

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

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки (специальность) 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»
Кафедра высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование условий генерации когерентного излучения в плазме продольного разряда УДК 621.373.826.038.824

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ41	Петров Анатолий Дмитриевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий Лабораторией	Лосев В.Ф.	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Гаврикова Н.А.	Старший преподаватель		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Федорчук Ю. М.	д.т.н., профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Н.А. Ратахин	д.ф.-м.н., чл.-кор. РАН		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять <i>глубокие</i> естественнонаучные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания и обработки <i>новых</i> материалов
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области современных технологий обработки материалов, нанотехнологий, создания <i>новых</i> материалов в <i>сложных</i> и <i>неопределенных</i> условиях
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт физики высоких технологий
 Направление подготовки (специальность) 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»
 Кафедра высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ВЭСЭ
 _____ Н.А. Ратахин
 (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ41	Петров Анатолий Дмитриевич

Тема работы:

Исследование условий генерации когерентного излучения в плазме продольного разряда

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 9105/с от 23.12.2014 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p align="center">Разработать и исследовать генератор накачки импульсов</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Провести обзор литературы по существующим генераторам накачки. 2. Спроектировать структурную и принципиальную схемы генератора накачки для азотного лазера с поперечным разрядом. 3. Выполнить все необходимые расчеты.

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	4. Провести полный анализ всех полученных теоретических и расчетных данных.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Принципиальная схема генератора накачки 2. Выходные диаграммы

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Гаврикова Надежда Александровна
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрович
Английский язык	Квашина Ольга Сергеевна, Карнаухова Анна Алексеевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Обзор литературы

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий лабораторией ИСЭ СО РАН	Лосев В.Ф.	д.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ41	Петров Анатолий Дмитриевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 114 с., 46 рис., 18 табл., 28 источников, 2 прил.

Ключевые слова: Азотный лазер, генератор накачки, поперечный разряд, Высоковольтный источник питания, магнитная компрессия

Объектом исследования является (ются) Импульсный генератор накачки азотного лазера с поперечным разрядом

Цель работы – Разработать и исследовать генератор накачки для поперечного разряда ТЕА-лазера

В процессе исследования проводились обзор литературы, проектирование и расчет схемы генератора накачки для поперечного разряда, моделирование ячеек сжатия импульса

В результате исследования спроектирован генератор накачки для азотного лазера с поперечным разрядом с высокой частотой следования выходных импульсов

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: выходная частота импульсов 5кГц, максимальная амплитуда напряжения выходного импульса 20кВ, время нарастания фронта импульса 15нс.

Степень внедрения: положительные результаты данной работы помогут внедрить лазеры УФ-диапазона во многие отрасли науки и промышленности

Область применения: Диагностика быстропротекающих процессов в физике, химии и биологии; Исследование лазерной абляционной плазмы; Микроэлектроника; Маркировка материалов; Накачка лазеров на красителях; Применение для опто-электронных систем и т.д.

Экономическая эффективность/значимость работы: данная работа является перспективной и экономически выгодной

В будущем планируется продолжить исследования в данной области и совершенствовать полученные результаты

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

ГОСТ 2.104 – 2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи.

ГОСТ 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.702 – 2011 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем.

ГОСТ 2.721 – 74 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.

ГОСТ 3.1105 – 2011 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения.

ГОСТ 7.0.5 – 2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.

ГОСТ 7.9 – 95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.

ГОСТ 7.0.12 – 2011 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Сокращения русских слов и словосочетаний в библиографическом описании произведений печати.

ГОСТ 8.417 – 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

ГОСТ 19.101 – 77 Единая система программной документации. Виды программ и программных документов.

ГОСТ 19.106 – 78 Единая система программной документации. Требования к программным документам, выполненным печатным способом.

ГОСТ 19.401 – 78 Единая система программной документации. Текст программы. Требования к содержанию и оформлению.

ГОСТ 19.402 – 78 Единая система программной документации. Описание программы.

ГОСТ 19.502 – 78 Единая система программной документации. Описание применения. Требования к содержанию и оформлению.

Оглавление.

Введение	9
1. Обзор литературы	10
1.1. Лазеры	10
1.2. Схемы зажигания маломощных ГРП	13
1.3. Импульсные схемы зажигания	14
1.4. Маломощные источники тока	16
1.5. Источники электропитания дугового газового разряда	18
1.6. Зарядные устройства емкостных накопителей	18
1.7. Модульные конструкции блоков зажигания ламп накачки	21
1.8. Источники питания газовых и полупроводниковых излучателей	23
1.9. Цепи магнитной компрессии	25
1.10. Материалы для сердечников, используемых в цепях магнитной компрессии	32
2. Объект и методы исследования	34
2.1. Выбор и обоснование структурной схемы	34
2.2. Выбор и обоснование принципиальной схемы	35
2.2.1. Принципиальная схема однофазного мостового выпрямителя	35
2.2.2. Принципиальная схема сглаживающего фильтра	36
2.2.3. Принципиальная схема мостового инвертора	36
2.2.4. Принципиальная схема магнитной компрессии	41
2.3. Методы исследования	43
2.3.1. Моделирования принципиальной схемы магнитной компрессии в программной среде LTspice IV	43
3. Расчет и аналитика	51
3.1. Расчет принципиальной схемы	51
4. Результаты проведенного исследования	65
5. Финансовый менеджмент	68
6. Социальная ответственность	83
7. Заключение	98
8. Список использованных источников	99
Приложение А	102
Приложение Б	112

Введение.

Современный этап развития производства и лазерной техники характеризуется постоянным ростом числа разработок лазерных установок и приборов различного назначения, расширением их промышленного выпуска и внедрением во многие области науки, техники и производства.

Целью данной работы является разработка, создание и исследование импульсных газоразрядных мини-лазеров (активный объем 1 см^3 и менее) ультрафиолетового (УФ) диапазона спектра, предназначенных для опто-электронных систем и других приложений.

Актуальность исследования обусловлена растущей потребностью в эффективных и компактных источниках когерентного излучения, имеющих достаточно высокую импульсную мощность лазерного импульса и малые размеры.

Области применения мини-лазерных источников с наносекундной длительностью импульса УФ- диапазона может охватить такие области, как:

- Диагностика быстропротекающих процессов в физике, химии и биологии;
- Исследование лазерной абляционной плазмы;
- Микроэлектроника;
- Маркировка материалов;
- Накачка лазеров на красителях;
- Применение для опто-электронных систем и т.д.

Компактность мини-лазеров планируется обеспечивать в основном за счет применения новых схемных решений генераторов накачки и оптимальных условий зажигания объемного разряда в малых объемах.

1. Обзор литературы.

1.1. Лазеры.

Лазер или оптический квантовый генератор — это устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

Физической основой работы лазера служит квантовомеханическое явление вынужденного (индуцированного) излучения. Излучение лазера может быть непрерывным, с постоянной мощностью, или импульсным, достигающим предельно больших пиковых мощностей. В некоторых схемах рабочий элемент лазера используется в качестве оптического усилителя для излучения от другого источника. Существует большое количество видов лазеров, использующих в качестве рабочей среды все агрегатные состояния вещества. Некоторые типы лазеров, например лазеры на растворах красителей или полихроматические твердотельные лазеры, могут генерировать целый набор частот (мод оптического резонатора) в широком спектральном диапазоне. Габариты лазеров разнятся от микроскопических для ряда полупроводниковых лазеров до размеров футбольного поля для некоторых лазеров на неодимовом стекле. Уникальные свойства излучения лазеров позволили использовать их в различных отраслях науки и техники, а также в быту, начиная с чтения и записи компакт-дисков и заканчивая исследованиями в области управляемого термоядерного синтеза.

Все лазеры состоят из трёх основных частей:

- активной (рабочей) среды;
- системы накачки (источник энергии);
- оптического резонатора (может отсутствовать, если лазер работает в режиме усилителя).

Классификация лазеров.

- Твердотельные лазеры на люминесцирующих твёрдых средах (диэлектрические кристаллы и стёкла). В качестве активаторов обычно используются ионы редкоземельных элементов или ионы группы железа Fe. Накачка оптическая и от полупроводниковых лазеров, осуществляется по трёх- или четырёхуровневой схеме. Современные твердотельные лазеры способны работать в импульсном, непрерывном и квазинепрерывном режимах.

- Полупроводниковые лазеры. Формально также являются твердотельными, но традиционно выделяются в отдельную группу,

поскольку имеют иной механизм накачки (инжекция избыточных носителей заряда через р-п переход или гетеропереход, электрический пробой в сильном поле, бомбардировка быстрыми электронами), а квантовые переходы происходят между разрешёнными энергетическими зонами, а не между дискретными уровнями энергии. Полупроводниковые лазеры — наиболее употребительный в быту вид лазеров. Кроме этого, применяются в спектроскопии, в системах накачки других лазеров, а также в медицине.

- Лазеры на красителях. Тип лазеров, использующий в качестве активной среды раствор флюоресцирующих с образованием широких спектров органических красителей. Лазерные переходы осуществляются между различными колебательными подуровнями первого возбуждённого и основного синглетных электронных состояний. Накачка оптическая, могут работать в непрерывном и импульсном режимах. Основной особенностью является возможность перестройки длины волны излучения в широком диапазоне. Применяются в спектроскопических исследованиях.

- Газовые лазеры — лазеры, активной средой которых является смесь газов и паров. Отличаются высокой мощностью, монохроматичностью, а также узкой направленностью излучения. Работают в непрерывном и импульсном режимах. В зависимости от системы накачки газовые лазеры разделяют на газоразрядные лазеры, газовые лазеры с оптическим возбуждением и возбуждением заряженными частицами (например, лазеры с ядерной накачкой, в начале 80-х проводились испытания систем противоракетной обороны на их основе, однако без особого успеха), газодинамические и химические лазеры. По типу лазерных переходов различают газовые лазеры на атомных переходах, ионные лазеры, молекулярные лазеры на электронных, колебательных и вращательных переходах молекул и эксимерные лазеры.

- Газодинамические лазеры — газовые лазеры с тепловой накачкой, инверсия населённостей в которых создаётся между возбуждёнными колебательно-вращательными уровнями гетероядерных молекул путём адиабатического расширения движущейся с высокой скоростью газовой смеси (чаще N_2+CO_2+He или $N_2+CO_2+H_2O$, рабочее вещество — CO_2).

- Эксимерные лазеры — разновидность газовых лазеров, работающих на энергетических переходах эксимерных молекул (димерах благородных газов, а также их моногалогенидов), способных существовать лишь некоторое время в возбуждённом состоянии. Накачка осуществляется пропусканием через газовую смесь пучка электронов, под действием которых атомы переходят в возбуждённое состояние с образованием эксимеров, фактически представляющих собой среду с инверсией населённостей. Эксимерные лазеры отличаются высокими энергетическими

характеристикам, малым разбросом длины волны генерации и возможности её плавной перестройки в широком диапазоне.

