В качестве выпрямительного моста возьмем диодный модуль КВР210, который имеет следующие параметры:

- максимальное значение выходного тока 2 А;
- максимальное обратное напряжение 1000 В;
- максимальное падение напряжение на диоде 1 В при токе 1 А;
- максимальный обратный ток диода 10 мкА.

Рассчитаем потери на выпрямительном мосте по выражению:

$$P_{\text{д. max}} = 2 \cdot U_{\text{д. np}} \cdot I_{\text{д. np. max}} \quad (5.13)$$

Подставляем значения параметров диодного модуля, получаем:

$$P_{\text{д. max}} = 2 \cdot U_{\text{д. np}} \cdot I_{\text{д. np. max}} = 2 \cdot 1 \cdot 1.166 \text{ Вм} = 3.332 \text{ Вм} \quad (5.14)$$

### 5.2 Расчет инвертора

Схема мостового преобразователя постоянного напряжения с дросселем в цепи переменного тока показана на рисунке 5.1. Алгоритм переключения транзисторов и диаграммы напряжения и тока дросселя представлены на рисунке 5.2. На рисунке изображен крайний случай, при работе на максимально возможную скважность.

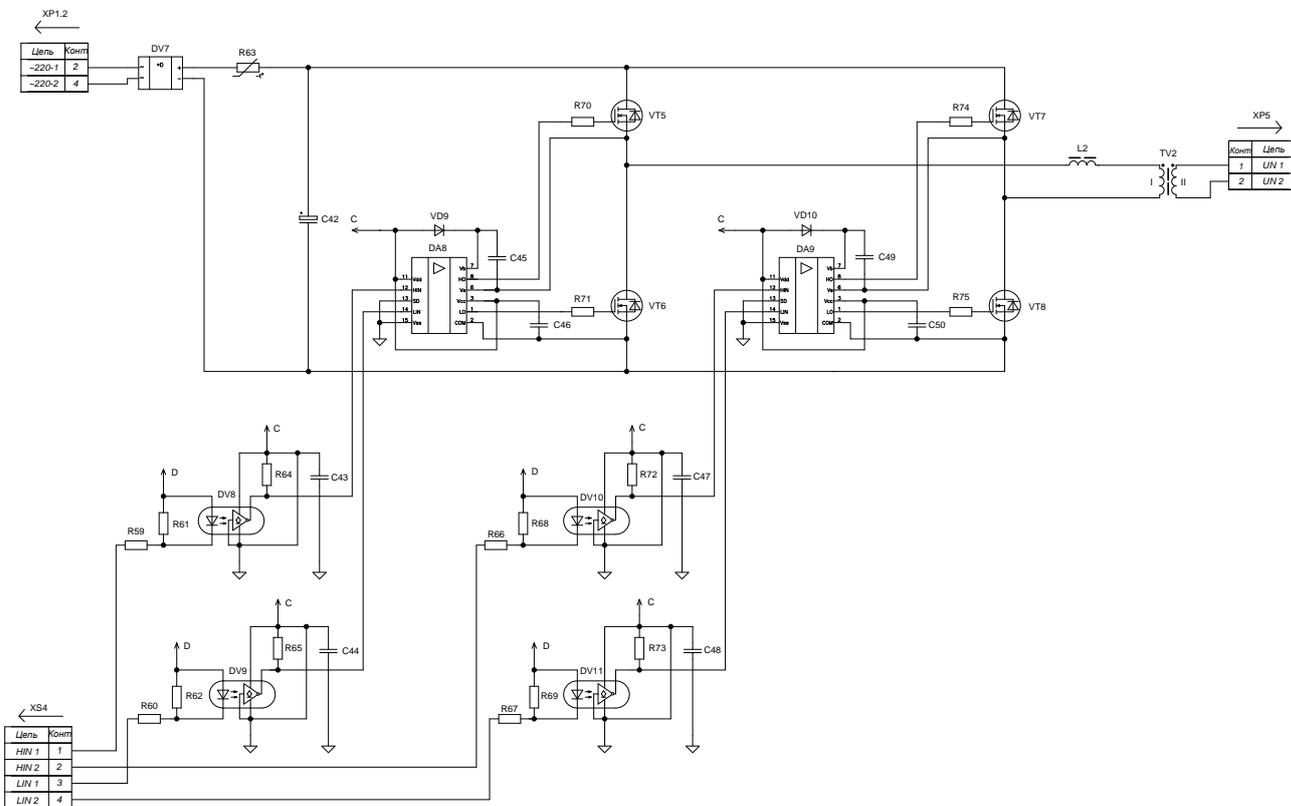


Рисунок 5.1 – Мостовой преобразователя постоянного напряжения с дросселем  
в цепи постоянного тока

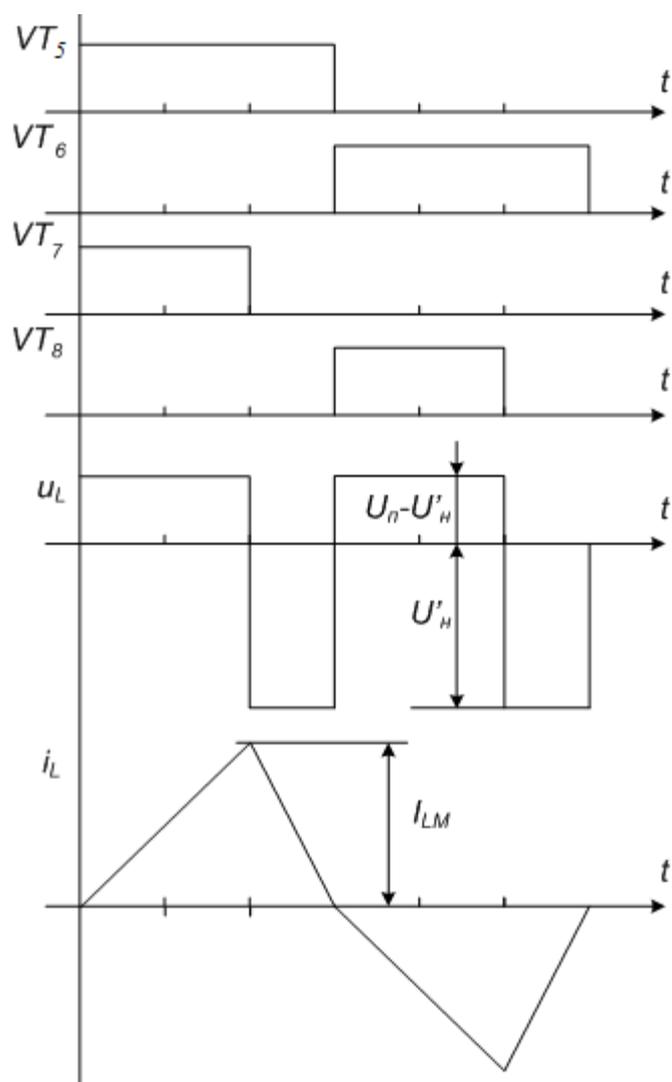


Рисунок 5.2 – Диаграммы работы мостового преобразователя постоянного напряжения с дросселем в цепи постоянного тока

Каждый транзистор шунтирован возвратным диодом. Принцип работы заключается в том, что после запираания нижнего силового ключа одного плеча мостовой схемы силовой ключ верхнего противоположащего плеча оставляют в проводящем состоянии до тех пор, пока не будет полностью выведена энергия магнитного поля из трансформатора. При этом ток замыкается через силовой ключ и диод, и накопленная энергия передаётся только в нагрузку, минуя источник питания [5,6].

Исходя из того, что максимальное напряжение на выходе составляет 80% от входного, найдем максимальную скважность работы ключей правой стойки преобразователя, при которой энергия магнитного поля из трансформатора будет полностью успевать выводиться.

Напряжение, прикладываемое к дросселю при открытых ключах VT5 и VT8 равно

$$U_L = E - U_{w1} = L \frac{\Delta I_L}{\Delta t} \quad (5.15)$$

При закрытии ключа VT8 напряжение на дросселе изменяется по следующему закону:

$$U_L = U_{w1} = L \frac{\Delta I_L}{\Delta t} \quad (5.16)$$

Ток, накопленный в дросселе за время  $t_1$  должен быть равен току, выведенному из дросселя за время  $t_2$ . Воспользовавшись формулами (5.15) и (5.16) получим

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{E - U_{w1}}{U_{w1}} \quad (5.17)$$

При принятом значении максимального напряжения на выходе преобразователя равным 80% от уровня входного напряжения получаем, что времена  $t_1$  и  $t_2$  относятся как

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{E - U_{w1}}{U_{w1}} = \frac{E - 0.8E}{0.8E} = \frac{0.2E}{0.8E} = \frac{1}{4} \quad (5.18)$$

Так как сумма  $t_1$  и  $t_2$  равна половине периода, то из (5.18) получаем

$$t_1 = \frac{2}{5}T \quad (5.19)$$

Принимая за скважность отношение времени длительности открытого состояния ключей правой стойки преобразователя ко времени половины периода работы ключей левой стойки:

$$\gamma = t_1 / \frac{T}{2} = \frac{2t_1}{T} \quad (5.20)$$

получаем, что максимальная скважность равна:

$$\gamma_{\max} = \frac{2t_1}{T} = \frac{2}{T} \frac{2T}{5} = 0.8 \quad (5.21)$$

Средний за полупериод ток первичной обмотки трансформатора равен:

$$I_{W1cp} = \frac{P}{U_{W1}} = \frac{P}{0.8E} = \frac{100Wm}{0.8 \cdot 260V} = 0.481A \quad (5.22)$$

Из рисунка 5.2 видно, что при максимальной скважности в дросселе накопится максимальный ток, равный:

$$I_{Lmax} = 2I_{W1cp} = 2 \cdot 0.481A = 0.962A \quad (5.23)$$

Теперь из формул (5.15) или (5.16) можно найти максимальную индуктивность дросселя. Она составит

$$L = \frac{(E - 0.8E)t_1}{I_{Lmax}} = \frac{0.2E \cdot \gamma_{\max} T}{2 \cdot I_{Lmax}} = \frac{0.2 \cdot 260V \cdot 0.8 \cdot 12.5\mu\text{с}}{2 \cdot 0.962A} = 0.27\text{мГн} \quad (5.24)$$

Найдем максимальный ток, протекающий через дроссель в случае короткого замыкания в цепи нагрузки. В случае короткого замыкания к дросселю в течении времени  $t_1$  будет приложено напряжение питания преобразователя, то есть максимальное значение тока составит:

$$I_{кз.max} = \frac{E \cdot t_1}{L} = \frac{E \cdot \gamma_{\max} T}{2L} = \frac{260V \cdot 0.8 \cdot 12.5\mu\text{с}}{2 \cdot 0.27\text{мГн}} = 4.815A \quad (5.25)$$

Из схемы видно, что максимальный ток, протекающий через ключи равен максимальному току первичной обмотки трансформатора. По этому значению тока, а также по значению напряжения питания инвертора можно выбрать ключи.

В качестве силовых ключей выберем полевые MOSFET транзисторы IRFB9N60A, способные выдерживать напряжение 600В. Так как конструктивно эти транзисторы уже содержат обратные диоды, то отпадает необходимость вносить в схему инвертора дополнительные диоды.

Найдем мощность, рассеиваемую на силовых транзисторах. При используемом нами алгоритме работы ключей значения рассеиваемой мощности различны для транзисторов левого и правого плеча схемы.

В ключевом применении общая мощность состоит из потерь проводимости и потерь переключения. Мощность проводимости приблизительно можно найти так

$$P_T = I_{\text{дVT}}^2 \cdot R_{\text{ds(on)}} \quad (5.26)$$

где  $I_{\text{дVT}}$  – среднеквадратичное значение тока транзистора;

$R_{\text{ds(on)}}$  – сопротивление транзистора в открытом состоянии.

Общие потери переключения  $P_S$  равны общей энергии переключения  $E_T$ , умноженной на частоту переключений  $f$ .  $E_T$  – это сумма энергий отдельных переключений, имеющих место в каждом основном рабочем цикле.

$$P_S = E_T \cdot f \quad (5.27)$$

Сумма энергий отдельных переключений можно получить так:

$$E_T = I_{\text{max}} \cdot U_{\text{max}} \cdot t_f \cdot n \quad (5.28)$$

где  $t_f$  – время переключения транзистора;

$n$  – количество переключений транзистора в основном рабочем цикле.

Общая мощность рассеивания является суммой мощности проводимости  $P_T$  и мощности переключения  $P_S$ :

$$P_{VT} = P_T + P_S = I_{\text{дVT}}^2 \cdot R_{\text{ds(on)}} + E_T \cdot f \quad (5.29)$$

Средний ток, протекающий через ключи левой стойки равен

$$I_{\text{срVT5,6}} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{\text{VT5,6}}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i(t) dt = \frac{1}{2} I_{W1} = \frac{1}{2} 0.384A = 0.192A \quad (5.30)$$

Средний ток, протекающий через ключи правой стойки равен

$$I_{\text{срVT7,8}} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{\text{VT7,8}}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2} \gamma} i(t) dt = \frac{\gamma}{2} I_{W1} = \frac{0.9}{2} 0.384A = 0.173A \quad (5.31)$$

Действующий ток, протекающий через ключи левой стойки равен

$$I_{\text{дVT5,6}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_{\text{VT5,6}}^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2} \gamma} i(t) dt + \frac{1}{T} \int_{\frac{T}{2} \gamma}^{\frac{T}{2}} i(t) dt} = 0.444A \quad (5.32)$$

Действующий ток, протекающий через ключи правой стойки равен

$$I_{\partial VT7,8} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_{VT7,8}^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i(t) dt} = 0.425A \quad (5.33)$$

Воспользовавшись формулами (5.28) и (5.29) найдем мощность рассеивания ключей правой и левой стойки.

$$\begin{aligned} P_{VT5,6} &= I_{\partial VT5,6}^2 \cdot R_{ds(on)} + I_{\max} \cdot U_{\max} \cdot t_f \cdot n \cdot f = \\ &= 0.444^2 \cdot 0.75 + 0.962 \cdot 342.24 \cdot 22 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 80000 \text{Вт} = \\ &= 1.306 \text{Вт} \quad (5.34) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{VT7,8} &= I_{\partial VT7,8}^2 \cdot R_{ds(on)} + I_{\max} \cdot U_{\max} \cdot t_f \cdot n \cdot f = \\ &= 0.425^2 \cdot 0.75 + 0.962 \cdot 342.24 \cdot 22 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 80000 \text{Вт} = \\ &= 1.294 \text{Вт} \quad (5.35) \end{aligned}$$

Для управления ключами возьмем драйвер IR2113. Это высоковольтный высокоскоростной MOSFET и IGBT драйвер. Логические входы совместимы со стандартами CMOS и LSTTL. Драйвер предназначен для управления стойкой транзисторов. Характеристики драйвера:

- $V_{\text{offset}}=600 \text{ В}$ ;
- $I_o=2 \text{ А}$  – выходной ток драйвера;
- $V_{\text{out}}=10\text{-}20 \text{ В}$  выходное напряжение;
- $t_{\text{on/off}}=120/94 \text{ нс}$  – типичные времена включения и выключения.

Рекомендуемый номинал конденсаторов обвески 0.1мкФ. Возьмём чип конденсаторы СС-0805.

Диод предназначен для заряда верхнего конденсатора. При открытом нижнем транзисторе верхний конденсатор заряжается через диод. Когда открыт верхний транзистор, диод закрыт и верхний конденсатор разряжается через затвор.

Выбираем диод HER108 со следующими характеристиками:

- Максимальное обратное напряжение 1000В;
- Максимальный прямой ток 1А.

## 6 Разработка системы управления

Как видно из функциональной схемы системы управления, основным элементом, отвечающим за работу системы, является МК. Стабилизацию напряжения на заданном уровне осуществляет ШИМ контроллер.

На сегодняшний день на рынке электронных компонентов существует довольно много фирм производящих МК: Atmel, Texas Inst., Philips, Nordic Semiconductor и т.д.. Наиболее распространены МК AVR компании Atmel и PIC МК компании Microchip.

МК AVR имеют следующие параметры:

- гарвардская RISC-архитектура, большинство операций выполняются за 1 тактовый цикл генератора, при этом достигается скорость 10 - 16 MIPS;
- наличие электрически перепрограммируемой памяти Flash-ROM;
- система команд изначально спроектированная с учетом языка программирования C, и, как результат, наиболее эффективный код в результате компиляции;
- наличие 32 регистров, все из которых напрямую работают с АЛУ, что значительно уменьшает размер программ;
- наличие нескольких режимов энергопотребления;
- наличие простых и дешёвых программных средств;
- наличие электрически перепрограммируемой постоянной памяти данных EEPROM, с количеством циклов перезаписи более 100000 раз.