- Химические лазеры — разновидность лазеров, источником энергии для которых служат химические реакции между компонентами рабочей среды (смеси газов). Лазерные переходы происходят между возбуждёнными колебательно-вращательными и основными уровнями составных молекул продуктов реакции. Для осуществления химических реакций в среде необходимо постоянное присутствие свободных радикалов, для чего используются различные способы воздействия на молекулы для их диссоциации. Отличаются широким спектром генерации в ближней ИК-области, большой мощностью непрерывного и импульсного излучения.

- Лазеры на свободных электронах — лазеры, активной средой которых является поток свободных электронов, колеблющихся во внешнем электромагнитном поле (за счёт чего осуществляется излучение) и распространяющихся с релятивистской скоростью в направлении излучения. Основной особенностью является возможность плавной широкодиапазонной перестройки частоты генерации. Различают убитроны и скаттроны, накачка первых осуществляется в пространственно-периодическом статическом поле ондулятора, вторых — мощным полем электромагнитной волны. Существуют также мазеры на циклотронном резонансе и строботроны, основанные на тормозном излучении электронов, а также флимароны, использующие эффект черенковского и переходного излучений. Поскольку каждый электрон излучает до 10^8 фотонов, лазеры на свободных электронах являются, по сути, классическими приборами и описываются законами классической электродинамики.

- Квантовые каскадные лазеры — полупроводниковые лазеры, которые излучают в среднем и дальнем инфракрасном диапазоне. В отличие от обычных полупроводниковых лазеров, которые излучают посредством вынужденных переходов между разрешенными электронными и дырочными уровнями, разделенными запрещенной зоной полупроводника, излучение квантовых каскадных лазеров возникает при переходе электронов между слоями гетероструктуры полупроводника и состоит из двух типов лучей, причем вторичный луч обладает весьма необычными свойствами и не требует больших затрат энергии.

- Волоконный лазер — лазер, резонатор которого построен на базе оптического волокна, внутри которого полностью или частично генерируется излучение. При полностью волоконной реализации такой лазер называется цельноволокненным, при комбинированном использовании

волоконных и других элементов в конструкции лазера он называется волоконно-дискретным или гибридным.

- Вертикально-излучающие лазеры (VCSEL) — «Поверхностно-излучающий лазер с вертикальным резонатором» — разновидность диодного полупроводникового лазера, излучающего свет в направлении, перпендикулярном поверхности кристалла, в отличие от обычных лазерных диодов, излучающих в плоскости, параллельной поверхности пластин.

1.2. Схемы зажигания маломощных газоразрядных приборов.

В маломощных ГРП наиболее просто можно зажечь разряд повышением напряжения $U_{пит}$, на выходе основного источника питания до значения $U_{пр}$, данного ГРП. Выполнение этого условия приводит к зажиганию разряда и установлению рабочего режима ГРП. Поскольку $U_{пр}$ значительно больше напряжения на ГРП в рабочем режиме $U_{раб}$, то источник питания должен обладать падающей внешней характеристикой (иметь $R_{вн}$ большое). Это необходимо для того, чтобы после пробоя при $U_{пит}=U_{пр}$ на выходе ИП установилось новое рабочее напряжение $U_{раб}=U_{пр}$ при рабочем токе $I_{раб}$ через ГРП, соответствующем данному виду газового разряда (тлеющему или дуговому)[1].

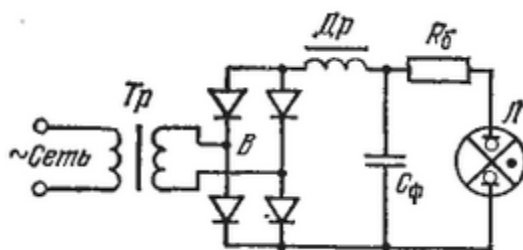


Рис.1.1 схема для зажигания и питания ГРП.

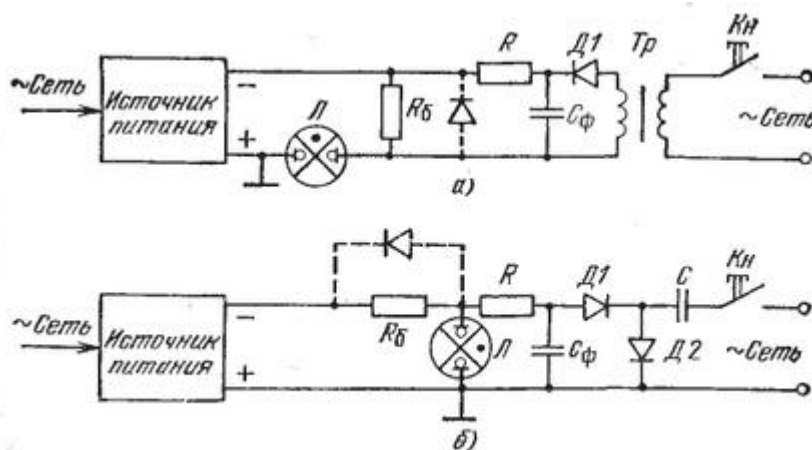


Рис.1.2. а- схема с последовательным зажиганием ГРП; б- схема с параллельным зажиганием ГРП.

Данные схемы используются для зажигания маломощных лазеров. В схеме а и б напряжение сети появляется на C_{ϕ} после нажатия кнопки К и складывается с напряжением ИП, зажигает ГРП.

В схеме а для прохождения $I_{раб}$ от ИП выход схемы шунтируется R_6 , но если шунтирование выхода незначительное (так как при этом отбирается часть мощности и понижается выходное напряжение схемы зажигания) то вместо R_6 ставится диод (показан пунктиром на рисунке 1.2а). диод во время включения схемы зажигания запирается и открывается после установления заряда[1].

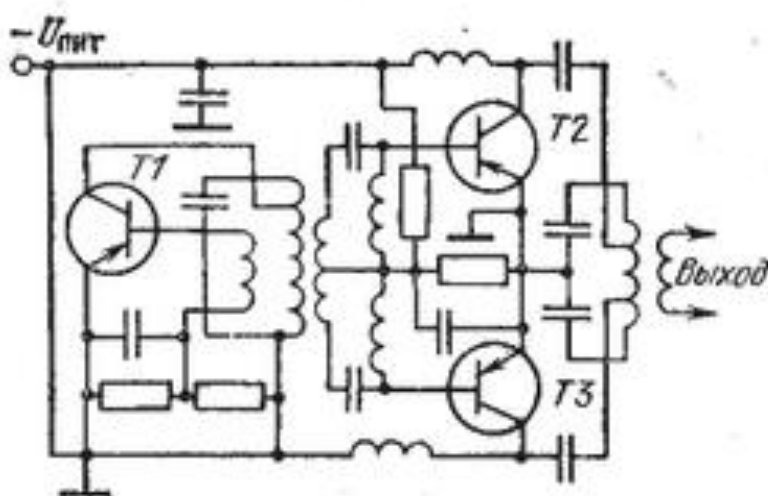


Рис.1.3. Высокочастотная схема зажигания.

На рис.1.3 представлена высокочастотная схема зажигания на транзисторах, содержащая автогенератор на Т1 и усилители мощности на Т2 и Т3.

1.3. Импульсные схемы зажигания.

Импульсные схемы зажигания во много сходны с силовыми импульсными источниками электропитания. Импульс инициирования может быть сформирован быстрой разрядкой емкостного/индуктивного накопителя.

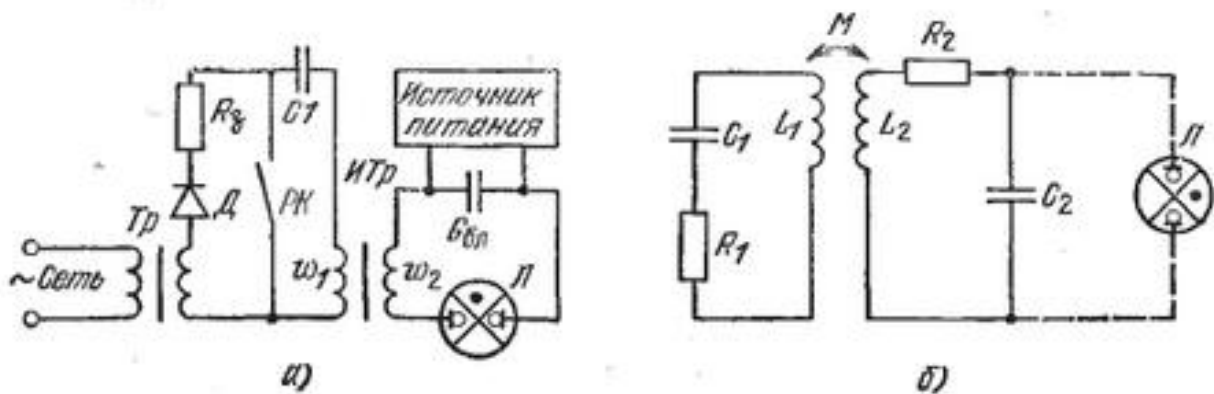


Рис.1.4. а- принципиальная схема зажигания с импульсным трансформатором; б- схема замещения.

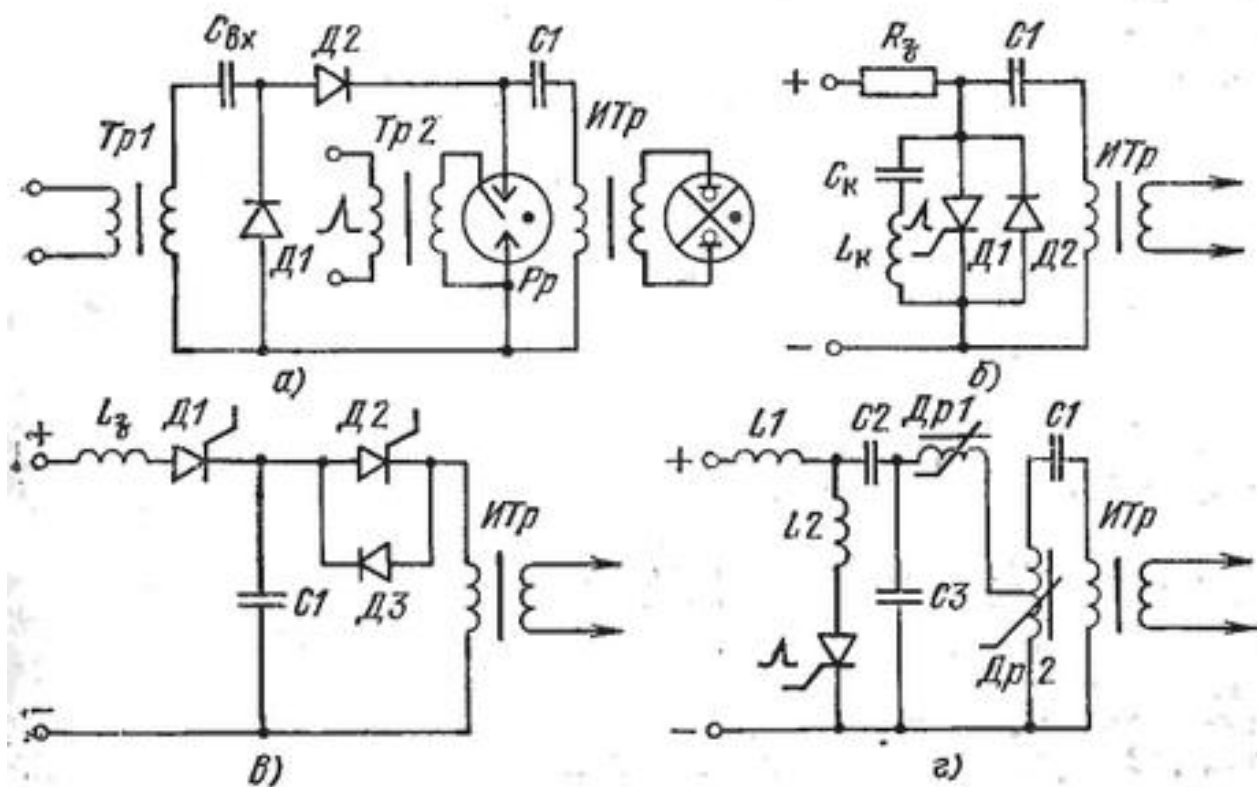


Рис.1.5. Варианты выполнения схем зажигания.