Базовая архитектура МК AVR подразделяется на три группы [7].

Classic AVR – основная линия МК с производительностью отдельных модификаций до 16MIPS:

- FLASH – память программ от 2 до 8 Кб;
- память EEPROM от 64 до 512 байт;
- оперативная память программ SRAM от 128 до 512 байт.

Mega AVR – МК с производительностью от 4 до 16MIPS:

- FLASH – память программ до 128 Кбайт;
- память EEPROM от 64 до 512 байт;

- оперативная память программ SRAM от 2 до 8 Кбайт;
- встроенный 10-ти разрядный 8–ми канальный АЦП.

Tiny AVR – недорогие, миниатюрные МК, в основном в восьми выводном исполнении.

Особенностью МК AVR является также то, что система команд, всего семейства совместима при переносе программы от слабого, к более мощному МК.

При проектировании системы управления был выбран МК семейства Mega: Atmega16. Данный МК обладает следующими параметрами:

- 16 Кбайт программной памяти;
- 512 Байт EEPROM;
- 1 Кбайт ОЗУ;
- USART;
- SPI и JTEG интерфейсы;
- два 8 битных таймер/счётчика;
- 16 битный таймер/счётчика;
- возможность перепрошивать 10000 раз;
- четыре порта ввода/вывода;
- встроенный 10 разрядный АЦП;
- возможность подключения одновременно нескольких внешних устройств.

На рисунке 6.1 представлена схема подключения светодиодных индикаторов к МК. Индикация производится в динамическом режиме. Индикаторы подключаются к МК через микросхему ULN2803AF.

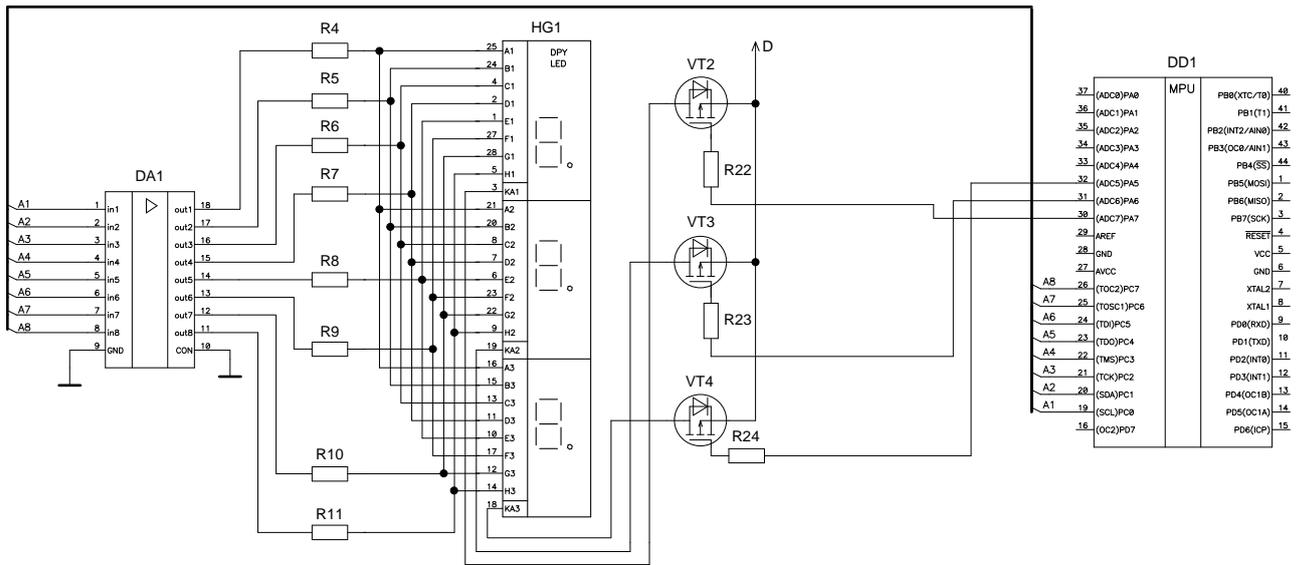


Рисунок 6.1 – Схема подключения светодиодных индикаторов

На рисунке 6.2 приведена схема подключения кнопок к МК. При такой схеме подключения вывод МК INT0, отслеживающий внешние прерывания, реагирует на изменение состояния любой из кнопок.

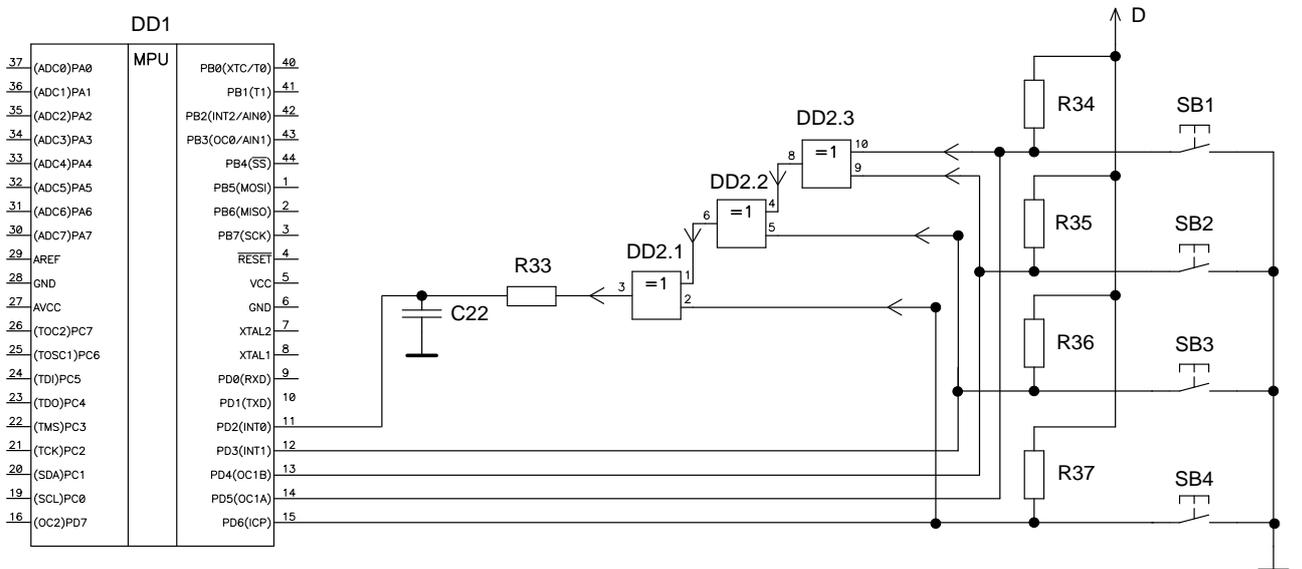


Рисунок 6.2 – Схема подключения кнопок

Для приёма и передачи данных используются микросхемы 232 и 485 интерфейсов ADM232 и ILX485D соответственно. При этом приём данных МК осуществляется посредством логики только с одного из интерфейсов, а передача данных идёт на обе микросхемы. Во избежание внесения помех в линию передачи данных, МК гальванически развязан с микросхемами

интерфейсов при помощи оптопар. Схема гальванической развязки микросхем интерфейсов представлена на рисунке 6.3.

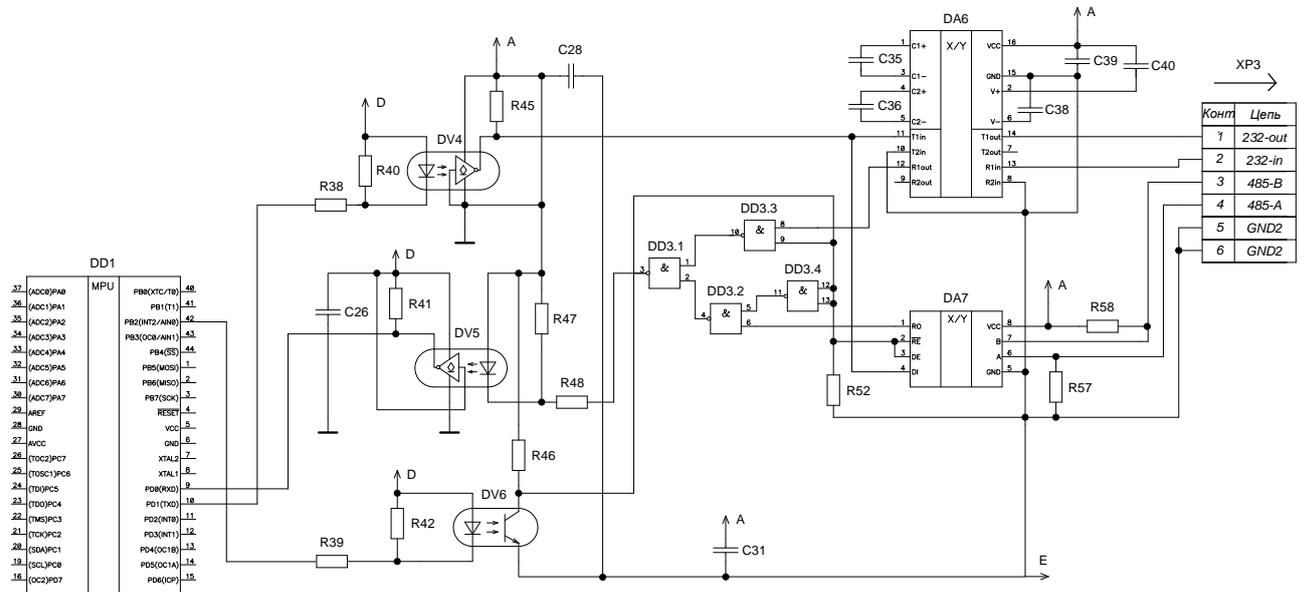


Рисунок 6.3 – Схема гальванической развязки микросхем интерфейсов

Необходимый уровень выходного напряжения передаётся с МК на ШИМ контроллер через ЦАП. Также на ШИМ контроллер поступает информация о уровне выходного напряжения с датчика напряжения. Схема подключения ШИМ контроллера к МК представлена на рисунке 6.4.

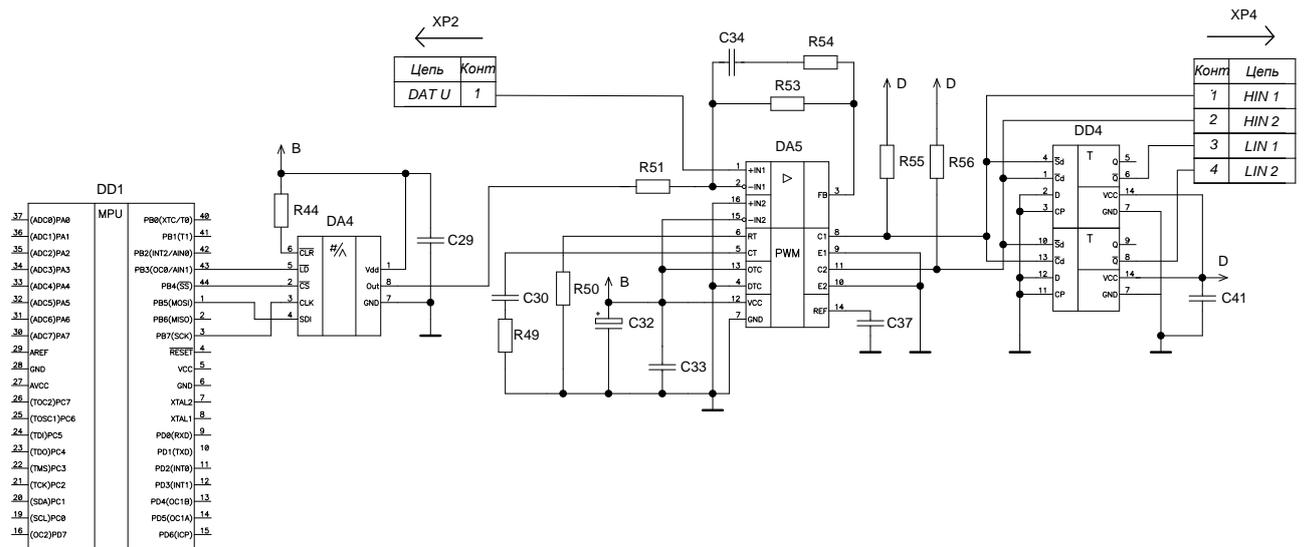


Рисунок 6.4 – Схема подключения ШИМ контроллера к микроконтроллеру

## 7 Разработка и расчет схемы источника вторичного электропитания

Основная схема, по которой выполнены многие маломощные импульсные источники питания – это обратноходовой преобразователь (преобразователь с передачей энергии на обратном ходу). Типовая схема построения обратноходового преобразователя приведена на рисунке 7.1. Эта схема преобразует одно постоянное напряжение в другое посредством либо широтно-импульсной модуляции (ШИМ), либо частотно-импульсной модуляции (ЧИМ). Метод широтно-импульсной модуляции основан на изменении отношения длительности включенного состояния ключа к выключенному при постоянной частоте.

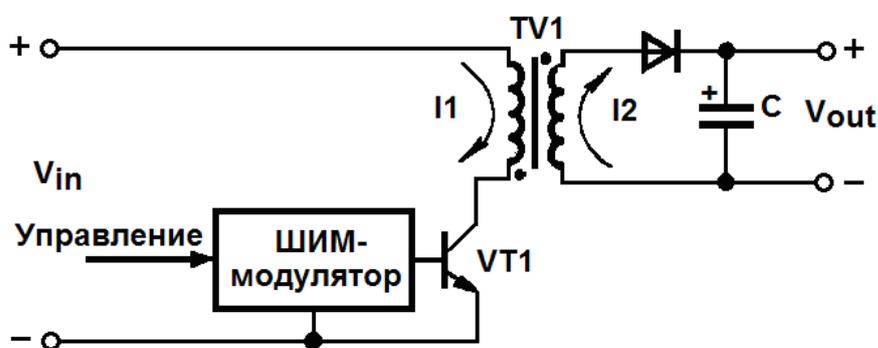


Рисунок 7.1 – Типовая схема обратноходового преобразователя

Ключевой транзистор VT1 управляется схемой ШИМ-модулятора. Когда транзистор открыт, ток в первичной обмотке трансформатора линейно увеличивается. Трансформатор в схеме фактически является дросселем со вторичной обмоткой и, в отличие от силового трансформатора, накапливает в себе существенную энергию. Как только транзистор закрывается, магнитный поток в сердечнике трансформатора начинает уменьшаться, и это вызывает протекание тока во вторичной обмотке трансформатора. Этот ток заряжает конденсатор, энергия которого питает нагрузку.

На рисунке 7.2 показаны временные диаграммы процессов в обратноходовом преобразователе.

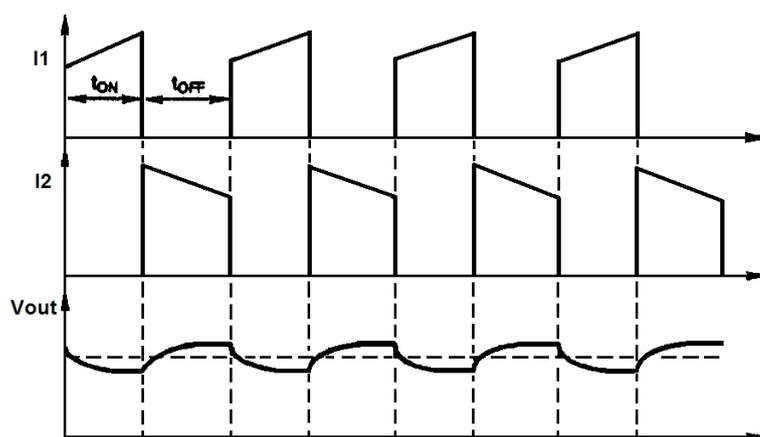


Рисунок 7.2 – Временные диаграммы процессов в обратноходовом преобразователе

Идеальная схема обратноходового преобразователя не имеет потерь, так как в любое время переключающий элемент имеет или нулевое напряжение или нулевой ток. Однако на практике имеются потери переключения и проводимости в транзисторе VT1 а также потери в трансформаторе, диоде и конденсаторах. Но эти потери не велики по сравнению со схемами линейного преобразователя.

На рисунке 7.3 изображена схема обратноходового преобразователя непосредственно подключаемого к сети переменного тока. Петля обратной связи, показанная на схеме, необходима для стабилизации выходного напряжения на заданном уровне.