Задачу формирования мощных инициирующих импульсов решают схемы двухступенчатого зажигания. В таких схемах на первой стадии предварительный пробой ГРП производится с помощью маломощных схем зажигания. На второй стадии происходит разрядка дополнительного конденсатора на ГРП с большой запасенной энергией, достаточной для

перевода ГРП в дуговой сильнотоочный режим, характеризующийся падением напряжения на газоразрядном промежутке, меньшем, чем $U_{\text{зак}}$ при одноступенчатом импульсном зажигании. Перевод ГРП на дуговой режим обуславливает «подхват» и поддержание рабочего режима разряда основным источником питания[2].

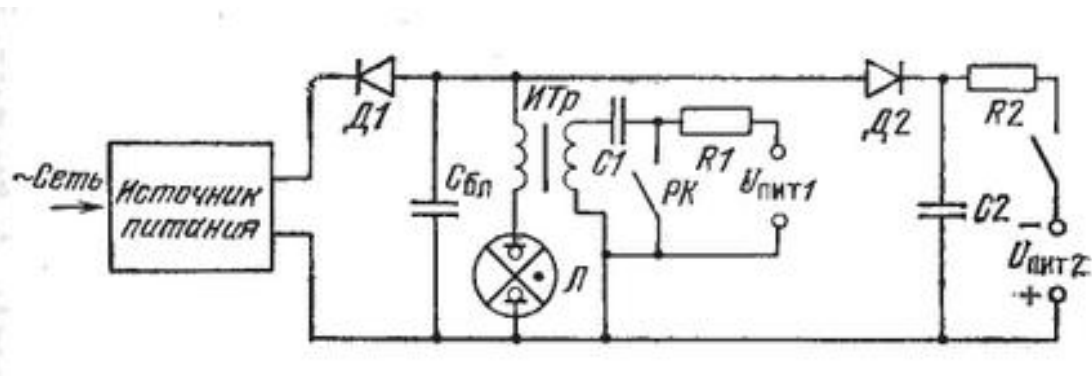


Рис.1.6. Схема двухступенчатого зажигания.

1.4. Маломощные источники тока.

Источники электропитания маломощными являются до сотен ватт. Такие источники нашли широкое применение в устройствах питания ГРП, используемые, прежде всего для создания газовых атомарных и молекулярных лазеров[1].

На рис. 1.7 показана схема источника питания гелий-неонового лазера ОКГ-13. В схеме на данном рисунке зажигание газоразрядной трубки осуществляется вручную (нажатием кнопки), при этом исключается возможность повторного автоматического зажигания. Этот недостаток устранен в схемах, использующих умножение постоянного напряжения (рис. 1.8) [1].

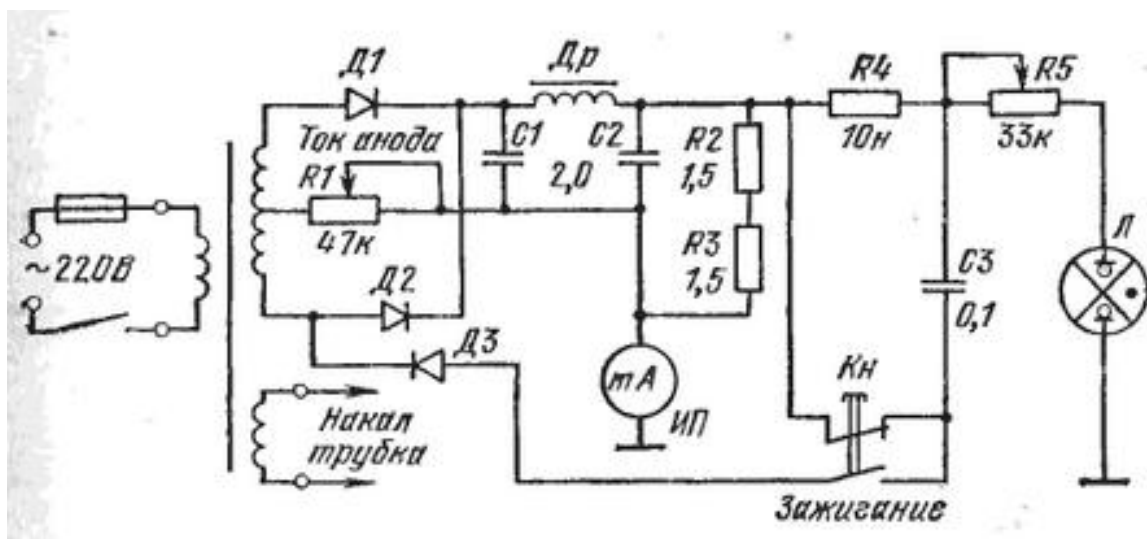


Рис.1.7. Схема источника питания гелий-неонового лазера ОКГ-13.

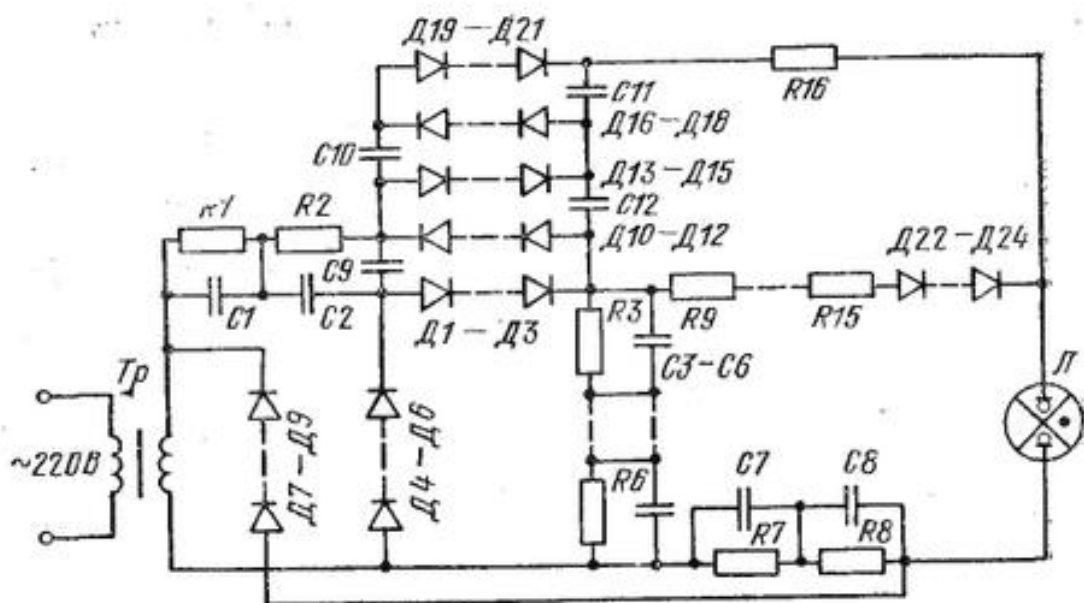


Рис.1.8. схема источника питания с автоматическим зажиганием.

Д1-Д9 (Д218) и С1-С8 обеспечивают утроение входного напряжения сети до 2700В, при условии, что напряжение на вторичной обмотке входного трансформатора 620 В. К этому напряжению добавляется напряжение умножителя на С9-С12 и Д10-Д21, через ограничивающий резистор R16 напряжение прикладывается к электродам трубки. Рабочий ток направляется по цепи балластных резисторов R9-R15 и блокирующих диодов Д22-Д24. Данная схема позволяет получить напряжение нагрузки 1700В, при токе нагрузки 5мА.

1.5. Источники электропитания дугового газового разряда.

Дуговой разряд в среде газов используется в лампах оптической накачки твердотельных лазеров и ионных газовых лазеров. Дуговой разряд характеризуется большими плотностями тока ($1000\text{А}/\text{см}^2$) сравнительно низкими напряжениями между электродами газоразрядной трубки (100-400В), высокой степенью ионизации плазмы газового разряда. В рабочем диапазоне ВАХ наблюдается слабая зависимость напряжения от тока разряда, что определяет способ управления дуговым разрядом – регулирование величины разрядного тока. При этом мощность дугового разряда изменяется линейно. Предельная величина тока разряда ограничивается конструктивными и технологическими возможностями создания разрядной трубки, выдерживающей большие нагрузки.

На рисунке 1.9 показана мостовая схема трехфазного выпрямителя с каскадами умножения напряжения для зажигания газоразрядной лампы.

На рисунке 1.10 изображена упрощенная схема источника питания СН-4, предназначенного для питания газоразрядной лампы накачки ДКрТВ-3000 непрерывного излучателя ЛТ-2[3].

1.6. Зарядные устройства емкостных накопителей.

В источниках электропитания импульсных излучателей преимущественно используются емкостные накопители энергии. Основной задачей зарядного устройства является передача из первичной питающей сети необходимой энергии в накопитель за время между импульсами разрядного тока. Возможные диапазоны повторения выходных импульсов источников питания для различных типов излучателей представлены на рисунке 1.11[4].

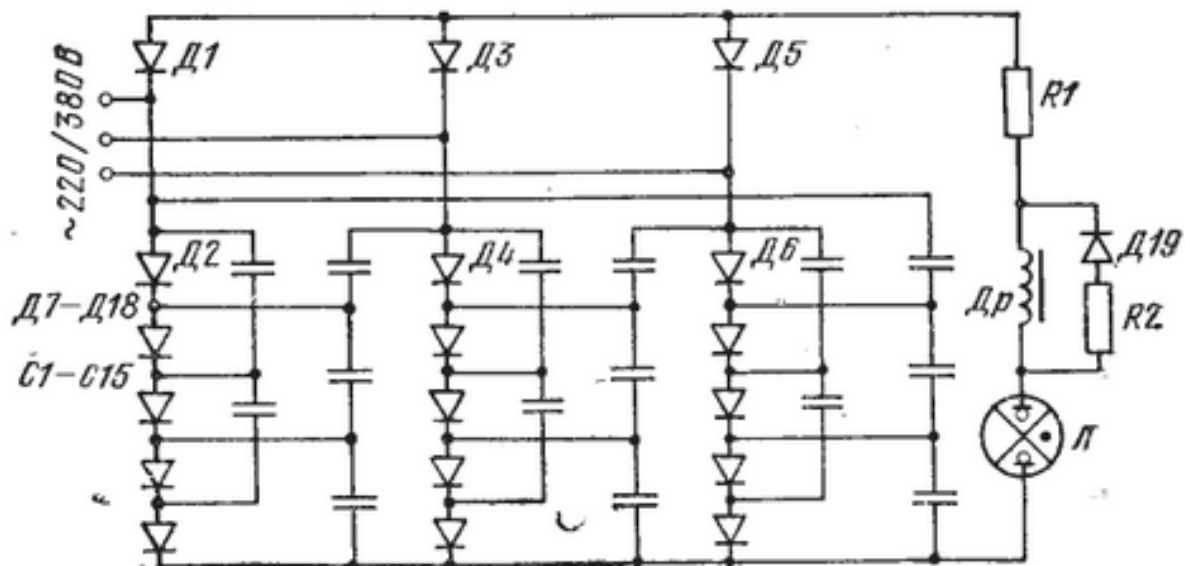


Рис.1.9. Мостовая схема трехфазного выпрямителя с каскадами умножения напряжения для зажигания газоразрядной лампы.

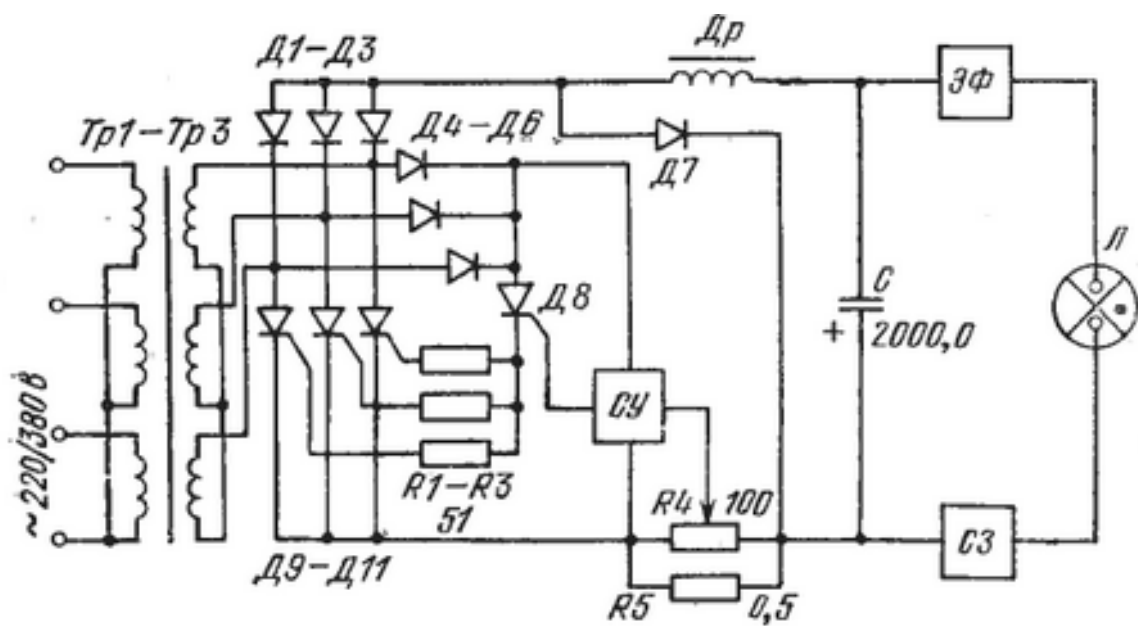


Рис.1.10. Упрощенная схема источника питания СН-4.

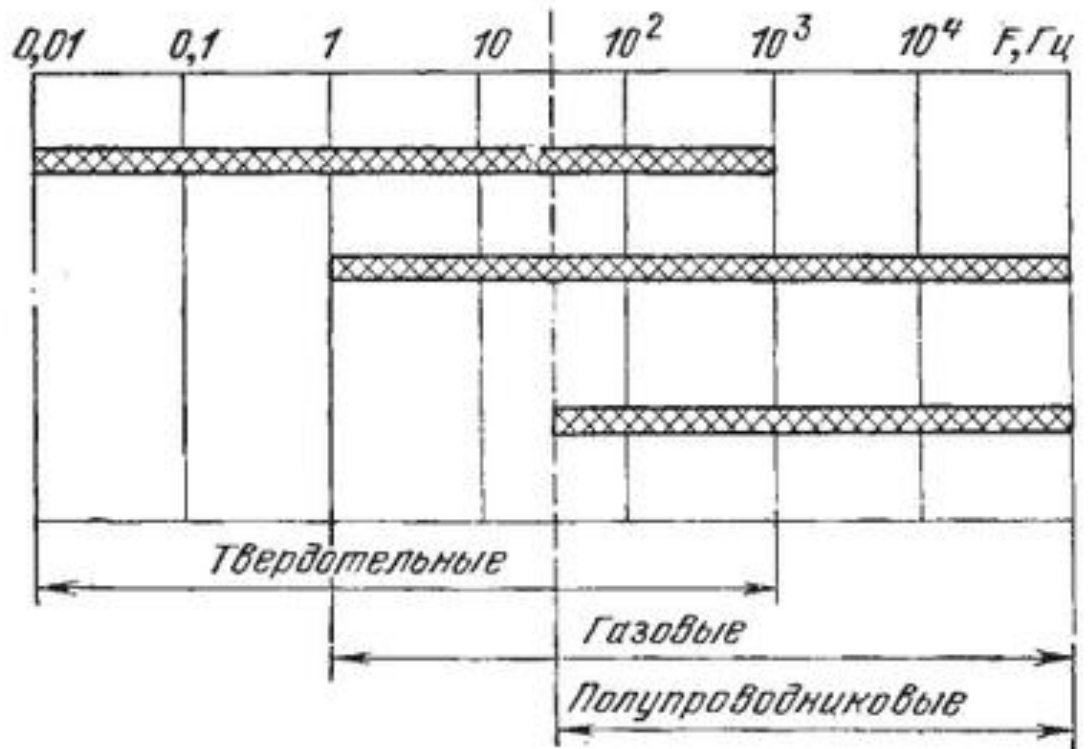


Рис.1.11. Частоты повторения выходных импульсов для разных типов излучателей.

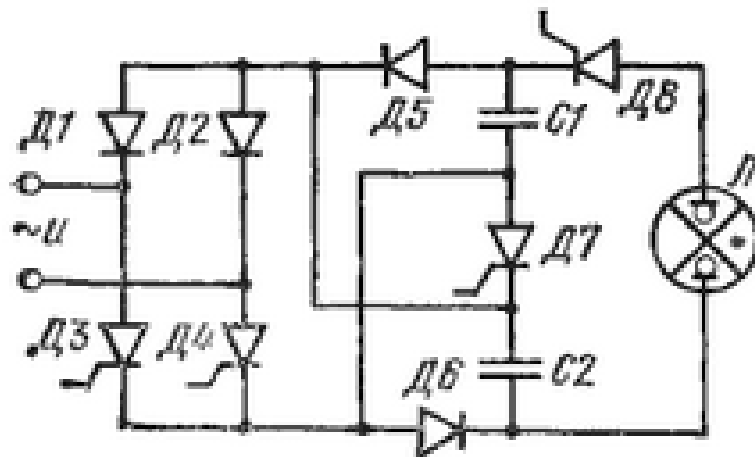


Рис.1.12. Схема зарядки с нулевой фазой включения зарядного коммутатора.

На рис.1.12 изображена схема, обеспечивающая только дискретные и кратные частоте сети значения частоты повторения импульсов накачки. Расширение частотного диапазона зарядных устройств может быть достигнуто преобразованием источников переменного напряжения в источники постоянного напряжения с последующим токоограничением.

Наибольшее распространение в источниках питания с повышенной частотой повторения импульсов накачки получили схемы колебательной зарядки.

1.7. Модульные конструкции блоков зажигания ламп накачки.

Для инициирования зажигания дугового разряда используются различные схемы зажигания. При отсутствии надлежащих специальных кабелей, разъемов и других радиокомпонентов, а также с целью уменьшения импульсных потерь и уровня помех, устройства импульсного зажигания располагают, как правило, вне источника питания, в непосредственной близости от излучателя[1].

Наиболее часто в приборах дугового разряда используются схемы последовательного импульсного зажигания. Это связано, главным образом, с конструктивными удобствами подвода импульсного зажигания к газоразрядному прибору, особенно при наличии жидкостного охлаждения баллона трубки[1].

В схемах импульсного зажигания используется разрядка предварительно заряженного конденсатора через коммутатор на первичную обмотку повышающего трансформатора. В качестве коммутатора могут выступать тиратроны, механические и вакуумные разрядники. На рис. 1.13 показана схема тиратронного блока зажигания[1].

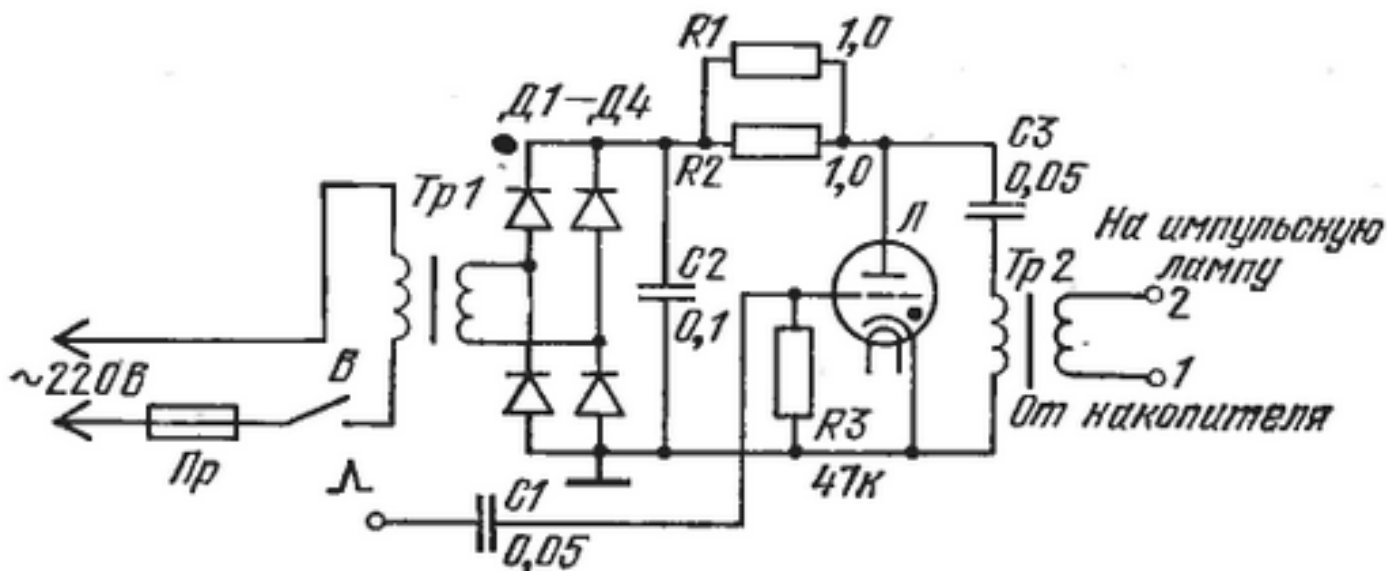


Рис. 1.13. Схема тиратронного блока зажигания.