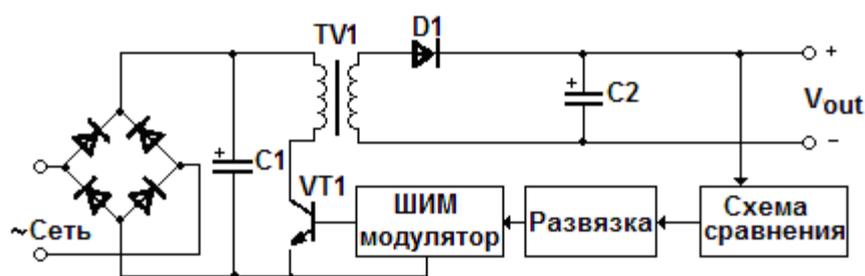


Рисунок 7.3 – Обратногоходовой преобразователь напряжения сети

Другая популярная конфигурация импульсных источников питания известна как схема прямоходового преобразователя. На рисунке 7.4 показан пример построения прямоходовых преобразователей. В прямоходовых

преобразователях энергия накапливается в выходной катушке индуктивности (дросселе).

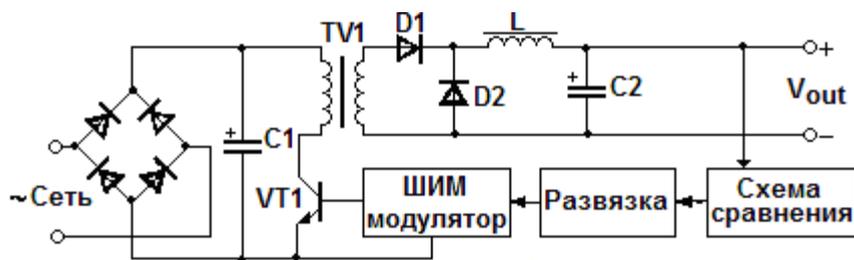


Рисунок 7.4 – Прямоходовый преобразователь напряжения сети

В отличие от обратноходовой, в прямоходовой схеме ток от элемента, сохраняющего энергию течет во время обеих половин цикла переключения, поэтому прямоходовый преобразователь имеет более низкое напряжение выходных пульсаций.

В качестве источника питания собственных нужд предлагается использовать преобразователь с передачей энергии на обратном ходу (обратноходовой преобразователь, флайбэк). Это обусловлено следующими факторами. Основное преимущество обратноходовой топологии – дешевизна и малое количество деталей, поэтому практически все сетевые источники питания до мощностей 30-50Вт строятся именно по этой топологии. Также такие преобразователи прекрасно справляются с формированием нескольких выходных напряжений с неплохой стабильностью дополнительных напряжений, не требуя при этом практически никаких схемотехнических изысканий. Тем не менее, несмотря на меньшее количество деталей, некоторые компоненты могут иметь относительно большие размеры, например трансформатор и выходные конденсаторы. Также могут возникнуть проблемы отвода тепла из-за относительно худшего КПД флайбэка.

На рисунке 7.5 приведена схема флайбэка на широко распространённой микросхеме UC3844.

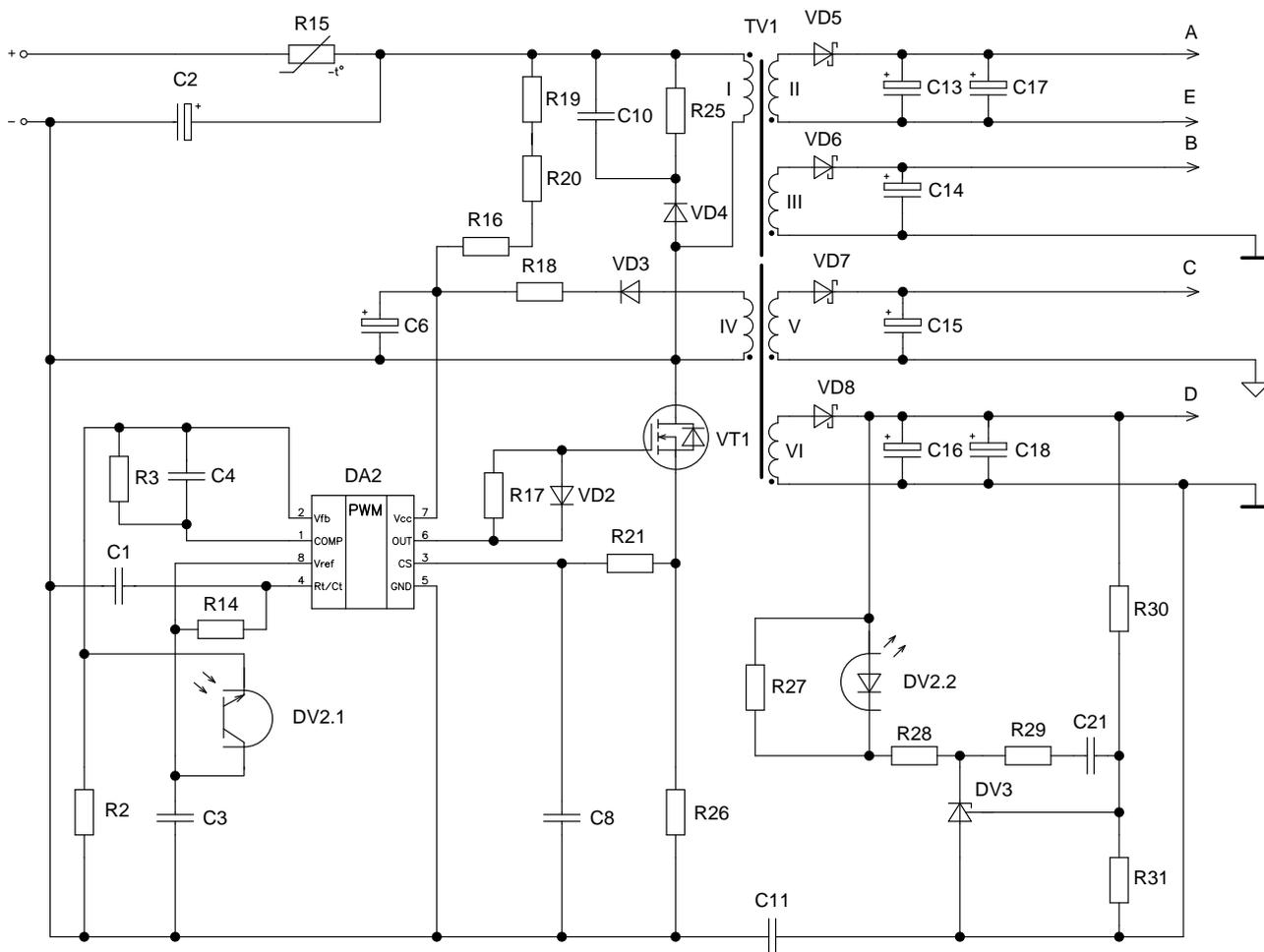


Рисунок 7.5 – Источник питания собственных нужд

Источник питания собственных нужд должен работать от сети переменного тока  $220\text{ В} \pm 20\%$  ( $176\text{--}264\text{ В}$ ). Частота преобразования  $f$  равна  $100\text{ кГц}$ . Перечислим уровни выходных напряжения и тока:

- $U_1 = 5\text{ В}$ ,  $I_1 = 0.4\text{ А}$  ( $P_1 = 2\text{ Вт}$ );
- $U_2 = 5\text{ В}$ ,  $I_2 = 0.2\text{ А}$  ( $P_2 = 1\text{ Вт}$ );
- $U_3 = 15\text{ В}$ ,  $I_3 = 0.13\text{ А}$  ( $P_3 = 2\text{ Вт}$ );
- $U_4 = 15\text{ В}$ ,  $I_4 = 0.067\text{ А}$  ( $P_4 = 1\text{ Вт}$ ).

Суммарная мощность преобразователя равна  $6\text{ Вт}$ .

ШИМ – контроллер (DA2) выберем из семейства микросхем UC3842–UC3845. Это чрезвычайно распространенный и дешевый чип, выпускаемый многими производителями. При выборе одного из вариантов микросхемы этой серии исходим из следующих соображений.

Сначала определимся с максимальным значением  $\gamma$  – с ограничением в 0.5 или без оно. Если не ограничиваться половинным значением максимально допустимого рабочего цикла, то можно несколько снизить пиковые токи на первичной стороне при том же самом диапазоне входных напряжений, но возникает следующая проблема: при снижении входного напряжения ниже расчетного мы неизбежно попадем в режим неразрывных токов трансформатора, что чревато многими неприятностями, и главная из них – возникновение субгармонических колебаний. В нашем случае ограничимся 50-процентным рабочим ходом, в большинстве случаев сетевых флайбэков это вполне оправдано.

Для сетевого источника питания крайне желательно иметь большой гистерезис питающего напряжения чипа – это значительно облегчает построение схем запуска и защиты.

Данная микросхема выпускается в двух модификациях. В чипах, обозначение которых содержит индекс «А», снижен стартовый ток и несколько выше точность опорного напряжения, причём стоимость остаётся прежней

Суммируя все вышесказанное, останавливаемся на микросхеме UC3844A как отвечающей всем условиям.

На входе источника питания стоит диодный мост со сглаживающим конденсатором. Если включить конденсатор напрямую в сеть произойдет взрыв, т.к. ток резко возрастет и нарастание тока ничем не ограничено. На входе преобразователя поставим терморезистор с отрицательным ТКЕ (R15), т.е. сопротивление резистора будет уменьшаться при нагреве.

При расчете элементов обртноходового преобразователя воспользуемся [8].

Рассчитаем необходимую ёмкость входного конденсатор что бы получить некое минимальное постоянное напряжение  $U_{IN(MIN)}$  при минимальном постоянном напряжении сети  $U_{ПИТ(MIN)}$ .

$$C1 = \frac{P_{OUT(MAX)}}{\eta \cdot f_{сети} \cdot (U_{ПИТ(MIN)}^2 - U_{IN(MIN)}^2)} \left( 1 + \frac{\arccos\left(\frac{U_{IN(MIN)}}{U_{ПИТ(MIN)}}\right)}{\pi} \right) \quad (7.1)$$

где  $\eta$  – КПД трансформатора;

$f_{сети}$  – частота сети;

$P_{OUT(MAX)}$  – максимальная мощность нагрузки.

В нашем случае  $U_{ПИТ(MIN)}$  равно:

$$U_{ПИТ(MIN)} = 176 \cdot \sqrt{2} B = 249 B \quad (7.2)$$

Принимая  $U_{IN(MIN)}$  равным 200В из формулы (1) получим:

$$C1 = \frac{6}{0.85 \cdot 50 \cdot (249^2 - 200^2)} \left( 1 + \frac{\arccos\left(\frac{200}{249}\right)}{\pi} \right) \Phi = 7.72 \cdot 10^{-6} \Phi = 7.72 \text{ мкФ} \quad (7.3)$$

Выбираем конденсатор SR ёмкостью 22мкФ на напряжение 400В.

Элементы C1 и R14 являются частотоподающими. Что бы максимально приблизить наш  $\gamma$  к 0.5, конденсатор C1 желательно иметь как можно меньшей емкости, а R14 должен быть как можно больше. Исходя из графика в спецификации, R14 желательно иметь в районе 25-30кОм. Формула для определения частоты преобразования так же приводится в спецификации:

$$f = \frac{1.72}{C5 \cdot R8} \quad (7.4)$$

но для чипов UC3844 и UC3845 эта частота должна быть вдвое больше, поскольку для получения 50-процентного рабочего цикла в них используется только каждый второй такт.

Из выражения (7.4) получим примерное значение конденсатора для резистора 25кОм:

$$C1 = \frac{1.72}{2 \cdot f \cdot R14} = \frac{1.72}{2 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 25 \cdot 10^3} \Phi = 3.44 \cdot 10^{-10} \Phi = 344 \text{ пФ} \quad (7.5)$$

Возьмем чуть меньшее значение из стандартного ряда – 330пФ, тогда R14 должен быть – 26.1кОм.

Выясним максимальное и минимальное значение частоты из-за разброса параметров компонентов, а также максимальное значение  $\gamma$ . В качестве С1 будем использовать керамический конденсатор с диэлектриком NPO и допуском  $\pm 5\%$ . Допуск на частоту внутреннего осциллятора так же составляет  $\pm 5\%$  в всем диапазоне температур.

Итак, имеем для преобразователя:

- номинальная частота: 99.8кГц;
- минимальная частота: 90.6кГц;
- максимальная частота: 110.1кГц.

Теперь можно определить «мертвое» время. Здесь конденсатор С1 разряжается фиксированным током 8.3мА (7.6мА минимум), и размах напряжения на нем 1.7В (данные из спецификации). Поэтому «мертвое» время будет:

$$t_{dead} = \frac{C1 \cdot 1.7V}{7.6mA} = \frac{330 \cdot 10^{-12} \cdot 1.7}{7.6 \cdot 10^{-3}} = 74 \cdot 10^{-9} c = 74нс \quad (7.6)$$

Это составляет менее одного процента от частоты преобразования, поэтому возьмем минимальный уровень ограничения рабочего цикла из спецификации – 0.47, и будем оперировать им.

Теперь определим минимально возможное время открытого состояния ключа, когда чип пытается сделать максимально возможный  $\gamma$ . Это будет при максимальной частоте преобразования и  $\gamma$  равным 0.47.

Период  $T_{min}$  будет равен 9.1мкс, и время открытого состояния ключа:

$$t_{on} = T_{min} \cdot \gamma = 9.1 \cdot 0.47 мкс = 4.28 мкс \quad (7.7)$$

Соответственно, минимально возможное время обратного хода будет при максимальной частоте и  $\gamma$  равным 0.49:

$$t_{on} = T_{max} \cdot \gamma = 9.1 \cdot 0.49 мкс = 4.46 мкс \quad (7.8)$$

$$t_{off} = T_{max} - t_{on} = 9.1 - 4.46 мкс = 4.64 мкс \quad (7.9)$$

Итак, в самых неблагоприятных условиях мы можем нагнетать ток в трансформатор в течении 4.28мкс и разряжать трансформатор в течении 4.64мкс.

Расчет трансформатора начнем с определения необходимых индуктивностей обмоток. Будем считать, что трансформатор должен находиться в режиме разрывных токов при перегрузке в 20%. При этом мы будем уверены, что в режиме регулирования напряжения у нас не возникнет проблем с петлей обратной связи, и не возникнет дополнительных неучтенных динамических потерь в силовом ключе при его открывании.

Итак, за время 4.28мкс мы должны запасти в трансформаторе ровно столько энергии, чтобы ее хватило на поддержание выходного напряжения.

Найдем максимальную индуктивность первичной обмотки по формуле (7.10):

$$L_{TV1.1} = \frac{U_{IN(MIN)}^2 \cdot t_{on}^2 \cdot \eta \cdot f_{MIN}}{2 \cdot P_{MAX}} \quad (7.10)$$

где  $\eta$  – КПД трансформатора;

$f_{MIN}$  – минимальная частота;

$P_{MAX}$  – максимальная мощность нагрузки.

В нашем случае максимальное значение индуктивности первичной обмотки:

$$\begin{aligned} L_{TV1.1} &= \frac{U_{IN(MIN)}^2 \cdot t_{on}^2 \cdot \eta \cdot f_{MIN}}{2 \cdot P_{MAX}} = \frac{200^2 \cdot (4.28 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0.85 \cdot 90.6 \cdot 10^3}{2 \cdot 1.2 \cdot 6} \Gamma_H = \\ &= 3.92 \cdot 10^{-3} \Gamma_H = 3.91 \text{ мГн} \quad (7.11) \end{aligned}$$

Теперь легко найти ток в первичной цепи:

$$I_{TV1.1} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{MAX}}{\eta \cdot f_{MIN} \cdot L_{TV1.1}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7.2}{0.85 \cdot 90.6 \cdot 10^3 \cdot 3.91 \cdot 10^{-3}}} \Gamma_H = 0.22 \text{ А} \quad (7.12)$$

Сразу найдем его среднеквадратичное значение:

$$I_{TV1.1\theta} = I_{TV1.1} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{MAX}}{3}} = 0.22 \cdot \sqrt{\frac{0.5}{3}} \text{ А} = 0.09 \text{ А} \quad (7.13)$$

За время  $t_{off}$  вся энергия из сердечника должна перейти в выходной конденсатор и в нагрузку, и к началу следующего такта ток в выходных обмотках должен успеть спасть до нуля. За время обратного хода к выходным обмоткам приложено выходное напряжение  $U_{OUT}$  плюс падение напряжения на

выходном диоде  $U_{DOUT}$ . В нашем случае в качестве выходных диодов используем диод Шоттки, и прямое напряжение на нем примем за 0.5В.

Найдём максимально допустимые индуктивности вторичных обмоток:

$$L_{TV1.2} = \frac{(U_1 + U_{DOUT}) \cdot t_{off}^2 \cdot f_{MIN}}{2 \cdot I_{1MAX}} = \frac{(5 + 0.5) \cdot (4.64 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 90.6 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.4} \Gamma_H = \quad (7.14)$$

$$= 1.341 \cdot 10^{-5} \Gamma_H = 13.41 \text{ мкГн}$$

$$L_{TV1.3} = \frac{(U_2 + U_{DOUT}) \cdot t_{off}^2 \cdot f_{MIN}}{2 \cdot I_{2MAX}} = \frac{(5 + 0.5) \cdot (4.64 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 90.6 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.2} \Gamma_H = \quad (7.15)$$

$$= 2.682 \cdot 10^{-5} \Gamma_H = 26.82 \text{ мкГн}$$

$$L_{TV1.4} = \frac{(U_3 + U_{DOUT}) \cdot t_{off}^2 \cdot f_{MIN}}{2 \cdot I_{3MAX}} = \frac{(15 + 0.5) \cdot (4.64 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 90.6 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.133} \Gamma_H = \quad (7.16)$$

$$= 1.1338 \cdot 10^{-4} \Gamma_H = 113.38 \text{ мкГн}$$

$$L_{TV1.5} = \frac{(U_4 + U_{DOUT}) \cdot t_{off}^2 \cdot f_{MIN}}{2 \cdot I_{4MAX}} = \frac{(15 + 0.5) \cdot (4.64 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 90.6 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.067} \Gamma_H = \quad (7.17)$$

$$= 2.2676 \cdot 10^{-4} \Gamma_H = 226.76 \text{ мкГн}$$

Соответственно, ток во вторичных обмотках:

$$I_{TV1.2} = \frac{(U_1 + U_{DOUT}) \cdot t_{off}}{L_{TV1.2}} = \frac{(5 + 0.5) \cdot 4.64 \cdot 10^{-6}}{13.41 \cdot 10^{-6}} A = 1.9 A \quad (7.18)$$

$$I_{TV1.3} = \frac{(U_2 + U_{DOUT}) \cdot t_{off}}{L_{TV1.3}} = \frac{(5 + 0.5) \cdot 4.64 \cdot 10^{-6}}{26.82 \cdot 10^{-6}} A = 0.95 A \quad (7.19)$$

$$I_{TV1.4} = \frac{(U_3 + U_{DOUT}) \cdot t_{off}}{L_{TV1.4}} = \frac{(15 + 0.5) \cdot (4.64 \cdot 10^{-6})^2}{113.36 \cdot 10^{-6}} A = 0.63 A \quad (8.20)$$

$$I_{TV1.5} = \frac{(U_4 + U_{DOUT}) \cdot t_{off}}{L_{TV1.5}} = \frac{(15 + 0.5) \cdot (4.64 \cdot 10^{-6})^2}{226.76 \cdot 10^{-6}} A = 0.32 A \quad (8.21)$$

Для расчёта трансформатора необходимо выбрать феррит. Для диапазона частот 100–400кГц наилучшим выбором будет феррит, близкий по параметрам к ферриту N87 фирмы Epcos. Это дешёвые материал, обладающий в то же время очень низкими потерями при размахе индукции вплоть до 0.25 – 0.3Тл.

Остановимся на сердечнике EFD-30 из феррита N87 с зазором, соответствующим 315нГн/Виток2 ( $A_L$ ).

Итак, мы должны получить индуктивность первичной обмотки равной 3.91мГн. Получаем:

$$N_1 = \sqrt{\frac{L_{TV1.1}}{A_L}} = \sqrt{\frac{3.91 \cdot 10^{-3}}{315 \cdot 10^{-9}}} \text{витков} = 111 \text{витков} \quad (7.22)$$

Для  $N_1$  равным 111 виткам имеем  $L_{TV1.1}$  равной 3.88мГн.

За время обратного хода длительностью 4.28мкс к первичной обмотке трансформатора будет приложено минимальное входное напряжение  $U_{IN(MIN)}$  равное 200В. Минимальная площадь сечения сердечника EFD-30  $A_E$  равна 69мм<sup>2</sup>. Поэтому размах индукции в сердечнике будет:

$$\Delta B = \frac{U_{IN(MIN)} \cdot t_{on}}{A_E \cdot N_1} = \frac{200 \cdot 4.28 \cdot 10^{-6}}{69 \cdot 10^{-6} \cdot 111} Tл = 0.11 Tл \quad (7.23)$$

Индукция вполне приемлемая, с большим запасом от индукции насыщения.

Для вторичных обмоток:

$$N_2 = \sqrt{\frac{L_{TV1.2}}{A_L}} = \sqrt{\frac{13.41 \cdot 10^{-6}}{315 \cdot 10^{-9}}} \text{витков} = 6 \text{витков} \quad (7.24)$$

$$N_3 = \sqrt{\frac{L_{TV1.3}}{A_L}} = \sqrt{\frac{26.82 \cdot 10^{-6}}{315 \cdot 10^{-9}}} \text{витков} = 9 \text{витков} \quad (7.25)$$

$$N_4 = \sqrt{\frac{L_{TV1.4}}{A_L}} = \sqrt{\frac{113.38 \cdot 10^{-6}}{315 \cdot 10^{-9}}} \text{витков} = 18 \text{витков} \quad (7.26)$$

$$N_5 = \sqrt{\frac{L_{TV1.5}}{A_L}} = \sqrt{\frac{226.76 \cdot 10^{-6}}{315 \cdot 10^{-9}}} \text{витков} = 26 \text{витков} \quad (7.27)$$

Так как индуктивность вторичных обмоток не может быть больше указанных величин, мы вынуждены округлять полученные количества витков в меньшую сторону, что соответствует следующим индуктивностям вторичных обмоток:

$$L_{TV1.2} = 11.34 \text{мкГн} \quad (7.28)$$

$$L_{TV1.3} = 25.51 \text{мкГн} \quad (7.29)$$

$$L_{TV1.4} = 102.06 \text{мкГн} \quad (7.30)$$

$$L_{TV1.5} = 212.94 \text{мкГн}. \quad (7.31)$$

При этом максимальное напряжение на силовом ключе первичной стороны составит:

$$\begin{aligned}
 U_{DS} &= U_{IN(MAX)} + (U_1 + U_{DOUT}) \cdot \sqrt{\frac{L_{TV1.1}}{L_{TV1.2}}} + (U_2 + U_{DOUT}) \cdot \sqrt{\frac{L_{TV1.1}}{L_{TV1.3}}} + (U_3 + U_{DOUT}) \times \\
 &\times \sqrt{\frac{L_{TV1.1}}{L_{TV1.4}}} + (U_4 + U_{DOUT}) \cdot \sqrt{\frac{L_{TV1.1}}{L_{TV1.5}}} = 373 + (5 + 0.5) \cdot \sqrt{\frac{3.88 \cdot 10^{-3}}{11.34 \cdot 10^{-6}}} + (5 + 0.5) \times \\
 &\times \sqrt{\frac{3.88 \cdot 10^{-3}}{25.51 \cdot 10^{-6}}} + (15 + 0.5) \cdot \sqrt{\frac{3.88 \cdot 10^{-3}}{102.06 \cdot 10^{-6}}} + (15 + 0.5) \cdot \sqrt{\frac{3.88 \cdot 10^{-3}}{212.94 \cdot 10^{-6}}} B = 704.3B \quad (7.32)
 \end{aligned}$$

Теперь уточним значения токов:

$$I_{TV1.2} = \frac{(U_1 + U_{DOUT}) \cdot t_{off}}{L_{TV1.2}} = \frac{(5 + 0.5) \cdot 4.64 \cdot 10^{-6}}{11.34 \cdot 10^{-6}} A = 2.25A \quad (7.33)$$

$$I_{TV1.3} = \frac{(U_2 + U_{DOUT}) \cdot t_{off}}{L_{TV1.3}} = \frac{(5 + 0.5) \cdot 4.64 \cdot 10^{-6}}{25.51 \cdot 10^{-6}} A = 1A \quad (7.34)$$

$$I_{TV1.4} = \frac{(U_3 + U_{DOUT}) \cdot t_{off}}{L_{TV1.4}} = \frac{(15 + 0.5) \cdot (4.64 \cdot 10^{-6})^2}{102.06 \cdot 10^{-6}} A = 0.7A \quad (7.35)$$

$$I_{TV1.5} = \frac{(U_4 + U_{DOUT}) \cdot t_{off}}{L_{TV1.5}} = \frac{(15 + 0.5) \cdot (4.64 \cdot 10^{-6})^2}{212.94 \cdot 10^{-6}} A = 0.34A \quad (7.36)$$

Действующие значения токов:

$$I_{TV1.2\delta} = I_{TV1.2} \cdot \sqrt{\frac{0.464}{3}} = 2.25 \cdot \sqrt{\frac{0.464}{3}} A = 0.88A \quad (7.37)$$

$$I_{TV1.3\delta} = I_{TV1.3} \cdot \sqrt{\frac{0.464}{3}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{0.464}{3}} A = 0.39A \quad (7.38)$$

$$I_{TV1.4\delta} = I_{TV1.4} \cdot \sqrt{\frac{0.464}{3}} = 0.7 \cdot \sqrt{\frac{0.464}{3}} A = 0.275A \quad (7.39)$$

$$I_{TV1.5\delta} = I_{TV1.5} \cdot \sqrt{\frac{0.464}{3}} = 0.34 \cdot \sqrt{\frac{0.464}{3}} A = 0.134A \quad (7.40)$$

Питание контроллера должно быть в диапазоне 11.5В – 16В. При этом выбор оптимального напряжения весьма непрост – при низком его уровне контроллер может выключаться при отсутствии нагрузки на выходе преобразователя, а при высоком его уровне могут возникнуть проблемы с корректной обработкой режимов перегрузки и короткого замыкания. В данном

случае можно остановиться на напряжении питания ШИМ–контроллера  $U_{\text{пит}}$  равным 13В, что потребует следующего количества витков:

$$N_6 = \frac{(U_{\text{пит}} + 0.6) \cdot N_2}{U_1 + U_{\text{DOUT}}} = \frac{(13 + 0.6) \cdot 6}{5 + 0.5} \text{ витков} = 15 \text{ витков} \quad (7.41)$$

Силовой ключ VT1 должен быть способен пропускать максимальный импульсный ток. В худшем режиме первичный ток может достигать 0.22А. Также транзистор должен выдержать максимальное напряжение  $U_{\text{DS}}$ , равное 704.3В. Выбираем полевой транзистор IRFBE30 (800В, 4.1А, 125Вт, 3Ом).

Выберем элементы в цепи управления силовым ключом R17, VD2. Смысл этой цепочки – замедлить включение силового транзистора, оставив максимально возможную скорость его выключения – или даже увеличить ее. Мы ограничиваем ток заряда затвора резистором R17 и быстро разряжаем емкость затвора через диод D2. Диод D2 может быть любым быстродействующим, никаких особых требований к нему не предъявляется. Выберем широко распространенные 1N4148.

При выборе R17 надо учесть следующее. Большое значение R17 приведёт к резкому увеличению динамических потерь при открывании ключа, и опять же к большому перегреву силового транзистора при коротком замыкании на выходе. Оптимальное значение R17 лежит в диапазоне от нескольких десятков до полутора сотен Ом. Выбираем R17 равным 110 Ом.

Датчик тока необходимо выбрать таким образом, что бы с одной стороны гарантировать нормальную работу блока при номинальной нагрузке, а с другой – начать ограничивать ток при как можно меньшей перегрузке.

Номинальный ток первичной цепи в худшем случае составляет:

$$I_{TV1.1} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{OUT}}}{\eta \cdot f_{\text{MIN}} \cdot L_{TV1.1}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6}{0.85 \cdot 90.6 \cdot 10^3 \cdot 3.91 \cdot 10^{-3}}} \Gamma_H = 0.2 \text{ A} \quad (7.42)$$

При этом токе напряжение на входе ограничения тока контроллера (вывод 3) не должно превышать нижнего порога уровня срабатывания токовой защиты ( $U_{\text{PIN3(MIN)}}$  равно 0.9В). То есть максимальное значение резистора R26 составит:

$$R_{26} < \frac{U_{PIN3(MIN)}}{I_{TV1.1}} = \frac{0.9}{0.2} = 4.5 \text{ Ом} \quad (7.43)$$

Выбираем резистор номиналом 3.9 Ом. В номинальном режиме на резисторе датчика тока будет рассеиваться мощность:

$$P_{R_{26}} = I_{TV1.1}^2 \cdot R_{26} = \frac{0.9}{0.2} = 0.09^2 \cdot 3.9 \text{ Вт} = 3.159 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} = 31.59 \text{ мВт} \quad (7.44)$$

Видим что можно использовать любой резистор начиная от типоразмера 0805, остановимся на уже используемых RC-1206.

Цепочка R21, C8 служит для подавления выброса на токовом сигнале от форсированного заряда паразитной ёмкости трансформатора. Этот выброс никак не влияет на работу токовой защиты, но успешно сбивает контроллер, работающий в токовом режиме. Абсолютные величины резистора и конденсатора не критичны в разумных пределах, как правило, резистор R21 выбирают в пределах 300-1000 Ом. Выбираем R21 равным 470 Ом, а ёмкость конденсатора C8 370 пФ.

При подаче входного напряжения конденсатор C6 начинает медленно заряжаться через резисторы R16, R19, R20. В этот момент чип потребляет совсем незначительный ток, поскольку его внутренние схемы отключены внутренней схемой. Мы должны выбрать эти резисторы так, чтобы гарантированно обеспечить этот первоначальный ток. По требованиям стандартов электробезопасности этих резисторов обязательно должно быть два – при выходе любого элемента из строя мы обязаны иметь ограниченный ток.

При минимальном входном напряжении сумма этих резисторов должна обеспечить ток запуска UC3844A –  $I_{START}$  равный 0.5 мА, при этом напряжение на микросхеме должно подняться до напряжения старта чипа  $U_{START}$  17.5 В. Соответственно:

$$R \leq \frac{U_{ПИТ(MIN)} - U_{START}}{I_{START}} = \frac{249 - 17.5}{0.5} \text{ Ом} = 2.14 \cdot 10^5 \text{ Ом} = 214 \text{ кОм} \quad (7.45)$$

С небольшим запасом примем сопротивление 200 кОм. При максимальном входном напряжении будет рассеиваться мощность:

$$P_R = \frac{(U_{ПИТ(MAN)} - 14.5)^2}{R} = \frac{(373 - 14.5)^2}{200 \cdot 10^3} Ом = 0.64 Вт \quad (7.46)$$

Два резистора RC-1206 суммарно могут рассеять только 0.5Вт. Поэтому ставим 3 резистора RC-1206 номиналом 68кОм.

В качестве выходных диодов при низких выходных напряжениях рационально использовать диоды Шоттки, как обладающие низким прямым падением напряжения и отличными частотными свойствами.

Обратное напряжение на выходном диоде будет складываться из выходного напряжения и «отраженного» на вторичную сторону входного напряжения:

$$U_{VD} = \frac{U_{ПИТ(MAX)}}{K} + U_{OUT} \quad (7.47)$$

где  $K$  – коэффициент трансформации.

В свою очередь коэффициент трансформации равен:

$$K_N = \sqrt{\frac{L_{TV1.1}}{L_{TV1.N}}} \quad (7.48)$$

где  $L_{TV1.N}$  – индуктивность вторичной обмотки.

По формулам (7.47) и (7.48) получаем следующие значения обратного напряжения на выходных диодах:

$$U_{VD8} = \frac{U_{ПИТ(MAX)}}{\sqrt{\frac{L_{TV1.1}}{L_{TV1.3}}}} + U_{OUT} = \frac{373}{\sqrt{\frac{3.88 \cdot 10^{-3}}{25.51 \cdot 10^{-6}}}} + 5B = 35.2B \quad (7.47)$$

$$U_{VD9} = \frac{U_{ПИТ(MAX)}}{\sqrt{\frac{L_{TV1.1}}{L_{TV1.4}}}} + U_{OUT} = \frac{373}{\sqrt{\frac{3.88 \cdot 10^{-3}}{102.06 \cdot 10^{-6}}}} + 15B = 74.5B \quad (7.47)$$

$$U_{VD10} = \frac{U_{ПИТ(MAX)}}{\sqrt{\frac{L_{TV1.1}}{L_{TV1.4}}}} + U_{OUT} = \frac{373}{\sqrt{\frac{3.88 \cdot 10^{-3}}{212.94 \cdot 10^{-6}}}} + 15B = 102.4B \quad (7.47)$$

$$U_{VD11} = \frac{U_{ПИТ(MAX)}}{\sqrt{\frac{L_{TV1.1}}{L_{TV1.2}}}} + U_{OUT} = \frac{373}{\sqrt{\frac{3.88 \cdot 10^{-3}}{11.34 \cdot 10^{-6}}}} + 5B = 25.165B \quad (7.47)$$

Диоды VD5 и VD8 возьмём 30BQ060 (60В, 3А). Диод VD6 – 10MQ100N (100В, 1.5А). Диод VD7 – 50SQ100.