Импульс на выходе схемы, изображенной на рис.13, имеет следующие параметры:

1. Амплитуду 40 кВ
2. Длительность ~2мкс
3. Максимальную частоту повторений импульсного зажигания 10 Гц.

Подобные блоки зажигания применены в импульсных источниках питания лазерных технологических установках «Квант-9» и «Квант-10».

На рис.1.14 представлена схема модульного блока зажигания МТ-1ПЖ для источника питания МИЛ-35 лазерной установки «Корунд».

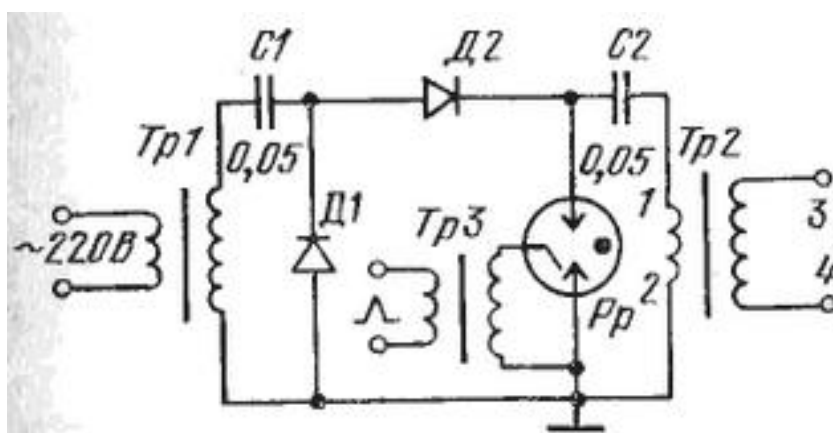


Рис.1.14. Схема модульного блока зажигания МТ-1ПЖ.

Принципиальная схема тиратронно-тиристорного генератора представлена на рисунке 1.15. Генератор работает следующим образом. Импульс запуска с крутизной нарастания тока 2,5А/мкс поступает от блока управления на управляющий электрод тиристора VS_1 и открывает его. Конденсатор C_1 заряжается от выпрямителя через первичные обмотки трансформаторов. Во время зарядки конденсатора C_1 на вторичной обмотки второго трансформатора возникает импульс напряжения и через одно из плеч выпрямителя происходит заряд второго накопительного конденсатора. Через некоторое время после того, как конденсатор C_2 зарядился, на сетку тиратрона подается поджигающий импульс и происходит разряд второго конденсатора на разрядный промежток P . После этого с помощью очередного импульса управления открывается тиристор VS_2 и происходит еще один заряд

конденсатора C_2 через другое плечо выпрямителя. После этого на сетку тиратрона подается очередной импульс, затем цикл работы повторяется[1].

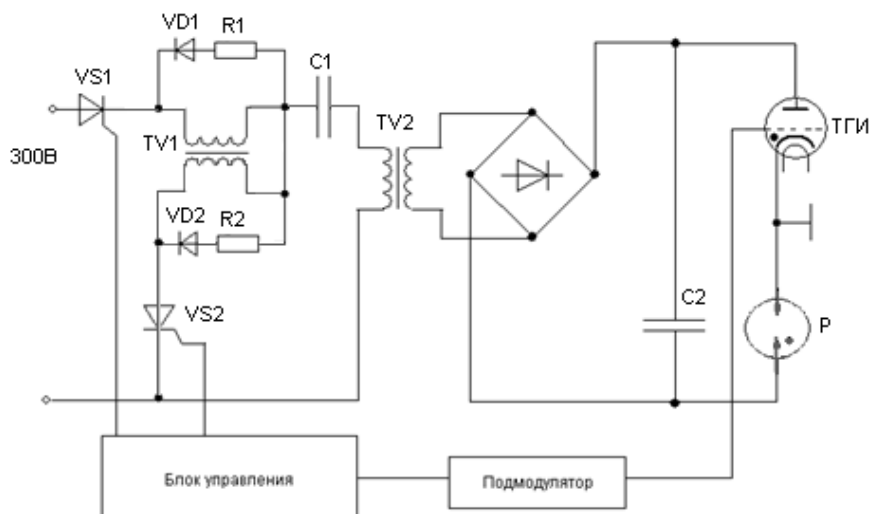


Рисунок 1.15 – Принципиальная схема тиратронно-тиристорного генератора импульсов возбуждения.

Рассматриваемый тиратронно-тиристорный генератор обеспечивает максимальную частоту следования импульсов возбуждения 12 кГц при напряжении на аноде тиратрона 10 кВ и средней выходной мощности 1,6 кВт[5].

1.8. Источники питания газовых и полупроводниковых излучателей.

Формирование коротких высоковольтных импульсов для накачки газовых лазеров осуществляется, как правило, по схеме полной разрядки накопителя энергии через коммутатор разрядник, тиратрон, тиристор. Наибольшее распространение получили схемы с водородными тиратронами, которые успешно работают в диапазоне длительностей от десятков наносекунд до сотен микросекунд при анодном напряжении от 3 до 50 кВ. импульсные тиратроны способны обеспечить мощность на нагрузке до сотен мегаватт и энергию накачки за один импульс до единиц килоджоуль; они позволяют работать при частотах повторений импульсов до тысяч герц, что вполне соответствует требованиям по накачке подавляющего большинства газовых лазеров.

На рис.1.16 представлены варианты схем формирования разрядного импульса газового излучателя, выполненные на различных активных элементах.

На рисунках 1.17-1.20 представлены схемы формирования разрядного импульса полупроводникового излучателя, выполненные на разных активных элементах[1].

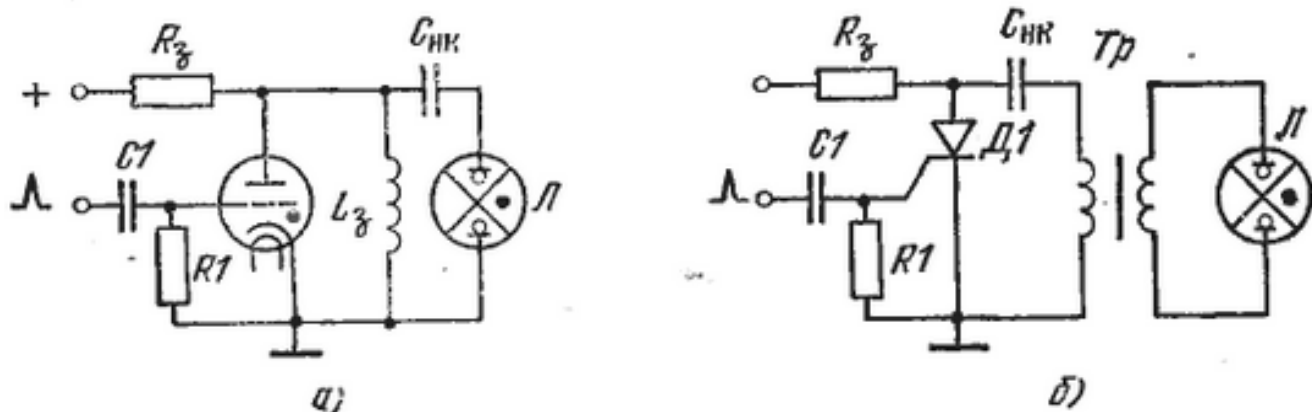


Рис.1.16 Схемы формирования разрядного импульса газового излучателя (а-тиратронная, б- тиристорная).

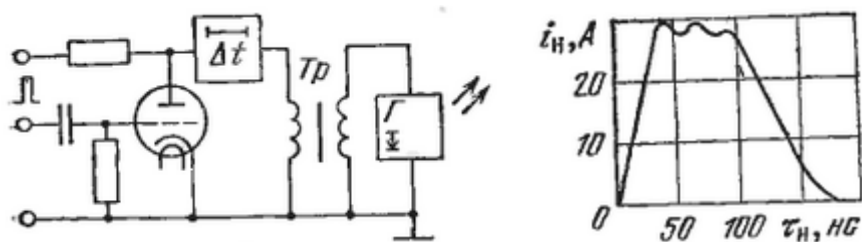


Рис.1.17 Тиратронная схема формирования импульса накачки с длинной формирующей линией и форма тока накачки.

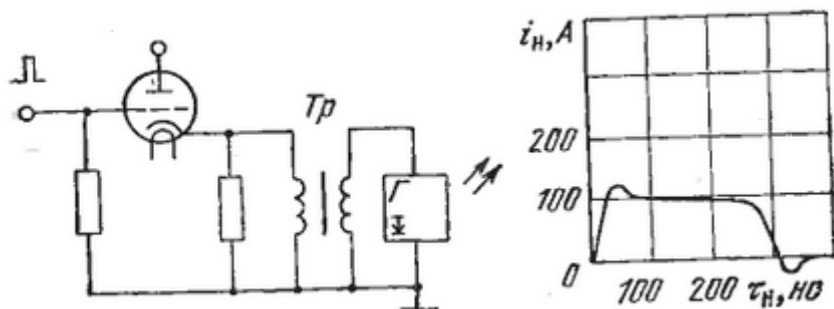


Рис.1.18 Ламповая схема формирования импульса накачки и форма тока накачки.

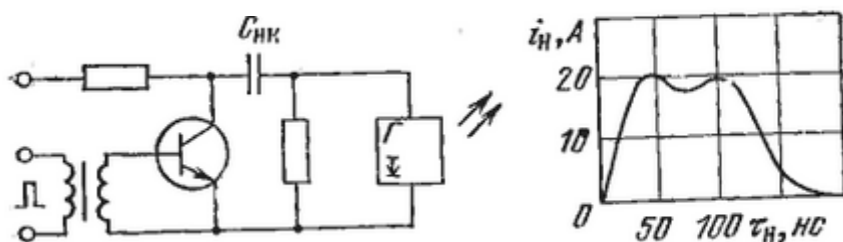


Рис.1.19 Транзисторная схема формирования импульса накачки и форма тока накачки.

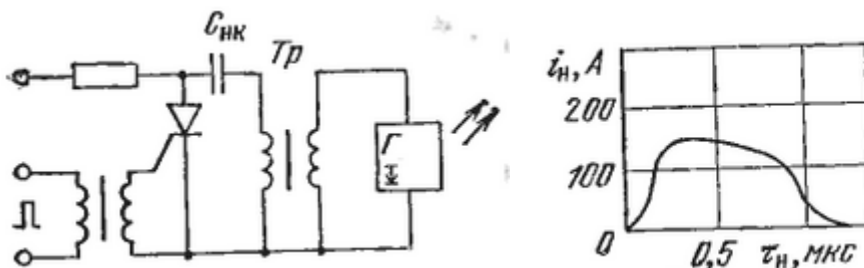


Рис.1.20 Тиристорная схема формирования импульса накачки и форма тока накачки.