Конденсаторы выходных фильтров.

Оценим минимально рекомендуемую ёмкость конденсаторов:

$$C_{U1} = \frac{25}{f^2 \cdot L_{TV1.2}} = \frac{25}{(100 \cdot 10^3)^2 \cdot 11.34 \cdot 10^{-6}} \Phi = 2.2046 \cdot 10^{-4} \Phi = 220.46 \text{ мкФ} \quad (7.48)$$

$$C_{U2} = \frac{25}{f^2 \cdot L_{TV1.3}} = \frac{25}{(100 \cdot 10^3)^2 \cdot 25.51 \cdot 10^{-6}} \Phi = 9.8 \cdot 10^{-5} \Phi = 98 \text{ мкФ} \quad (7.49)$$

$$C_{U3} = \frac{25}{f^2 \cdot L_{TV1.4}} = \frac{25}{(100 \cdot 10^3)^2 \cdot 102.06 \cdot 10^{-6}} \Phi = 2.449 \cdot 10^{-5} \Phi = 24.49 \text{ мкФ} \quad (7.50)$$

$$C_{U4} = \frac{25}{f^2 \cdot L_{TV1.5}} = \frac{25}{(100 \cdot 10^3)^2 \cdot 212.94 \cdot 10^{-6}} \Phi = 1.174 \cdot 10^{-5} \Phi = 11.74 \text{ мкФ} \quad (7.51)$$

Среднеквадратичное значение тока через выходной конденсатор найдём как:

$$I_{CU1\partial} = \sqrt{I_{TV1.2\partial}^2 - I_1^2} = \sqrt{0.88^2 - 0.4^2} \text{ А} = 0.784 \text{ А} \quad (7.52)$$

$$I_{CU2\partial} = \sqrt{I_{TV1.3\partial}^2 - I_2^2} = \sqrt{0.39^2 - 0.2^2} \text{ А} = 0.33 \text{ А} \quad (7.53)$$

$$I_{CU3\partial} = \sqrt{I_{TV1.4\partial}^2 - I_3^2} = \sqrt{0.275^2 - 0.133^2} \text{ А} = 0.24 \text{ А} \quad (7.54)$$

$$I_{CU4\partial} = \sqrt{I_{TV1.5\partial}^2 - I_4^2} = \sqrt{0.134^2 - 0.067^2} \text{ А} = 0.11 \text{ А} \quad (7.55)$$

В качестве конденсатора  $C_{U1}$  (C16, C18) поставим два параллельно включенных конденсатора SR 470 мкФ 16В размера 8x14. Конденсатор  $C_{U2}$  (C13, C17) – два параллельно включенных конденсатора SR 220 мкФ 16В размера 6.3x12. Конденсатор  $C_{U3}$  (C15) – SR 33 мкФ 25В размера 5x11. Конденсатор  $C_{U4}$  (C14) – SR 22 мкФ 25В размера 5x11.

Пульсация на выходных конденсаторах складывается из собственно процесса перезаряда ёмкости и из падения напряжения на эквивалентном последовательном сопротивлении  $R_{ESR}$ . Для конденсатора  $C_{U1}$  её величину можно оценить как:

$$\Delta U_{CU1} = \frac{I_1 \cdot t_{on}}{C_{U1}} + I_{TV1.2} \cdot R_{ESR} \quad (7.56)$$

По формуле (7.56) получаем:

$$\Delta U_{CU1} = \frac{I_1 \cdot t_{on}}{C_{U1}} + I_{TV1.2} \cdot R_{ESRC8} = \frac{0.4 \cdot 4.28 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 470 \cdot 10^{-6}} + 0.88 \cdot \frac{0.48}{2} B = 0.213B \quad (7.57)$$

$$\Delta U_{CU2} = \frac{I_2 \cdot t_{on}}{C_{U2}} + I_{TV1.3} \cdot R_{ESRC9} = \frac{0.2 \cdot 4.28 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 220 \cdot 10^{-6}} + 0.39 \cdot \frac{1.02}{2} B = 0.2B \quad (7.58)$$

$$\Delta U_{CU3} = \frac{I_3 \cdot t_{on}}{C_{U3}} + I_{TV1.4} \cdot R_{ESRC10} = \frac{0.133 \cdot 4.28 \cdot 10^{-6}}{33 \cdot 10^{-6}} + 0.24 \cdot 6.3B = 1.53B \quad (7.59)$$

$$\Delta U_{CU4} = \frac{I_4 \cdot t_{on}}{C_{U4}} + I_{TV1.5} \cdot R_{ESRC11} = \frac{0.067 \cdot 4.28 \cdot 10^{-6}}{22 \cdot 10^{-6}} + 0.134 \cdot 9.04B = 1.22B \quad (7.60)$$

В качестве усилителя ошибки используется интегральная микросхема TL431. Логика работы данной микросхемы заключается в следующем. Пока напряжение на управляющем электроде не превышает опорного напряжения (для основной серии  $V_{Ref} = 2.5V$ ), ток через микросхему не течет. По достижении опорного напряжения TL431 начинает пропускать через себя ток с очень высоким коэффициентом усиления. Соответственно, делитель на резисторах R30, R31 настраивается таким образом, чтобы при номинальном выходном напряжении напряжение на управляющем электроде в точности соответствовало опорному.

Сначала выбирается резистор R30. Его сопротивление не должно быть слишком большим, что бы минимизировать утечку тока в управляющий электрод (4мкА максимум), и не слишком малым, что бы облегчить коррекцию петли обратной связи. Обычно используют R30 равный 10кОм.

Теперь можно посчитать требуемое сопротивление резистора R31:

$$R31 = \frac{R30 \cdot (U_1 - U_{Ref})}{U_{Ref}} = \frac{10000 \cdot (5 - 2.5)}{2.5} Ом = 10000 Ом = 10 кОм \quad (7.61)$$

## 8 Разработка программного обеспечения

### 8.1 Алгоритм работы высоковольтного источника питания

Внутренняя программа МК является основной программной, которая будет осуществлять основные действия в управлении высоковольтным источником. На рисунке 8.1 показан принцип работы данного программного модуля.

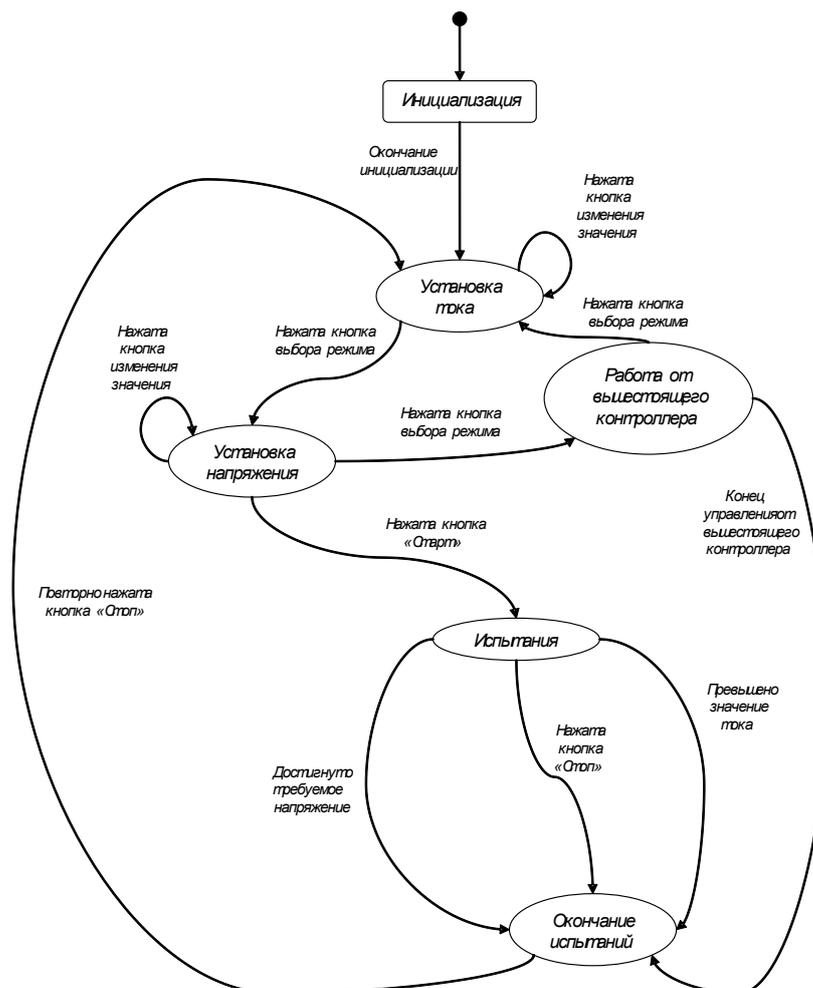


Рис. 8.1 – Алгоритм программы управления микроконтроллера

В состоянии инициализации происходит настройка портов ввода/вывода, установка масок прерываний, загрузка необходимых параметров, например таких, как период счета и режим работы таймеров/счетчиков.

По событию «Окончание инициализации» происходит переход в состояние «Установка тока». В этом состоянии происходит установка порогового значения тока с помощью кнопок увеличения и уменьшения значений.

По событию «Нажата кнопка выбора режима» происходит циклический переход между состояниями установки напряжения, работы от вышестоящего контроллера и установки тока. В состоянии установки напряжения задаётся значение напряжения, которое будет действовать на выходе устройства. В состоянии работы от вышестоящего контроллера настройка всех параметров и управление работой устройства осуществляется им.

Из состояния установки тока по событию «Нажата кнопка Старт» происходит переход в состояние испытания. В этом состоянии происходит индикация о том, что на выходе прибора имеется опасное напряжение, происходит слежение и индикация значений тока и напряжения, подаются необходимые управляющие сигналы.

Переход в состояние окончания испытания может произойти по событиям превышения значения тока, нажатию кнопки «Стоп», либо при достижении необходимого напряжения. При этом прекращается подача управляющих сигналов. При снижении уровня выходного напряжения прекращается информирование об опасном напряжении, на индикаторы выводится информация о напряжении и токе пробоя. При повторном событии нажатия кнопки «Стоп» происходит переход в состояние установки тока.

Программная часть заключается в программировании МК. Программный код состоит из отображения данных на индикаторе, измерения уровней тока и напряжения, управления ШИМ – контроллером и организации связи с персональной ЭВМ посредством интерфейсов RS232 и RS485. Пример кода представлен в приложении Б.

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



Институт	Кибернетики
Направление подготовки (специальность)	230101 Вычислительные машины комплексы системы и сети
Уровень образования	Специалисты
Кафедра	Вычислительной техники
Период выполнения	(осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-8302	Митроев Игорь Викторович

Тема работы:

Разработка высоковольтного источника питания для испытания изоляции на пробой	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	

Форма представления работы:

<b>Дипломный проект</b>
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### ЗАДАНИЕ

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. <i>Стоимость ресурсов разработки: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Определение трудоемкости выполнения работ</i>	<i>Оценка трудоемкости выполнения проекта. Полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с выполнением проекта. Рассчитанная величина затрат разработки является основой для формирования бюджета затрат проекта.</i>
2. <i>Стоимость разработки</i>	
3. <i>Оценка экономической эффективности инженерных решений</i>	
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</b>	
1. <i>Технология Quad</i>	
2. <i>Временные показатели проведения научного исследования</i>	
3. <i>Основные показатели эффективности инженерного проекта</i>	

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8302	Митроев Игорь Викторович		

## 9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 9.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

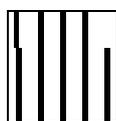
Например, сегментировать рынок по изготовлению высоковольтного источника питания можно по следующим критериям: размеры источника питания, выполняемые функции (рис. 9.1).

		Функции		
		ИПВ с питанием от АБ	ИПВ со связью с персональной ЭВМ	ИПВ с выходным напряжением 100 кВ и боле
Размеры устройства	Крупные	Испытательные лаборатории, исследовательские институты, заводы		Производства по изготовлению высоковольтных кабелей
	Средние			
	Мелкие			

Рис. 9.1 – Карта сегментирования рынка по разработке ИС



Испытательные лаборатории, исследовательские институты, заводы



Производства по изготовлению высоковольтных кабелей

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке услуг по разработке ИПВ не заняты конкурентами. Следовательно, выбираем малогабаритный ИПВ со связью с персональной ЭВМ и выходным напряжением 100 кВ.

## 9.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Далее в качестве конкурентов рассматриваются установка для испытания силовых кабелей АИД-70/50 и испытательная установка УВИ-50.

Данный анализ с помощью оценочной карты приведен в табл. 9.1

Таблица 9.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,14	4	3	3	0,56	0,42	0,42
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,08	4	2	3	0,32	0,16	0,24
3. Надежность	0,11	4	3	4	0,44	0,33	0,44
4. Безопасность	0,13	5	3	3	0,65	0,39	0,39
5. Уровень шума	0,01	3	4	3	0,03	0,04	0,03
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	4	2	3	0,16	0,08	0,12
7. Простота эксплуатации	0,06	4	4	3	0,24	0,24	0,18
8. Связь с персональной ЭВМ	0,13	5	1	1	0,65	0,13	0,13

Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,02	4	4	3	0,08	0,08	0,06
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	2	3	5	0,06	0,09	0,15
3. Цена	0,11	4	2	2	0,44	0,22	0,22
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	2	3	0,28	0,14	0,21
5. Послепродажное обслуживание	0,05	4	2	1	0,2	0,1	0,05
6. Финансирование научной разработки	0,02	4	3	2	0,08	0,06	0,04
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>4,19</b>	<b>2,48</b>	<b>2,68</b>

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 9.1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (9.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, можно сделать вывод: уязвимость продукции конкурентов обусловлена отсутствием связи с персональной ЭВМ, что является преимуществом в данной разработке. Преимуществом также является повышение производительности труда пользователя и удобство в эксплуатации.

### 9.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский

проект.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Технология QuaD показана в табличной форме (табл. 9.2).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 9.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,14	100	100	1	14
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,08	95	100	0,95	7,6
3. Надежность	0,11	90	100	0,9	9,9
4. Безопасность	0,13	90	100	0,9	11,7
5. Уровень шума	0,01	20	100	0,2	0,2
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	70	100	0,7	2,8
7. Простота эксплуатации	0,06	80	100	0,8	4,8
8. Связь с персональной ЭВМ	0,13	100	100	1	13
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
1. Конкурентоспособность продукта	0,02	70	100	0,7	1,4
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	60	100	0,6	1,8
3. Цена	0,11	80	100	0,8	8,8
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	80	100	0,8	5,6
5. Послепродажное обслуживание	0,05	80	100	0,8	4
6. Финансирование научной разработки	0,02	60	100	0,6	1,2

<b>Итого</b>	1				86,8
--------------	---	--	--	--	------

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i \quad (9.2)$$

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

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Так как значение показателя  $P_{cp}$  получилось от 100 до 80, то данная разработка считается перспективной.

#### **9.4 Определение возможных альтернатив проведения исследований**

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

Реализация метода предусматривает следующие этапы:

1. Точная формулировка проблемы исследования.
2. Раскрытие всех важных морфологических характеристик объекта исследования.
3. Раскрытие возможных вариантов по каждой характеристике. В рамках этого этапа составляется морфологическая матрица. Морфологическая матрица для ИС приведена в табл. 9.3.

Таблица 9.3 – Морфологическая матрица для ИС

	1	2	3	4	5
1. Питание от АБ	Да	Нет			
2. Микроконтроллер	Atmega 32	Atmega16	STM 32	STM 16	PIC 8
3. Выходное напряжение	до 50 кВ	до 60 кВ	до 70 кВ	до 85 кВ	до 100 кВ
4. Наличие связи с персональной ЭВМ	Да	Нет			
5. Конденсаторы используются для построения УН	K15-5	DEHR33A-472KA3B			

Выбор наиболее желательных функционально конкретных решений. На этом этапе описываются возможные варианты решения поставленной проблемы с позиции ее функционального содержания и ресурсосбережения. Для данной матрицы это – (1:2; 2:2; 3:5; 4:1; 5:1).