1.9. Цепи магнитной компрессии.

Источники питания с цепями магнитной компрессии, или как их еще называют магнитные генераторы импульсов, представляют собой обширный класс электрических схем, предназначенных для получения импульсов на основе использования нелинейных свойств ферромагнитных сердечников. Основным элементом, общим для всех источников питания, является звено, в состав которого входит конденсатор и нелинейный дроссель, трансформатор или автотрансформатор с ферромагнитным сердечником [8]. Схема такого генератора обычно представляет собой соединение нескольких таких звеньев. Звенья могут быть двух типов. На рисунке 1.21 представлено звено, условно называемое тип А. Звено типа Б представлено на рисунке 1.22. Оно может содержать нелинейный дроссель переключающий трансформатор или автотрансформатор [7].

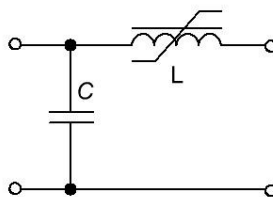


Рисунок 1.21 – Схема магнитного звена типа А.

Звенья типа А и Б существенно различаются по своим свойствам. Звено типа Б позволяет повысить напряжение без применения дополнительного трансформатора, звено типа А таким свойством не обладает.

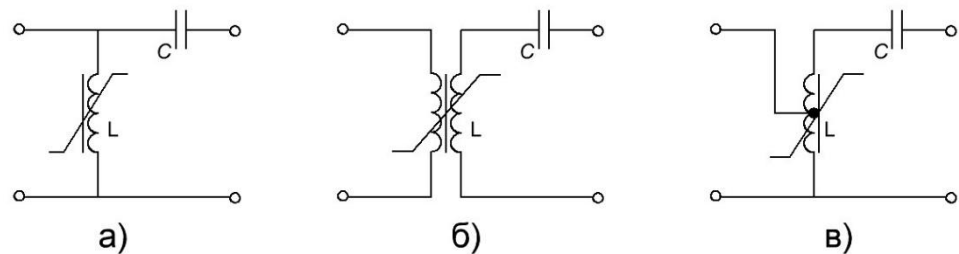


Рисунок 1.22 – Схемы магнитного звена типа Б:

а – с нелинейным дросселем; б – с трансформатором; в – с автотрансформатором.

На практике наиболее часто применяются комбинированные схемы генераторов, содержащие звенья обоих типов.

Источники питания, содержащие схемы магнитного сжатия, наряду с переключающими дросселями могут содержать управляемые ключи [7] (тиратроны, тиристоры, транзисторы и т. п.). Управляемый ключ может находиться не только в цепи заряда, но и в разрядной цепи конденсатора. Во втором случае он вместе с конденсатором образует звено с управляемым звеном. Звенья с управляемым ключом также бывают двух типов: типа А и типа Б (рисунок 1.23).

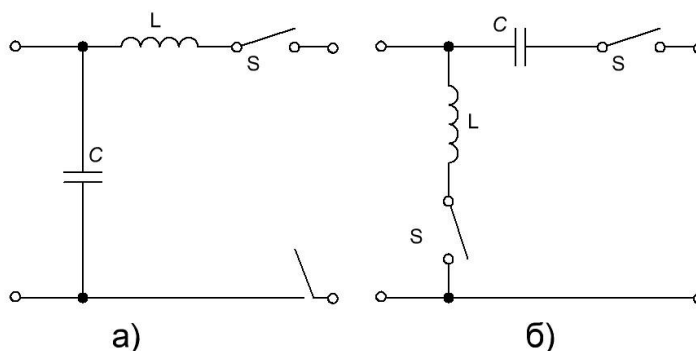


Рисунок 1.23 – Схемы звеньев с управляемым ключом:

а – звено типа А; б – звено типа Б.

Управляемый ключ и переключающий дроссель, несмотря на одинаковое назначение, существенно отличаются друг от друга по своим свойствам. В частности, генератор питания от постоянного источника напряжения обязательно должен иметь хотя бы один управляемый ключ.

На основании наличия или отсутствия в схеме управляемого ключа принято делить магнитные генераторы импульсов на два вида. К первому виду относятся магнитные генераторы, схемы которых не содержат управляемых ключей. Для питания таких генераторов необходим источник переменного напряжения, поэтому их также называют генераторами с питанием от источника переменного напряжения. В схемах магнитных генераторов импульсов второго вида, кроме магнитных звеньев, содержатся управляемые ключи. Питание данных генераторов может осуществляться как от источника переменного напряжения, так и постоянного. Чаще всего используют питание от источника постоянного напряжения, поэтому генераторы второго вида называют магнитными генераторами импульсов с питанием от источника постоянного напряжения. Для того чтобы длительность импульса через управляемый ключ была достаточно большой, необходимо чтобы он находился или в цепи заряда, или во входной части схемы (рисунки 1.24 и 1.25).

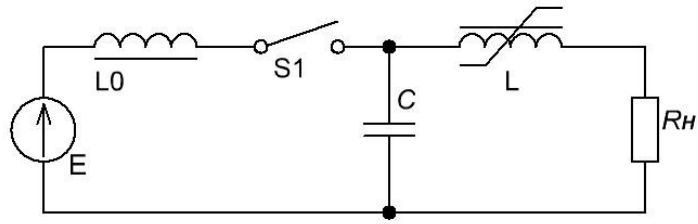


Рисунок 1.24 – Схема магнитного генератора второго вида с управляемым ключом в зарядном контуре.

Рассмотрим более подробно работу магнитного генератора, питаемого от источника постоянного напряжения в ждущем режиме (рисунок 1.24). Как известно, в электрической схеме содержащей только реактивные нелинейные элементы, какими являются переключающие дроссели, невозможно преобразование постоянного тока в переменный. Для того чтобы данное преобразование стало возможным, в схему вводится хотя бы один управляемый ключ.

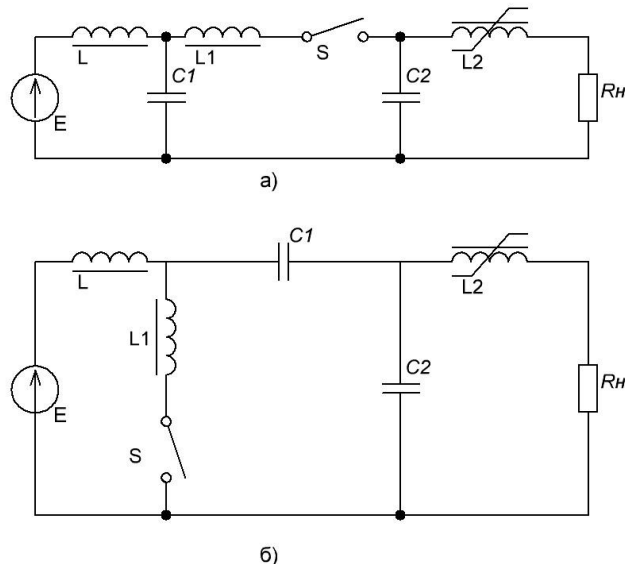


Рисунок 1.25 – Схемы генераторов второго вида с управляемым ключом в первом звене:

а – схема типа А; б – схема типа Б.

В качестве управляемых ключей может выступать как ламповые, так и транзисторные коммутаторы. В исходном состоянии при $t < t_1$ коммутатор S_1 заперт, нелинейный дроссель L не насыщен, а конденсатор разряжен до нуля. После отпираания коммутатора управляющим сигналом зарядный дроссель L_0 оказывается подключенным к источнику питания и в нем начинает нарастать ток, тем самым происходит резонансный заряд конденсатора до максимального значения U_m в течение интервала времени τ_1 . Приложенное напряжение к нелинейному дросселю L вызовет нарастание магнитной индукции в сердечнике. В момент времени τ_1 , когда конденсатор заряжен до максимального напряжения U_m , сердечник перейдет в насыщенное состояние и конденсатор разрядится в нагрузку через насыщенный дроссель L за интервал времени τ_2 , причем $\tau_1 > \tau_2$.

Рассмотрим работу магнитных генераторов на примере работы схемы генератора с питанием от источника переменного напряжения и дросселем подмагничивания [9]. Схема данного генератора приведена на рисунке 1.26.

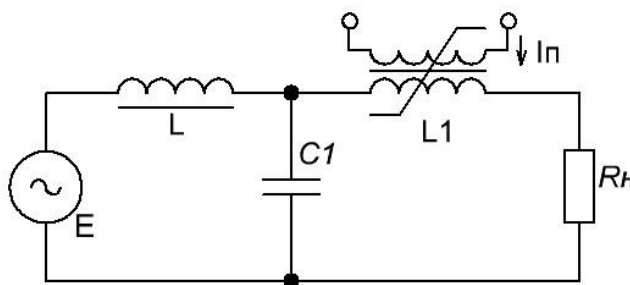


Рисунок 1.26 – Схема магнитного генератора с питанием от источника переменного напряжения и дросселем подмагничивания.

Для получения в нагрузке однополярных импульсов (рисунок 1.27) необходимо создать асимметрию. Асимметрия создается путем подмагничивания дросселя L_1 постоянным током I_n от вспомогательного источника. В этом случае схема будет работать в асимметричном режиме с

одним насыщением сердечника за период. Перемагничивание сердечника происходит по несимметричной петле гистерезиса, причем насыщение происходит только в одном направлении (рисунок 1.26).

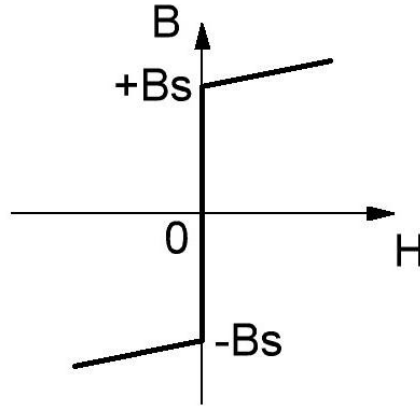


Рисунок 1.27 – Аппроксимированная характеристика намагничивания сердечника

В схеме среднее значение тока нагрузки всегда равно нулю, так как нагрузка не имеет гальванической связи с постоянными ЭДС и нелинейными выпрямительными элементами. Поэтому в интервалах между импульсами через нагрузку протекает обратный ток подмагничивания. Действительно, согласно закону Ампера

$$i_1 N_1 + i_n N_{n1} = Hl, \quad (1.1)$$

где i_1 , I_n , N_1 , N_{n1} – токи и числа витков, относящиеся к рабочей обмотке и обмотке подмагничивания дросселя L_1 соответственно.