## 9.5 Организация и планирование работ

### 9.5.1 Структура работ в рамках проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 9.4.

Таблица 9.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя/загрузка исполнителя
1. Выбор темы	1	Выбор и согласование темы	Руководитель – 100% инженер – 30%
2. Разработка технического задания	2	Мониторинг информации	Инженер – 100%
	3	Обсуждение с руководителем	Руководитель – 100% инженер – 20%
	4	Составление и утверждение технического задания	Руководитель – 100% инженер – 30%

3. Теоретическая часть	5	Анализ предметной области	Инженер – 100%
	6	Сбор требований	Инженер – 100%
	7	Согласование с руководителем	Руководитель – 100% инженер – 20%
	8	Мониторинг информации для практической части	Инженер – 100%
4. Проектирование научной разработки	9	Проектирование структурной схемы	Инженер – 100%
	10	Проектирование принципиальной схемы	Инженер – 100%
	11	Согласование с руководителем	Руководитель – 100% инженер – 20%
5. Разработка высоковольтного источника питания	12	Выбор элементной базы	Инженер – 100%
	13	Выбор языка программирования микроконтроллера	Инженер – 100%
	14	Согласование с руководителем	Руководитель – 100% инженер – 20%
	15	Программирование микроконтроллера	Руководитель – 100% инженер – 60%
6. Документирование	16	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер – 100%

### 9.5.2 Продолжительность этапов работ

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

Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности  $t_{\text{ож}i}$  используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5} \quad (9.3)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая продолжительность выполнения  $i$ -ой работы, дн.;

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

$t_{\max i}$  – максимально возможная продолжительность выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях а затем перевести её в календарные дни. Расчёт продолжительности работ выполнения каждого этапа осуществляется по следующей формуле:

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{\text{ож}i}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}} \quad (9.4)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – продолжительность одной работы, дн.;

$K_{\text{вн}}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности  $K_{\text{вн}} = 1$ .

$K_{\text{д}}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ, в частности  $K_{\text{д}} = 1$ .

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (табл. 9.6).

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

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{рд}} \cdot k_{\text{кал}} \quad (9.5)$$

где  $T_{\text{кд}}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 105 - 14} = \frac{365}{246} = 1,484 \quad (9.6)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу (9.5).

Таблица 9.5 – Трудозатраты на выполнение проекта

Название работы	Продолжительность работ, дни			Трудоёмкость работ по исполнителям чел.-дн.			
	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ожг}}$	$T_{\text{рд}}$		$T_{\text{кд}}$	
				Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1. Выбор и согласование темы	4	6	4,8	4,8	1,44	7,12	2,14
2. Мониторинг информации	10	12	10,8	–	10,8	–	16,03
3. Обсуждение с руководителем	2	3	2,4	2,4	0,48	3,56	0,71
4. Составление и утверждение технического задания	3	5	3,8	3,8	1,14	5,64	1,69
5. Анализ предметной области	4	5	4,4	–	4,4	–	6,53
6. Сбор требований	3	4	3,4	–	3,4	–	5,05
7. Согласование с руководителем	2	3	2,4	2,4	0,48	3,56	0,71
8. Мониторинг информации для практической части	6	8	6,8	–	6,8	–	10,09
9. Проектирование структурной схемы	4	6	4,8	–	4,8	–	7,12
10. Проектирование принципиальной схемы	6	10	7,6	–	7,6	–	11,28
11. Согласование с руководителем	2	3	2,4	2,4	0,48	3,56	0,71
12. Выбор элементной базы	1	2	1,4	–	1,4	–	2,08
13. Выбор языка программирования микроконтроллера	1	2	1,4	–	1,4	–	2,08
14.Согласование с	2	3	2,4	2,4	0,48	3,56	0,71

руководителем							
15. Программирование микроконтроллера	4	6	4,8	4,8	2,88	7,12	4,27
16. Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	10	12	10,8	–	10,8	–	16,03
<b>Итого:</b>			74,4	23	58,78	27,01	73,96

На основе табл. 9.5 построим календарный план-график с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. (табл. 9.6)

Таблица 9.6 – Линейный график работ

№ ра б	Вид работ	$T_{кл}$		Продолжительность выполнения работ													
		НР	И	февраль			март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Выбор и согласование темы	7,12	2,14	■													
2	Мониторинг информации	–	16,03		■	■	■										
3	Обсуждение с руководителем	3,56	0,71				■										
4	Составление и утверждение технического задания	5,64	1,69				■	■									
5	Анализ предметной области	–	6,53				■	■	■								
6	Сбор требований	–	5,05					■	■								
7	Согласование с руководителем	3,56	0,71						■								
8	Мониторинг информации для практической части	–	10,09							■	■	■					
9	Проектирование	–	7,12										■				



## 9.6 Расчёт сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

### 9.6.1 Расчет затрат на материалы

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, показаны в таблице 9.7

Таблица 9.7 – Материальные затраты

Материалы	Единица измерения	Потребляемое количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1. Микроконтроллер	шт.	1	85	85
2. Микросхемы	шт.	11	28,35	311,85
3. Резисторы	шт.	95	0,5	47,5
4. Конденсаторы	шт.	105	2	210
5. Диоды	шт.	86	25	2150
6. Транзисторы	шт.	8	23	184
7. Корпус	шт.	1	5500	5500
8. Припой	гр.	20	3,6	72
9. Печатные платы	шт.	1	1200	1200
10. Канифоль	гр.	20	1,15	23
11. Спирт этиловый	л.	0,05	110	5,5

<b>Общая стоимость материалов</b>	9788,85
Транспортные расходы 5%	489,44
<b>Всего</b>	10278,29

### **9.6.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

К затратам на статью «Спецоборудование», для ведения научных и экспериментальных работ, относятся затраты на приобретение или аренду специализированных приборов, аппаратов, станков, стенов и т.д.

Необходимое оборудование, используемое при разработке, а также расходы необходимые для аренды либо покупки оборудования, приведены в таблице 9.8.

Таблица 9.8 – Расчётные значения арендных расходов

<b>Вид оборудования</b>	<b>Цена одного часа аренды, руб.</b>	<b>Общее время работы, часов</b>	<b>Стоимость аренды, руб.</b>
Персональный компьютер	15	150	2250
Осциллограф	20	20	400
Паяльная станция	15	20	300
Мультиметр	5	20	100
Блок питания	15	70	1050
<b>Общая стоимость аренды</b>			<b>4100</b>

### **9.6.3 Основная заработная плата исполнителей темы**

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме.

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями («Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

$З/п = \text{оклад} + \text{стимулирующие выплаты} + \text{районный коэффициент} = 23264,86 + 3000 + 6979,46 = 33244,26$  руб. С учётом продолжительности работ 132977,04 руб.

Основная заработная плата инженера рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад в соответствии с полученной категорией (Высшая, первая, вторая).

2) премиальные выплаты.

3) районный коэффициент.

$З/п = \text{оклад} + \text{премиальные выплаты} + \text{районный коэффициент} = 6600 + 6875 + 1980 = 15455$  руб. С учётом продолжительности работ 61820 руб.

#### **9.6.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы**

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (9.7)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата руководителя при  $k_{\text{доп}}=0,12$ :

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 * 132977,04 = 15957,24 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата пдо при  $k_{\text{доп}}=0,12$ :

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 * 61820 = 7418,4 \text{ руб.}$$

### 9.6.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (9.8)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме (таблица 9.9).

Таблица 9.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	132977,04	15957,24
Студент-дипломник	61820	7418,4
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды		30%
<b>Всего отчислений</b>		
$Z_{\text{внеб1}} = 30\% \cdot (132977,04 + 15957,24) = 44680,28$ $Z_{\text{внеб2}} = 30\% \cdot (61820 + 7418,4) = 20771,52$ $Z_{\text{внеб}} = Z_{\text{внеб1}} + Z_{\text{внеб2}} = 40361,19 + 18763,61 = 65451,8$		

### 9.6.6 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов. Затраты на научные и производственные командировки отсутствуют.

### 9.6.7 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками. Затраты на контрагентные расходы отсутствуют.

### 9.6.8 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} \quad (9.9)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы представлены в табличной форме (9.10).

Таблица 9.10 – Накладные расходы

Наименование статей	Сумма, руб.
1. Затраты на материалы	10278,29
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	4100
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	132977,04
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15957,24
5. Отчисления во внебюджетные фонды	65451,8
6. Затраты на научные и производственные командировки	0
7. Контрагентские расходы	0
Сумма статей	228764,37
Коэффициент, учитывающий накладные расходы	16%
<b>Величина накладных расходов</b>	
36602,3	

### 9.6.9 Расчёт себестоимости разработки

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 9.11.

Таблица 9.11 – Смета затрат на разработку проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Затраты на материалы	10278,29	Пункт 9.7.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	4100	Пункт 9.7.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	132977,04	Пункт 9.7.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15957,24	Пункт 9.7.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	65451,8	Пункт 9.7.5
6. Затраты на научные и производственные командировки	0	Пункт 9.7.6
7. Контрагентские расходы	0	Пункт 9.7.7
8. Накладные расходы	36602,3	Пункт 9.7.8
<b>9. Общая стоимость</b>	<b>265366,67</b>	<b>Сумма ст. 1- 8</b>

#### 9.6.10 Расчёт прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Прибыль следует принять в размере 20% от полной себестоимости проекта. В нашем случае она составляет 53073,33 руб.

### 9.6.11 Расчёт НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это  $(265366,67 + 53073,33) * 0,18 = 318440,0 * 0,18 = 57319,2$  руб.

### 9.6.12 Цена разработки проекта

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$Ц_{РАЗ} = 265366,67 + 53073,33 + 57319,2 = 375759,2 \text{ руб.}$$

## 9.7 Оценка экономической эффективности проекта

Экономическая эффективность это соотношение между полученными результатами проекта, с одной стороны, и затратами труда и средств производства с другой. Экономическая эффективность реализации проекта является актуальным аспектом качества выполненного проекта.

В результате анализа разрабатываемого устройства были выделены следующие эффекты:

1. Устройство имеет связь с персональной ЭВМ, следовательно, у оператора есть возможность не находится в непосредственной близости с силовой частью прибора. Этот эффект приводит к повышению уровня техники безопасности, что приводит к уменьшению затрат на её организацию.

2. Устройство имеет возможность ручной транспортировки. Оператор имеет возможность перенести устройство непосредственно к месту проведения испытаний. Это позволяет проводить проверку качества изоляции недвижимым изделиям, что приводит к уменьшению стоимости проведения испытаний.

3. Выходное напряжение прибора 100кВ. Настолько высокое выходное напряжение устройства может потребоваться для проверки запаса прочности высоковольтных кабелей.

4. В качестве отображения параметров использование цифрового индикатора. Это позволяет обеспечивать более точный контроль выходного напряжения. Таким образом исключаются субъективные погрешности, которые вызываются неправильными отсчетами показаний прибора человеком.

Для объективной оценки экономической эффективности необходимо провести специальное исследование непосредственно на объекте где будет применяться устройство.

### 9.8 Оценка научно-технического уровня разработки

Научно-технический уровень характеризует влияние проекта на уровень и динамику обеспечения научно-технического прогресса в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта используется метод балльных оценок. Балльная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям. На ее основе делается вывод о целесообразности разработки.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется интегральный показатель (индекс) ее научно-технического уровня по формуле:

$$I_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i \quad (9.10)$$

где  $I_{НТУ}$  – интегральный индекс научно-технического уровня

$R_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;

$n_i$  – количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

## 9.12 – Оценки научно-технического уровня разработки

Значимость	Фактор НТУ	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
0,4	Уровень новизны	Относительно новая	4	Облегчит проведение высоковольтных испытаний качества изоляции. Повысит уровень техники безопасности.
0,4	Теоретический уровень	Разработка способа	6	Разработка принципиальной схемы и программного обеспечения устройства
0,2	Возможность реализации	В течение первых лет	10	Быстрое наполнение базы клиентов

Отсюда интегральный показатель научно-технического уровня для нашего проекта составляет:

$$I_{\text{НТУ}} = 0,4*4 + 0,4*6 + 0,2*10 = 1,6 + 2,4 + 2 = 6$$

Таким образом, исходя из данных таблицы 9.13, данный проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

9.13 – Соответствие качественных уровней разработки значениям показателя рассчитываемого по формуле (9.10)

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

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



Институт	Кибернетики
Направление подготовки (специальность)	Вычислительные машины, комплексы, системы и сети (230101)
Уровень образования	Специалисты
Кафедра	Вычислительной техники
Период выполнения	(осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-8302	Митроев Игорь Викторович

Тема работы:

Разработка высоковольтного источника питания для испытания изоляции на пробой	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	

Форма представления работы:

<b><i>Дипломный проект (работа)</i></b> (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)
---

### ЗАДАНИЕ

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<i>1. Высоковольтный источник питания с выходным напряжением 100кВ. Применяется для проведения высоковольтных испытаний качества изоляции кабелей и приборов.</i>	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>1. Производственная безопасность</i> <i>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации устройства:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– требования к микроклимату;</li> <li>– требования к уровню шума;</li> <li>– расчёт освещенности;</li> <li>– требования к защите от электромагнитного излучения.</li> </ul> <i>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации устройства:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– требования к электробезопасности;</li> <li>– мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.</li> </ul>	<i>Определение круга опасных и вредных производственных факторов и их дальнейший анализ.</i>
<i>2. Экологическая безопасность</i>	<i>Провести анализ основных проблем окружающей среды.</i>
<i>3. Техника безопасности</i> <i>3.1 Общие требования безопасности</i> <i>3.2 Требования безопасности перед началом</i>	<i>Привести требования к технике безопасности при работе с устройством.</i>

<i>работы, во время и по окончании работ</i>	
<i>4. Требования безопасности в чрезвычайных ситуациях</i>	<i>Описать действия при возникновении чрезвычайных ситуаций.</i>
<i>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</i>	<i>Описание организации рабочего места оператора.</i>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Извеков Владимир Николаевич	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8302	Митроев Игорь Викторович		

## **10 Социальная ответственность**

В последние годы все большее значение приобретают требования к социальной стороне деятельности организаций. Это в равной мере относится к организациям всех типов, размеров и форм собственности.

Понятие о социальной ответственности организаций включает в себя производство продукции и оказание услуг надлежащего качества, удовлетворение интересов потребителей, соблюдение прав персонала на труд, выполнение требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности и охране окружающей среды, ресурсосбережению.

Раздел «Социальной ответственности» освещает вопросы безопасности и организации труда. Основным стандартом в сфере социальной ответственности является принятый в 2011г. ICCSR26000:2011 «Социальная ответственность организации»

### **Введение**

ИПВ для проверки изоляции на пробой планируется использовать для высоковольтных испытаний изоляции электрических кабелей, твёрдых диэлектриков, защитных средств, изоляции электрических аппаратов. Испытание "на проход" высоким напряжением является основным способом контроля качества электрической полимерной изоляции.

Характер и организация трудовой деятельности оказывают существенное влияние на изменение функционального состояния организма человека. Многообразные формы трудовой деятельности делятся на физическую и умственную. Физический труд характеризуется в первую очередь повышенной нагрузкой на опорно-двигательный аппарат и его функциональные системы. Умственный труд объединяет работы, связанные с приёмом и переработкой информации, требующей преимущественного напряжения сенсорного аппарата, внимания, памяти.

С развитием техники и широким внедрением механизации и автоматизации производственных процессов уменьшается роль физического

труда человека, однако, возрастает роль умственной нагрузки и возникает проблема нервного утомления.

В процессе работы возможно возникновение опасностей, связанных как с наличием неисправностей в технических устройствах, так и с неправильными действиями человека при их использовании. Поэтому необходимо предусматривать технические и организационные мероприятия, призванные сделать труд более безопасным.

Для снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов на инженера во время работы в первую очередь необходимо провести их тщательный анализ.

### **10.1 Производственная безопасность**

Стандарты на требования и нормы по видам опасных и вредных факторов рассматриваются в стандарте ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы», согласно которому по природе действия все факторы делятся на следующие группы:

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

При анализе существующей ситуации было установлено, что при разработке ИПВ существуют следующие вредные и опасные факторы (табл. 1)

Таблица 10.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке и эксплуатации ИПВ

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Разработка ИПВ 2) Разработка программы микроконтроллера; 3) Проведение испытаний прочности изоляции;	1. Отклонение показателей микроклимата; 2. Превышение уровней шума; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 4. Повышенная напряженность электрического поля.	1. Электрический ток.	Параметры микроклимата СанПиН 2.2.4-548-96. Уровни шума СН 2.2.4/2.18.562-96. Освещенность рабочей зоны СНиП 23-05-95. Напряженность электрического поля СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Электротехнические устройства на напряжение свыше 1000В ГОСТ 12.2.007.3-75.