Тогда

$$i_1 = \frac{Hl}{N_1} - i_n \frac{N_{n1}}{N_1}. \quad (1.2)$$

В ненасыщенном состоянии можно считать, что напряженность магнитного поля равна нулю. Таким образом, в интервалах между импульсами через обмотку протекает ток смещения, обусловленный подмагничиванием и

равный [9]

$$i_1 = I_{b1} = -i_n \frac{N_{n1}}{N_1}. \quad (1.3)$$

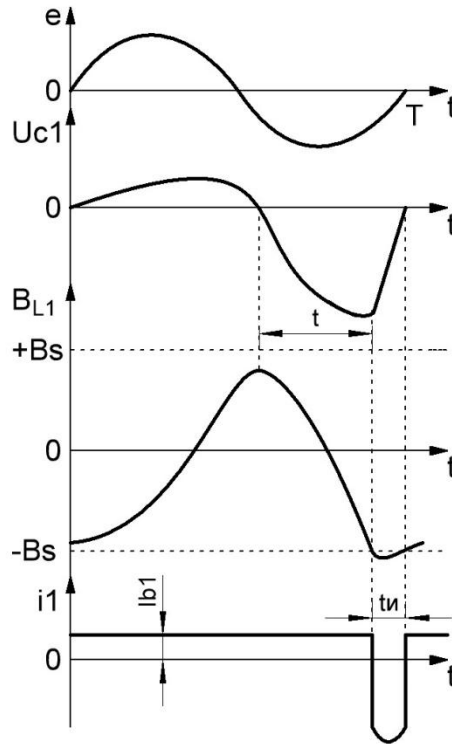


Рисунок 1.28 – Диаграммы работы схемы в асимметричном режиме

Таким образом, из принципа работы магнитных генераторов вытекает, что длительность разряда конденсатора через насыщенный переключающий дроссель значительно меньше длительности заряда этого конденсатора. То есть можно сказать, что в звене магнитного генератора импульсов происходит сжатие во времени, которое оценивается отношением длительностей заряда и разряда конденсатора. В соответствии с этим магнитные генераторы называют схемами сжатия или компрессии. Сочетание в схемах магнитных генераторов импульсов коммутаторов, выполненных на полупроводниковых или ламповых приборах, с магнитными звеньями позволяет обеспечить длительность тока, протекающего через коммутатор, во много раз больше длительности импульса в нагрузке. Поэтому амплитуда тока через коммутатор приблизительно во

столько же раз меньше амплитуды тока нагрузки, что обеспечивает более щадящий режим работы коммутатора.

1.10. Материалы для сердечников, используемых в цепях магнитной компрессии.

Основные магнитные элементы генераторов представляют собой переключающие дроссели и трансформаторы и выполняются на тороидальных сердечниках[8]. Сердечник коммутирующего дросселя изготавливают из специального ферромагнитного материала. Идеальный материал для сердечника характеризуется прямоугольной петлей гистерезиса. Также данный материал должен обладать возможно большим значением индукции насыщения B_n , особенно в тех случаях, когда важно уменьшить вес сердечника. Петля гистерезиса по форме должна быть возможно ближе к прямоугольной. Прямоугольность петли гистерезиса можно охарактеризовать отношением остаточной индукции B_r к индукции насыщения B_n .

Статическая петля гистерезиса материала сердечника должна обладать возможно меньшей площадью. Чем меньше площадь, тем меньше потери на гистерезис. Это требование существенно для первых звеньев магнитных генераторов импульсов.

Удельное сопротивление материала сердечника должно быть возможно большим. При этом уменьшаются потери на вихревые токи, что особенно важно для сердечников последних звеньев, где потери на вихревые токи составляют основную часть потерь в сердечнике.

Для намотки сердечников коммутирующих дросселей магнитных генераторов импульсов применяются, главным образом, железоникелевые сплавы. Эти сплавы обладают высокими значениями магнитной проницаемости

и небольшими значениями коэрцитивной силы. Основные справочные параметры сердечников это:

- B_n – индукция насыщения;
- B_r – остаточная индукция;
- H_c – коэрцитивная сила;

Индуктивность коммутирующего дросселя в ненасыщенном состоянии определяется по следующей формуле[7]:

$$L_{nn} = \frac{N^2 A}{l} \mu_{nn}, \quad (1.4)$$

а в насыщенном состоянии:

$$L_n = \frac{N^2 A}{l} \mu_n, \quad (1.5)$$

где N – количество витков; A – площадь поперечного сечения сердечника; l – длина средней магнитной линии сердечника.

Чтобы обеспечить высокую эксплуатационную надежность дросселей, следует при их конструировании стремиться к снижению градиентов электрического поля, тепловых нагрузок в сердечнике и механических усилий на сердечник. Также для защиты сердечника от механических усилий, которые существенно меняют его свойства, рекомендуют помещать сердечник в защитный каркас. Данные каркасы могут быть изготовлены из пластмассы, текстолита, гетинакса и т.д. Для улучшения отвода тепла сердечники можно также помещать в каркас, изготовленный из металла с хорошей проводимостью, при условии, что каркас не должен быть замкнут.

2. Объект и методы исследования.

2.1. Выбор и обоснование структурной схемы.

Для создания структурной схемы источника питания нужно знать входные параметры сети, которая, непосредственно, будет питать данный источник. В данной схеме будет использована сеть с напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

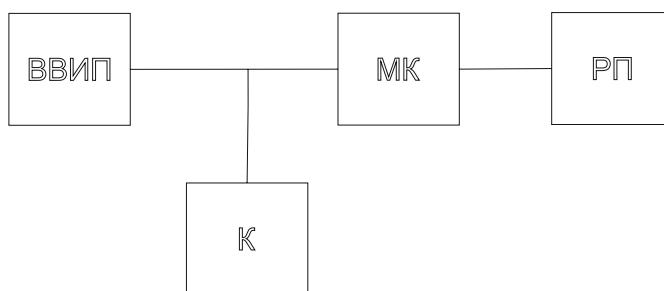


Рис.2.1. Структурная схема импульсного генератора накачки.

На рис 2.1. изображена структурная схема импульсного генератора накачки азотного лазера с поперечным разрядом, где ВВИП- высоковольтный источник питания, К- коммутатор (тиратрон), МК- магнитная компрессия, РП- разрядный промежуток.

На выходе ВВИП стоит тириатрон, который коммутирует напряжение с заданной частотой, и импульсы поступают на вход ячеек магнитной компрессии, а далее на разрядный промежуток самого лазера.

РП будет состоять из поперечных электродах, закрепленных на аноде и катоде, между анодом и катодом будут расположены высокочастотные конденсаторы, соединенные между собой параллельно.

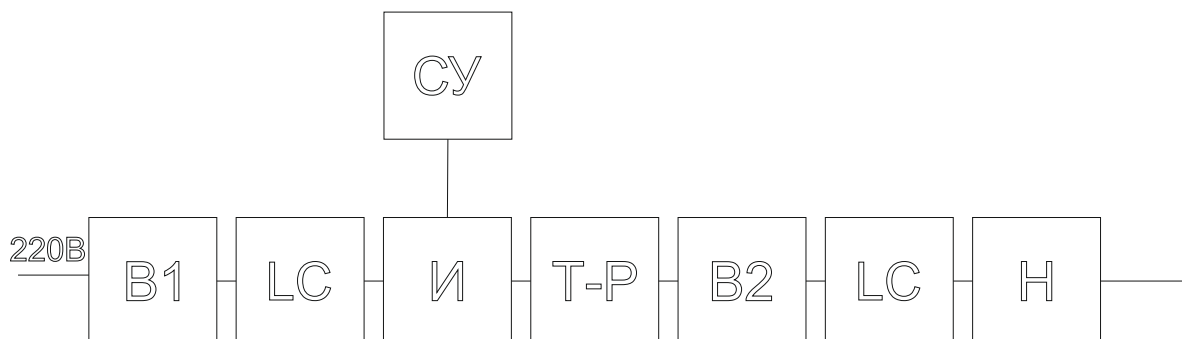


Рис 2.2- структурная схема ВВИП

На рис.2.2. изображена структурная схема ВВИП, где В1- выпрямитель трехфазного напряжения, И- мостовой инвертор, В2- выпрямитель переменного

напряжения с выхода инвертора, LC- сглаживающие фильтры, Т-Р- импульсный трансформатор, Н- нагрузка, СУ- система управления.

На вход данной схемы подается однофазное напряжение промышленной сети, проходит через выпрямитель и преобразуется из переменного в постоянный сигнал. Далее сигнал поступает на мостовой инвертор, инвертируется в переменный с заданной частотой, на выходе инвертора, в качестве нагрузки, стоит импульсный трансформатор. Переменный сигнал, с повышенным до определенного значения напряжением, поступает на вход однофазного мостового выпрямителя, где преобразуется в постоянный и поступает на нагрузку. На инвертор поступает сигнал с системы управления, организованной на ШИМ-контролере, которая задает частоту импульсов.

Положительные стороны данной схемы заключаются в том, что в ней немного элементов, простой принцип сборки и настройки.

На выходе выпрямителя 1 и 2 добавлены сглаживающие фильтры (СФ1 и СФ2) для уменьшения коэффициента пульсации на выходе выпрямителя.

2.2. Выбор и обоснование принципиальной схемы.

2.2.1. Принципиальная схема однофазного мостового выпрямителя.

На рис.2.3. изображена схема однофазного двухполупериодного выпрямителя и диаграммы, поясняющие принцип действия схемы, имеющая два плеча диодов, данный выпрямитель тоже может быть управляемым, если два или более диодов будут заменены тиристорами [12].

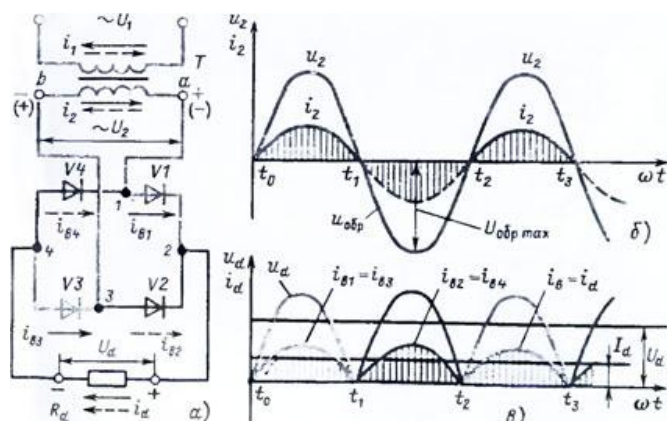


Рис.2.3. Схема однофазного двухполупериодного выпрямителя и диаграммы работы.

2.2.2. Принципиальная схема сглаживающего фильтра.

Сглаживающий фильтр (рис.2.4.) используется при большой мощности нагрузки.

- К достоинствам фильтра относятся: малые габаритные размеры, малая зависимость коэффициента сглаживания от изменений тока нагрузки (различный характер зависимости q от I_n для реактивных элементов взаимно компенсирует влияние).

- Недостатки: в таких фильтрах возникают переходные процессы, усложняющие работу, как потребителя, так и источника питания, дроссели фильтров имеют большие габаритные размеры и массу, а их индуктивность, следовательно, коэффициенты сглаживания зависят от тока нагрузки. При включении и отключении сети, а также при резких изменениях нагрузки в фильтре возникают переходные процессы, которые могут привести к перенапряжениям и броскам тока в элементах фильтра и выпрямителя[11].

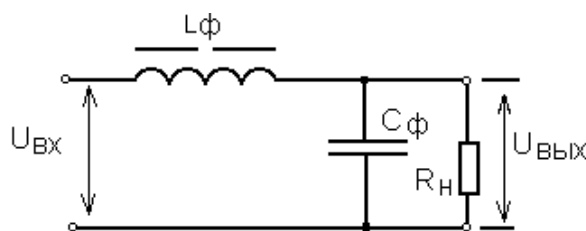


Рис.2.4. Сглаживающий LC-фильтр.