## 10.2 Производственная санитария

### 10.2.1 Требования к микроклимату

Показателями, характеризующими микроклимат, являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха.

Оптимальные показатели микроклимата распространяются на всю рабочую зону, допустимые показатели устанавливаются дифференцированно для постоянных и непостоянных рабочих мест. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, указанным в таблицах 10.2-10.3.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономическим причинам не обеспечиваются оптимальные нормы.

В кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и других производственных помещениях при выполнении работ операторского типа, связанных с нервно-эмоциональным напряжением, должны соблюдаться оптимальные величины температуры воздуха 22-24 °С, его относительной влажности 40-60 % и скорости движения (не более 0,1 м/с). Перечень других производственных помещений, в которых должны соблюдаться оптимальные нормы микроклимата, определяется отраслевыми документами, согласованными с органами санитарного надзора в установленном порядке.

При обеспечении оптимальных показателей микроклимата температура внутренних поверхностей конструкций, ограждающих рабочую зону (стен, пола, потолка и др.), или устройств (экранов и т.п.), а также температура наружных поверхностей технологического оборудования или ограждающих его устройств не должны выходить более чем на 2 °С за пределы оптимальных величин температуры воздуха, установленных в таблице 10.2 для отдельных категорий работ. При температуре поверхностей ограждающих конструкций ниже или выше оптимальных величин температуры воздуха, рабочие места должны быть удалены от них на расстояние менее 1 м. Температура воздуха в рабочей зоне, измеренная на разной высоте и в различных участках помещений, не должна выходить в течение смены за пределы оптимальных величин, указанных в таблице 10.2 для отдельных категорий работ.

Таблица 10.2 – Оптимальные показатели температуры в рабочей зоне, согласно СанПиН 2.2.4-548-96

Период года	Категория работ	Температура, °С				
		Оптимальная	Допустимая			
			Верхняя граница		Нижняя граница	
			на рабочих местах			
постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных			
Холодный	Легкая - Ia	22-24	25	26	21	18
Теплый	Легкая - Ia	23-25	28	30	22	20

Таблица 10.3 – Оптимальные показатели влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне, согласно СанПиН 2.2.4-548-96

Относительная влажность		Скорость движения, м/с	
Оптимальная	Допустимая на рабочих местах	Оптимальная, не более	Допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных *
40-60	75	0,1	Не более 0,1
40-60	55 (при 28 °С)	0,1	0,1-0,2

При обеспечении оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от охлаждения от остекленных поверхностей оконных проемов, в теплый период года - от попадания прямых солнечных лучей.

Для поддержания в норме температуры и влажности применяется принудительная вентиляция. Кроме того, с её помощью удаляются вредные вещества, выделяющиеся в процессе работы.

На рабочем месте сборщика должна осуществляться искусственная вентиляция. Согласно санитарным нормам СНиП 2.04.05-86, для закрытых помещений с объемом на одного рабочего 20 м<sup>3</sup>/раб, обязательно наличие приточной вытяжной вентиляции, обеспечивающей подачу наружного воздуха в помещение в количестве не менее 30 м<sup>3</sup>/час.

В помещениях, воздух которых загрязнён вредными парами, газами или пылью, необходимо определённое количество приточного воздуха для разбавления вредных выделений до допустимых концентраций.

Вытяжку воздуха рекомендуется частично распределить в непосредственной близости от рабочих мест, связанных с монтажом.

### 10.2.2 Требования к уровню шума

Допустимые уровни шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки определены в СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 10.4.

Таблица 10.4 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса
	легкая физическая нагрузка
Напряженность легкой степени	80

Для конструкторской работы типичные уровни шума представлены в таблице 10.5.

Таблица 10.5 – уровни шума для конструкторской работы

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Творческая деятельность, конструирование и проектирование, программирование. Рабочие места в помещениях проектно-конструкторских бюро, программистов ЭВМ, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

При сопоставлении таблиц видно, что в помещении в котором производится конструкторская работа и работают ЭВМ, уровень шума равный 50 дБА не превышает предельно допустимый для легкой категории труда 80 дБа.

Шум ухудшает условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека. При его длительном воздействии на организм, происходят нежелательные изменения: снижается острота зрения и слуха, повышается кровяное давление, притупляется внимание. Сильный продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечнососудистой и нервной систем.

Учитывая тот факт, что шум оказывает неблагоприятное воздействие на процесс мышления и научной деятельности, в лаборатории уровень внутренних шумов снижен до минимума. Шумы, превышающие предельно допустимый уровень 80 дБ, отсутствуют. Кроме того, здание, в котором находится лаборатория, удалено от сильных источников шума: центральных улиц, автомобильных и железных дорог, аэропортов и т.д.

### 10.2.3 Расчёт освещенности

Особенность работы оператора ЭВМ состоит в том, что предъявляются очень высокие требования к освещённости помещения, так как необходимо внимательно следить за набором и исполнением программы. В помещении есть большое окно, поэтому в солнечные дни используется естественное освещение. Зимой и осенью темнеет рано, поэтому используется общее искусственное освещение.

К системам производственного освещения предъявляются следующие требования:

- соответствие уровня освещённости рабочих мест характеру выполняемой зрительной работы;
- достаточно равномерное распределение яркости на рабочих поверхностях и в окружающем пространстве;
- отсутствие резких теней, прямой и отраженной блёсткости (повышенной яркости светящихся поверхностей, вызывающей ослеплённость);
- постоянство освещённости во времени;
- оптимальная направленность излучаемого осветительными приборами светового потока;
- долговечность, экономичность, пожаро- и электробезопасность, эстетичность, удобство и простота эксплуатации.

Согласно СНиП 23-05-95, значения КЕО (коэффициента естественного освещения) при естественном и совместном освещении нормируются в зависимости от характеристики зрительной работы. Установлено восемь разрядов зрительной работы. В данном случае имеет место разряд 4Б: наименьший объект различения от 0,5 до 1 мм.

Предварительный расчет площади световых проёмов или проверочный расчет КЕО производится по формуле:

При боковом освещении:

$$\frac{S_0}{S_n} = \frac{e_n K_3 \eta_0}{\tau_0 r_1} \cdot K_{30} \quad (10.1)$$

где  $S_0$  – суммарная площадь световых проемов (в свету),  $S_0 = 12 \text{ м}^2$ ;

$S_{\text{п}}$  – площадь пола помещения,  $S_{\text{п}} = 100 \text{ м}^2$ ;

$e_{\text{н}}$  – нормированное значение КЕО;

$K_3$  – коэффициент запаса,  $K_3 = 1,3$ ;

$\eta_0$  – световая характеристика проема,  $\eta_0 = 20$ ;

$\tau_0$  – общий коэффициент пропускания,  $\tau_0 = 0,6$ ;

$r_1$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО за счет отражённого света,  $r_1 = 5$ ;

$K_{\text{зд}}$  – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями,  $K_{\text{зд}} = 1,5$ .

Выражая из формулы (10.1) нормированное значение и подставляя численные значения, получим:

$$e_{\text{н}} = \frac{12}{100} \cdot \frac{1,3 \cdot 20}{0,6 \cdot 5} \cdot 1,5 = 1,56.$$

Для работ средней точности необходимо  $e_{\text{н}} = 1,5$ , следовательно, естественного освещения достаточно для проведения необходимых работ.

Рассчитаем искусственное освещение, так как в зимнее время в конце рабочего дня уже темно для выполнения каких-либо работ.

Расчёт искусственного освещения в помещениях можно производить следующими четырьмя методами: точечным, ватт (по таблицам удельной мощности), графическим и методом коэффициента использования светового потока.

Метод коэффициента использования светового потока наиболее применим для расчета общего равномерного освещения помещений в условиях эксплуатации промышленных предприятий. При расчёте этим методом учитывается как прямой свет от светильника, так и свет, отражённый от стен и потолка:

Световой поток, создаваемый каждой из ламп, рассчитывается по формуле:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot \eta} \quad (10.2)$$

где  $E$  – минимальная освещённость, лк;

$F$  – световой поток одной лампы, лм;

$\eta$  - коэффициент использования осветителей, %;

$z$  – поправочный коэффициент (для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1);

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$k$  – коэффициент запаса;

$n$  – число ламп в светильнике.

Величина коэффициента использования зависит от отражающей способности стен, потолка, рабочей поверхности и пола. Примем коэффициенты отражения от стен и потолка равными 70% и 50% соответственно.

Коэффициент использования может быть определен по известному индексу помещения  $i$  определяемому как:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} \quad (10.3)$$

где  $A$  - ширина помещения (10 м);

$B$  - длина помещения (10 м);

$h$  – расчётная высота подвеса светильников.

$$h = H - h_p - h_e \quad (10.4)$$

где  $h_p$  – высота рабочей поверхности, примем ее 0,8 м;

$h_e$  – расстояние от потолка до светильника, примем его 0,1 м.

$H$  – общая высота помещения, 3,5 м.

$$h = 3,5 - 0,8 - 0,1 = 2,6 \text{ м.}$$

Тогда:

$$i = \frac{100}{2,6 \cdot (10 + 10)} = 1,92,$$

По таблице, приведённой в методических указаниях, определяем, что  $\eta = 60\%$ .

Коэффициент запаса для ламп типа ЛБ примем равным 1,1.

Световой поток одной лампы равен:

$$F = \frac{300 * 100 * 0,9 * 1,1}{10 * 0,60} = 4950 \text{ лк.}$$

(При минимальной освещенности  $E=300$  лк).

Исходя из полученного результата, выберем лампу ЛБ-80 (значение её светового потока равно 5200 лк).

Теперь рассчитаем значение освещённости в связи с выбранной лампой и значением светового потока  $F=5200$  лк (при количестве ламп  $N=10$ ):

Выразим из формулы (10.2) нормированную освещённость

$$E = \frac{N * F * \eta}{S * K * Z} \quad (10.5)$$

$$E = \frac{10 * 5200 * 0,60}{100 * 1,1 * 0,9} = 316 \text{ лк.}$$

Из приведенных выше расчётов видно, что освещённость рассматриваемого помещения находится в диапазоне оптимального освещения. Это означает, что мощность и количество осветительных приборов для данного помещения выбраны правильно.

#### **10.2.4 Требования к защите от электромагнитного излучения**

Применительно к вычислительной технике, нормы излучений видеомониторов ПЭВМ устанавливает ГОСТ 28406-89 «Персональные электронные вычислительные машины. Интерфейсы видеомониторов. Общие требования». Согласно этому документу, мощность дозы рентгеновского излучения в любой точке пространства на расстоянии 5 см от экрана видеомонитора не должна превышать 100 мкР/час. Помимо этого, видеомонитор должен быть оборудован поворачивающейся площадкой, позволяющей его перемещать в горизонтальных и вертикальных плоскостях в пределах (130 плюс-минус 22) мм и изменять угол наклона на 10-15°.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, напряжённость электрической составляющей переменного электромагнитного поля на расстоянии 50 см от экрана дисплея (40 см от центра клавиатуры портативного компьютера) не должна превышать 25 В/м - в диапазоне 5 Гц-2 кГц и 2,5 В/м - в диапазоне (2-

400) кГц. Плотность магнитного потока на расстоянии 50 см от экрана дисплея не должна превышать: 250 нТл - в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц и 25 нТл - в диапазоне частот (2-400) кГц. Поверхностный электростатический потенциал экрана дисплея не должен превышать 500 В.

### **10.3 Техника безопасности**

#### **10.3.1 Общие требования безопасности**

К работе с устройством допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие соответствующую техническую подготовку и проверку знаний правил техники безопасности.

Лица, обслуживающие и эксплуатирующие электроустановки, должны проходить медицинское освидетельствование при приеме на работу и периодически 1 раз в год.

Персонал, занятый на основных видах работ, должен пользоваться спецодеждой (халатами), рукава халата должны быть застёгнуты.

Выполнение инструкции необходимо для обеспечения безопасности людей при работе и рационального использования оборудования.

Лица, нарушившие настоящую инструкцию, несут ответственность в соответствии с действующим законодательством.

#### **10.3.2 Требования безопасности перед началом работы, во время и по окончании работ**

Перед началом работы производителю работ необходимо проверить исправность испытательного оборудования.

При сборке испытательной цепи прежде всего выполняются защитное и рабочее заземление испытательной установки, и если потребуется, защитное заземление корпуса испытываемого оборудования.

Перед присоединением испытательной установки к сети 220В на ввод высокого напряжения установки накладывается заземление.

Сборку цепи испытания оборудования производит персонал бригады, проводящей испытания.

Присоединение испытательной установки к сети напряжением 220В производится через коммутационный аппарат с видимым разрывом цепи или через штепсельную вилку, расположенную на месте управления установкой.

Присоединить провод к фазе, полюсу испытываемого оборудования или к жиле кабеля; отсоединить его разрешается по указанию лица, руководящего испытанием, и только после их заземления.

Перед подачей испытательного напряжения на испытательную установку производитель работ обязан:

- проверить, все ли члены бригады находятся на указанных местах, удалены ли посторонние лица, можно ли подавать испытательное напряжение на оборудование;
- предупредить бригаду о подаче напряжения и убедившись, что предупреждение услышано всеми членами бригады, снять заземление с вывода испытательной установки, после чего подать на нее напряжение 220В.

С момента снятия заземления вся испытательная установка, включая испытываемое оборудование и соединительные провода, считается находящейся под напряжением и производить какие-либо пересоединения в испытательной схеме и на испытываемом оборудовании запрещается.

После окончания испытаний производитель работ должен снизить напряжение испытательной установки до 0, отключить ее от сети 220В, заземлить (или дать распоряжение о заземлении) вывод установки и сообщить об этом бригаде. Только после этого можно пересоединять провода от испытательной установки или в случае полного окончания испытания, отсоединять их и снимать ограждения.

#### **10.4 Требования к электробезопасности**

Согласно правилам устройства электроустановок, помещение, в котором производились работы, относится к территории открытых электроустановок и в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особо опасным помещениям.

Согласно ГОСТ 12.2.007.3-75 “Электротехнические устройства на напряжение свыше 1000В” для устранения опасных производственных факторов или ограничения их воздействия на организм человека при эксплуатации ИПВ для испытания изоляции на пробой, конструкция устройства должна быть спроектирована с учетом следующих требований.

По способу защиты человека от поражения электрическим током ИПВ для испытания изоляции на пробой относится к I классу, имеет рабочую изоляцию и элемент для заземления. Это обусловлено опасным выходным напряжением до 100кВ.

К работе на ИПВ для испытания изоляции на пробой допускается персонал, прошедший специальную подготовку и проверку знаний и требований комиссией, в состав которой включаются специалисты по испытаниям оборудования, имеющие группу V (электроустановки напряжением выше 1000 В).

Испытания электрооборудования проводит бригада, в которой производитель работ должен иметь группу IV, член бригады - группу III, а член бригады, которому поручается охрана, - группу II.

В состав бригады, проводящей испытание оборудования, можно включать работников из числа ремонтного персонала, не имеющих допуска к специальным работам по испытаниям, для выполнения подготовительных работ и надзора за оборудованием.

При необходимости следует выставлять охрану, состоящую из членов бригады, имеющих группу II, для предотвращения приближения посторонних людей к испытательной установке, соединительным проводам и испытываемому оборудованию. Члены бригады, несущие охрану, должны находиться вне ограждения и считать испытываемое оборудование

находящимся под напряжением. Покинуть пост эти работники могут только с разрешения производителя работ.

Снимать заземления, установленные при подготовке рабочего места и препятствующие проведению испытаний, а затем устанавливая их вновь разрешается только по указанию производителя работ, руководящего испытаниями, после заземления вывода высокого напряжения испытательной установки.

При сборке испытательной схемы прежде всего должно быть выполнено защитное и рабочее заземление испытательной установки. Перед присоединением испытательной установки к сети вывод высокого напряжения ее должен быть заземлен.

Присоединение испытательной установки к сети должно выполняться через коммутационный аппарат с видимым разрывом цепи или через штепсельную вилку, расположенные на месте управления установкой. Коммутационный аппарат должен быть оборудован устройством, препятствующим самопроизвольному включению, или между подвижными и неподвижными контактами аппарата должна быть установлена изолирующая накладная. Провод или кабель, используемый для питания испытательной электроустановки от сети, должен быть защищен установленными в этой сети предохранителями или автоматическими выключателями.

Соединительный провод между испытываемым оборудованием и испытательной установкой сначала должен быть присоединен к ее заземленному выводу высокого напряжения.

Перед каждой подачей испытательного напряжения производитель работ должен: проверить правильность сборки схемы и надежность рабочих и защитных заземлений; проверить, все ли члены бригады и работники, назначенные для охраны, находятся на указанных им местах, удалены ли посторонние люди и можно ли подавать испытательное напряжение на оборудование; предупредить бригаду о подаче напряжения словами "Подаю напряжение" и, убедившись, что предупреждение услышано всеми членами

бригады, снять заземление с вывода испытательной установки и подать на нее напряжение 220 В.

С момента снятия заземления с вывода установки вся испытательная установка, включая испытываемое оборудование и соединительные провода, должна считаться находящейся под напряжением и проводить какие-либо пересоединения в испытательной схеме и на испытываемом оборудовании не допускается.

Не допускается с момента подачи напряжения на вывод испытательной установки находиться на испытываемом оборудовании, а также прикасаться к корпусу испытательной установки.

После окончания испытаний производитель работ должен снизить напряжение испытательной установки до нуля, отключить ее от сети напряжением, заземлить вывод установки и сообщить об этом бригаде словами "Напряжение снято". Только после этого допускается пересоединять провода или в случае полного окончания испытания отсоединять их от испытательной установки и снимать ограждения. После испытания оборудования со значительной емкостью (кабели, генераторы) с него должен быть снят остаточный заряд специальной разрядной штангой.

Электрическая схема ИПВ для испытания изоляции на пробой должна предусматривать защиту при переходе напряжения высшей стороны на низшую. Для этого применяется заземленный экран или обмотка, расположенный между обмотками высшего и низшего напряжений.

### **10.5 Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности**

Понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей. Пожарная безопасность регламентируется федеральным законом «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Согласно статье 27 федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяют на категории А, Б, В, Г, Д. Помещение, в котором производились работы, относится к категории пожарной опасности В.

Опасными факторам пожара для людей являются открытый огонь, искры, повышенная температура воздуха и предметов, токсичные продукты горения, дым, пониженная концентрация кислорода, обрушение и повреждение зданий, сооружений, установок, а так же взрыв.

Система пожарной безопасности должна обеспечивать:

- пожарную безопасность людей;
- пожарную безопасность материальных ценностей;
- исключение возможного возникновения пожара.

Противопожарную защиту обеспечивают следующие меры:

- максимально возможное применение негорючих и трудногорючих материалов;
- ограничение количества горючих веществ и их надлежащее размещение;
- предотвращение распространения пожара за пределы очага;
- применение средств пожаротушения;
- эвакуация людей;
- применение средств индивидуальной и коллективной защиты;
- применение средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре;
- организация пожарной охраны.

Организационными мероприятиями по обеспечению пожарной безопасности являются обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности; разработка и реализация норм и правил пожарной безопасности, инструкций о порядке работы в помещениях; изготовление и применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности.

Основной причиной возникновения пожара в помещениях с электронной техникой является неисправность проводки. Вероятность возгорания самих электронных устройств - чрезвычайно мала.

Предупреждение короткого замыкания осуществляется правильным расчетом, монтажом и эксплуатацией электрических сетей и оборудования. Обязательна их защита плавкими предохранителями, выключателями, бесконтактными автоматическими схемами защиты.

В качестве оперативных средств тушения пожара применяются порошковые огнетушители ОПУ – 5.

Сеть электропитания оборудуется входным рубильником, позволяющим в оперативном порядке отключить электропитание во всем здании.

Для обеспечения эвакуации людей в случае пожара помещения должны иметь не менее двух выходов шириной не менее одного метра и высотой не менее двух метров.

## **10.6 Экологическая безопасность**

Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилий всего человечества. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это потребует решения целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений.

Одними из самых серьезных проблем являются:

1. Потребление электроэнергии. С увеличением количества компьютерных систем, внедряемых в производственную сферу, увеличится и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям,

как: изменение климата – накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект), загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами, загрязнение водного бассейна Земли, опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов, изменение ландшафта Земли.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением. В современных компьютерах, повсеместно используются режимы с пониженным потреблением электроэнергии при длительном простое. Стоит также отметить, что для снижения вреда, наносимого окружающей среде при производстве электроэнергии, необходимо искать принципиально новые виды производства электроэнергии.

2. Потребление и сток воды. Проектирование водоснабжения и канализации предприятий осуществляется с учетом СНИП. Нормы воды на хозяйственно-питьевые нужды составляют 25 литров в смену на человека. Сети хозяйственно-питьевого водоснабжения необходимо отделять от сетей, подающих не питьевую воду, согласно [СанПиН 2.1.2.1002-00].

Также следует предусматривать отдельные системы канализации:

- бытовую;
- производственных незагрязненных сточных вод, объединяемых, как правило, с дождевой;
- производственных сточных вод, загрязненных вредными веществами. Запрещается спуск хозяйственно-фекальных и производственных сточных в поглощающие колодцы во избежание загрязнения водоносных слоев почвы. Спуск незагрязненных производственных сточных вод допускается в ливневую канализацию, предназначенную для стока атмосферных осадков. Отвод сточных вод от душей и умывальников производится в сеть хозяйственно-фекальной или производственной канализации.

## 10.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Наиболее частыми причинами пожаров являются нарушения правил пожарной безопасности и технологических процессов, неправильная эксплуатация электросети и оборудования, грозовые разряды.

Каждый гражданин при обнаружении пожара или признаков горения обязан:

- немедленно сообщить по телефону в пожарную охрану (назвать адрес объекта, место возникновения пожара, свою фамилию);
- принять меры по эвакуации людей, материальных ценностей;
- принять меры по тушению пожара.

До прибытия пожарного подразделения руководитель предприятия обязан:

- продублировать сообщение о возникновении пожара в пожарную охрану и поставить в известность вышестоящее руководство, ответственного дежурного по объекту;
- в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение, используя все средства;
- проверить включение в работу автоматических систем противопожарной защиты;
- при необходимости отключить электроэнергию или выполнить мероприятия, способствующие предотвращению развития пожара;
- прекратить все работы в здании, кроме работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара;

- удалить за пределы опасной зоны всех работников, не участвующих в тушении пожара;
- осуществить общее руководство по тушению пожара;
- обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара;
- организовать эвакуацию и защиту материальных ценностей;
- организовать встречу подразделений пожарной охраны;
- организовать оказание первой медицинской помощи.

По прибытии пожарного подразделения руководитель предприятия обязан:

- проинформировать руководителя тушения пожара о конструктивных и технологических особенностях объекта и других сведениях, необходимых для успешной ликвидации пожара;
- организовать привлечение сил и средств объекта к осуществлению необходимых мероприятий, связанных с ликвидацией пожара и предупреждением его развития.

Процесс тушения пожаров подразделяется на локализацию и ликвидацию огня. Под локализацией пожаров понимают ограничение распространения огня и создание условий для его ликвидации. Под ликвидацией пожаров понимают окончательное тушение или полное прекращение горения и исключение возможности повторного возникновения огня. Успех быстрой локализации и ликвидации пожара в его начальной стадии зависит от наличия первичных средств тушения пожаров и умения пользоваться ими, средств пожарной связи и сигнализации для вызова пожарной команды.

Одна из главных причин травм, связанных с действием электрического тока, слабые знания правил электробезопасности. Нарушение правил электробезопасности при использовании электроустановок и непосредственное соприкосновение с токоведущими частями электроустановок, находящихся под напряжением, создает опасность поражения электрическим током.

Первая помощь при несчастных случаях от электрического тока состоит из двух этапов:

1. Освобождение пострадавшего от действия тока. Для отделения пострадавшего от токоведущих частей необходимо в первую очередь обезопасить себя. Ни в коем случае нельзя касаться открытых частей тела или участков влажной одежды. Первым действием оказывающего помощь должно быть быстрое отключение электроприбора, которого касается пострадавший. При невозможности быстрого отключения нужно помнить, что в большинстве случаев пострадавший сам оторваться от проводов не может, и поэтому, воспользовавшись сухой одеждой, палкой, доской, нужно оттащить его от токоведущих частей. Рекомендуется при этом действовать по возможности одной рукой. Оказывающий помощь должен обмотать руки шарфом или использовать любую сухую тряпку. Если нет возможности оттащить пострадавшего, то следует перерубить или перерезать провода топором с сухой деревянной ручкой или перекусить каждый провод кусачками с изолированными рукоятками. Если попавший под напряжение находится в сознании, но испугался, растерялся, можно резким окриком «Подпрыгни!» заставить его отделиться от земли до разрыва цепи.

2. Оказание доврачебной медицинской помощи. Меры первой доврачебной помощи после освобождения пострадавшего от действия тока зависят от его состояния. Если человек дышит и находится в сознании, то его следует уложить в удобное положение, расстегнуть на нем одежду и накрыть, обеспечив до прихода врача полный покой. Если даже пострадавший чувствует себя удовлетворительно, то все равно нельзя позволять ему вставать на ноги, так как отсутствие тяжелых симптомов после поражения электрическим током не исключает возможности последующего ухудшения состояния здоровья человека. Когда пострадавший находится в бессознательном состоянии, но у него сохраняется устойчивое дыхание и пульс, следует дать ему понюхать нашатырный спирт, обрызгать лицо холодной водой, обеспечить полный покой до прихода врача. Если пострадавший дышит неровно или не дышит вообще,

ему надо немедленно делать искусственное дыхание и непрямой массаж сердца. Никогда не следует отказываться от помощи пострадавшему и считать его мертвым из-за отсутствия дыхания, сердцебиения и других признаков жизни. Первую помощь оказывают по возможности на месте происшествия.

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

Рабочие места должны быть оборудованы отдельными щитами с общим рубильником электропитания, который должен находиться в легкодоступном месте, иметь закрытый металлический корпус и четкую надпись, указывающую величину номинального напряжения. Токонесущие части, находящиеся под сетевым напряжением, изолируют (все соединительные провода должны иметь надежную изоляцию без трещин и перегибов). Токоведущие провода должны быть помещены в специальные желоба и исключать доступ к ним неспециалистов. Все питающие цепи подводятся обязательно через предохранители, разрывающие цепь в случае превышения некоторого порога тока.

Обязательно наличие заземления, корпуса всех приборов должны быть заземлены, сопротивление защитного заземления в любое время года не должно превышать 0.5 Ом. Заземляющие проводники должны быть видимыми, а места их соединений скреплены резьбовыми соединениями.

Электрическая схема ИПВ для испытания изоляции на пробой должна исключать возможность его самопроизвольного включения и отключения. Расположение и соединение частей должно быть выполнено с учетом удобства и безопасности наблюдения за ходом испытания.

ИПВ для испытания изоляции на пробой должен быть оборудован сигнализацией, надписями и табличками. Предупредительные сигналы, надписи и таблички должны применяться для указания на: включенное состояние, наличие напряжения, пробой изоляции, режим работы, запрет доступа внутрь изделия без принятия соответствующих мер. Знаки, используемые при выполнении предупредительных табличек и сигнализации, должны выполняться по ГОСТ Р 12.4.026-2001, и размещаться в местах, удобных для обзора.

Рабочее место оператора испытательной установки должно быть отделено от той части установки, которая имеет напряжение выше 1000 В.

Дверь, ведущая в часть установки, имеющую напряжение выше 1000 В, должна быть снабжена блокировкой, обеспечивающей снятие напряжения с испытательной схемы в случае открытия двери и невозможность подачи напряжения при открытых дверях. На рабочем месте оператора должна быть предусмотрена отдельная световая сигнализация, извещающая о включении напряжения до и выше 1000 В, и звуковая сигнализация, извещающая о подаче испытательного напряжения. При подаче испытательного напряжения оператор должен стоять на изолирующем ковре.

Испытываемое оборудование, испытательная установка и соединительные провода между ними должны быть ограждены щитами, канатами и т.п. с предупреждающими плакатами "Испытание. Опасно для жизни", обращенными наружу. Ограждение должен устанавливать персонал, проводящий испытание.

### **Заключение**

За время дипломной работы проведена разработка высоковольтного источника питания (ИПВ) на основе микроконтроллера (МК), который будет использоваться для высоковольтных испытаний изоляции электрических кабелей, твёрдых диэлектриков, защитных средств, изоляции электрических аппаратов.

В процессе работы были разработаны принципиальная схема ИПВ, программное обеспечение МК, проведены необходимые расчёты схем инвертора, умножителя напряжения и источника питания собственных нужд.

Разработанный ИПВ отвечает требованиям технического задания.

### Список использованных источников

- 1 Костиков В.Г. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: Учебник для вузов. – 2е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 344с.:ил.
- 2 Костиков В.Г. Источники электропитания высокого напряжения РЭА. – М.: Радиосвязь, 1986. – 200с.:ил.
- 3 Источники электропитания на полупроводниковых приборах. Проектирование и расчет. / Под ред. Додика С.Д. и Гальмана Е.И. – М.: Советское радио, 1969. – 448с.
- 4 Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632с.
- 5 Моин В.С. Стабилизированные транзисторные преобразователи. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 376 с.: ил.
- 6 Глебов Б.А. Магнитно-транзисторные преобразователи напряжения для питания РЭА. – М.: Радио и связь, 1981. – 96 с., ил.
- 7 Естафьев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL. – М.: «Додека XXI», 2004 – 560с.
- 8 Макашов Д. Обратногоходовой преобразователь / Д.Макашов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bludger.narod.ru/smps/Flyback-R01.pdf>
- 9 Базуткин В.В. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов. /В.В. Базуткин, В.П.Ларионов, Ю.С.Пинталь; Под общ. ред. В.П.Ларионова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.: ил.

## Приложение Б

```

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
volatile unsigned char code_numbers_indicator[11] = { 40, 235, 50, 162, 225, 164,
36, 234, 0, 160, 255 };
volatile unsigned char segment_Indicator_1 = 10,segment_Indicator_2 =
0,segment_Indicator_3 = 0,selection,bit_action;
volatile unsigned int ADC_data;
ISR (TIMER0_COMP_vect)
{
    bit_action |= (1<<1);
}
ISR (ADC_vect)
{
    ADC_data = ADCW; // сохраняем данные ацп
    bit_action |= (1<<0); // данные приняты можно преобразовывать
}
void workIndicator ( void )
{
    selection++;
    switch ( selection )
    {
        case 1:
            PORTA &=~ (1<<5); // выкл. третий разряд
            PORTB = code_numbers_indicator[ segment_Indicator_1 ];

            PORTA |= (1<<7); // вкл. разряд первый
            break;
        case 2:
            PORTA &=~ (1<<7); // выкл. первый разряд

```

```

        PORTB = code_numbers_indicator[ segment_Indicator_2 ];
        PORTA |= (1<<6);    // вкл. разряд второй
        PORTC &=~ (1<<5);
        break;

    case 3:
        PORTA &=~ (1<<6);    // выкл.второй разряд
        PORTB = code_numbers_indicator[ segment_Indicator_3 ];
        PORTA |= (1<<5);    // вкл. разряд третий
        ADCSRA |= (1<<ADSC);
        selection = 0;
        break;
    }
    bit_action &=~ (1<<1);
}

void dataProcessing ( void )
{
    asm("cli");
    ADC_data = ((5.00*ADC_data[0]*20)/1024.0);
    segment_Indicator_1 = 0;
    while ( ADC_data >= 100 )
    {
        segment_Indicator_1++;
        ADC_data = ADC_data - 100;
    }
    if ( segment_Indicator_1 == 0)
    {
        segment_Indicator_1 = 10;
    }
    segment_Indicator_2 = 0;

```

```

while ( ADC_data >= 10 )
{
    segment_Indicator_2++;
    ADC_data = ADC_data - 10;
}
segment_Indicator_3 = ADC_data;
bit_action &=~ (1<<0);
asm("sei");
}
int main (void)
{
    OCR0=250;
    TCCR0=0b00001011;
    TIMSK|=(1<<1);
    PORTC = 255;
    DDRC = 255;
    ADMUX |=(1<<REFS0); // опорное 5В
    ADCSRA|=(1<<ADEN)|(1<<ADIE)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0)|(1<<A
DSC);
    DDRA |=(1<<7);
    DDRA |=(1<<5)|(1<<6);
    asm("sei");
    while(1)
    {
        if ( bit_action & (1<<0) ) // данные приняты или нет
        {
            dataProcessing(); // обработка данных ацп
        }
        if ( bit_action & (1<<1) ) // работаем с разрядами индикатора
        {

```

```
        workIndicator();    // работаем с разрядами индикатора
    }
}
```