2.2.3. Принципиальная схема мостового инвертора

Свойства инверторов

Инверторы напряжения позволяют устранить или по крайней мере ослабить зависимость работы информационных систем от качества сетей переменного тока.

В сложных ответственных системах инверторные устройства могут работать в длительном контролируемом режиме параллельно с сетью или независимо от нее.

Кроме «самостоятельных» приложений, где инвертор выступает в качестве источника питания потребителей переменного тока, широкое развитие получили технологии преобразования энергии, где инвертор является промежуточным звеном в цепочке преобразователей[11].

Принципиальной особенностью инверторов напряжения для таких приложений является высокая частота преобразования (десятки-сотни килогерц). Для эффективного преобразования энергии на высокой частоте требуется более совершенная элементарная база (полупроводниковые ключи, магнитные материалы, специализированные контроллеры).

Кроме того, ИН должен иметь допустимый уровень высших гармонических составляющих в кривой выходного напряжения (допустимое значение коэффициентов гармоник) и не создавать при работе недопустимый для других потребителей уровень пульсации на зажимах источника энергии[11].

Работа инвертора

Работа инвертора напряжения (ИН) основана на переключении источника постоянного напряжения с целью периодического изменения полярности напряжения на зажимах нагрузки. Частота переключения «задается» сигналами управления, формируемыми управляющей схемой (контроллером). Контроллер также может решать дополнительные задачи:

- регулирование напряжения;
- синхронизация частоты переключения ключей;
- защитой их от перегрузок; и др.

Методы технической реализации инверторов и особенности их работы

Ключи инвертора должны быть управляемыми (включаются и выключаются по сигналу управления), а также обладать свойством двухсторонней проводимости тока. Как правило такие ключи получают шунтированием транзисторов обратными диодами. Исключение составляют полевые транзисторы, в которых такой диод является внутренним элементом его полупроводниковой структуры.

Регулирование выходного напряжения инверторов достигается изменением площади импульса полуволны. Наиболее простое регулирование достигается регулирование длительности (шины) импульса полуволны. Такой способ является простейшим вариантом метода широтно-импульсной модуляции сигналов (ШИМ).

Нарушение симметрии полувольт выходного напряжения порождает побочные продукты преобразования с частотой ниже основной, включая возможность появления постоянной составляющей напряжения, недопустимой для цепей, содержащих трансформаторы.

Для получения управляемых режимов работы инвертора, ключи инвертора и алгоритм управления ключами должны обеспечить последовательную смену структур силовой цепи, называемых прямой, коротко замкнутой и инверсной [10].

Типовые схемы инверторов напряжения

Существуют большое число вариантов построения схем инверторов.

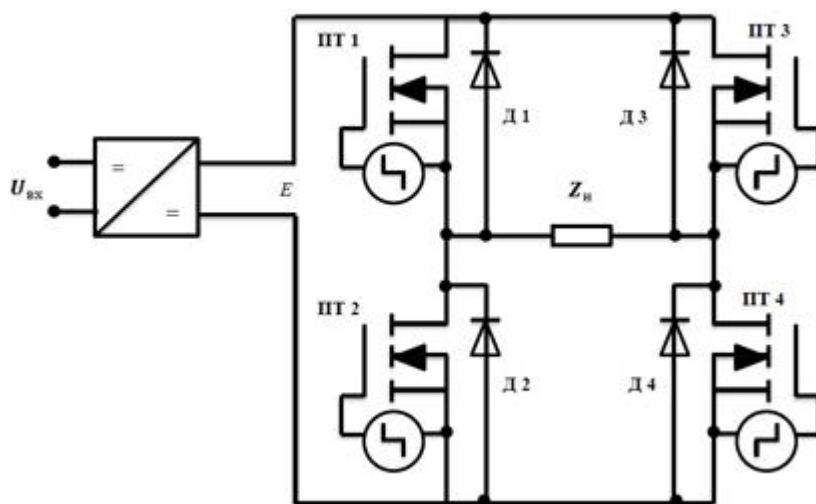


Рис 2.5- Мостовой инвертор без трансформатора.

Область применения: устройства бесперебойного питания мощностью более 500 В*А, установки с высоким значением энергии (220..360 В).

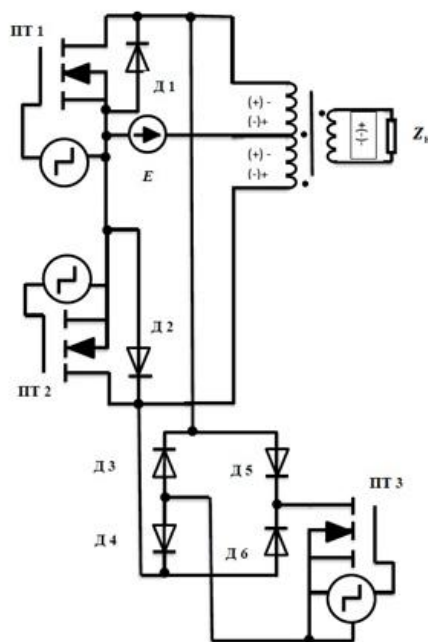


Рис 2.6 – инвертор с нулевым выводом трансформатора.

Область применения: Устройства бесперебойного питания компьютеров мощностью (250.. 500 ВА), при низком значении напряжения (12..24 В), преобразователи напряжения для подвижных систем радиосвязи.

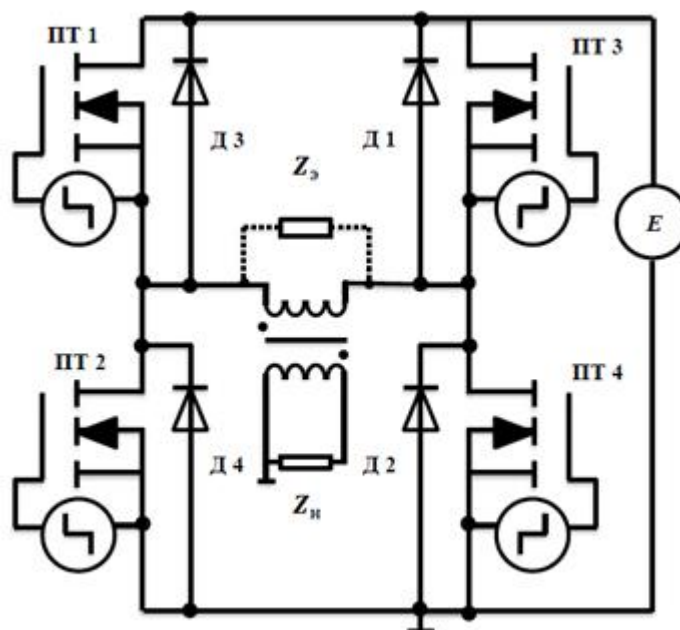


Рис. 2.7-Мостовой инвертор напряжения с трансформатором

Область применения: Устройства бесперебойного питания ответственных потребителей с широким диапазоном мощностей: единицы - десятки кВт*А.

Принцип построения инверторов

- Инверторы с прямоугольной формой выходного напряжения

Преобразование постоянного напряжения первичного источника в переменное достигается с помощью группы ключей, периодически коммутируемых таким образом, чтобы получить знакопеременное напряжение на зажимах нагрузки и обеспечить контролируемый режим циркуляции в цепи реактивной энергии. В таких режимах гарантируется пропорциональность выходного напряжения. В зависимости от конструктивного исполнения модуля переключения (модуля силовых ключей инвертора) и алгоритма формирования управляющих воздействий, таким фактором могут быть относительная длительность импульсов управления ключами или фазовый сдвиг сигналов управления противофазных групп ключей. В случае неконтролируемых режимов циркуляции реактивной энергии реакция потребителя с реактивными составляющими нагрузки влияет на форму напряжения и его выходную величину[12].

- Инверторы напряжения со ступенчатой формой кривой выходного напряжения

Принцип построения такого инвертора заключается в том, что при помощи предварительного высокочастотного преобразования формируются однополярные ступенчатые кривые напряжения, приближающиеся по форме к однополярной синусоидальной кривой с периодом, равным половине периода изменения выходного напряжения инвертора. Затем с помощью, как правило, мостового инвертора однополярные ступенчатые кривые напряжения преобразуются в разно-полярную кривую выходного напряжения инвертора [12].

- Инверторы с синусоидальной формой выходного напряжения

Принцип построения такого инвертора заключается в том, что при помощи предварительного высокочастотного преобразования получают напряжение постоянного тока, значение которого близко к амплитудному значению синусоидального выходного напряжения инвертора. Затем это напряжение постоянного тока с помощью, как правило, мостового инвертора преобразуется в переменное напряжение по форме, близкое к синусоидальному, за счет применения соответствующих принципов управления транзисторами этого мостового инвертора (принципы так называемой «многократной широтно-импульсной модуляции»). Идея этой «многократной» ШИМ заключается в том, что на интервале каждого полупериода выходного напряжения инвертора соответствующая пара транзисторов мостового инвертора коммутируется на высокой частоте (многократно) при широтно-импульсном управлении. Причем длительность этих высокочастотных импульсов коммутации изменяется по синусоидальному закону. Затем с помощью высокочастотного фильтра нижних частот выделяется синусоидальная составляющая выходного напряжения инвертора [12].

- Инверторы напряжения с самовозбуждением

Инверторы с самовозбуждением (автогенераторы) относятся к числу простейших устройств преобразования энергии постоянного тока. Относительная простота технических решений или достаточно высокой энергетической эффективности привело к их широкому применению в маломощных источниках питания в системах промышленной автоматики и генерировании сигналов прямоугольной формы, особенно в тех приложениях, где отсутствует необходимость в управлении процессом передачи энергии. В этих инверторах используется положительная обратная связь, обеспечивающая

их работу в режиме устойчивых автоколебаний, а переключение транзисторов осуществляется за счет насыщения материала магнитопровода трансформатора. В связи со способом переключения транзисторов, с помощью насыщения материала магнитопровода трансформатора, выделяют недостаток схем инверторов, а именно низкий КПД, что объясняется большими потерями в транзисторах[12].

Поэтому такие инверторы применяются на частотах не более 10 кГц и выходной мощности до 10 Вт. При существенных перегрузках и коротких замыканиях в нагрузке в любом из инверторов с самовозбуждением происходит срыв автоколебаний (все транзисторы переходят в закрытое состояние).

В качестве инвертора напряжения в схеме, был выбран мостовой инвертор с трансформатором, который позволит увеличить входное напряжение до 10кВ.

2.2.4. Принципиальная схема магнитной компрессии.

В данной схеме в качестве коммутирующего элемента могут использоваться коммутаторы, выполненные на основе полупроводниковых элементов, тиратронов, таситронов, вакуумных модуляционных ламп и др [21]. Анализируя техническое задание, останавливаем свой выбор на высоковольтном коммутаторе, представляющим собой тиратрон. Схема входной цепи с высоковольтным коммутатором представлена на рисунке 2.6.:

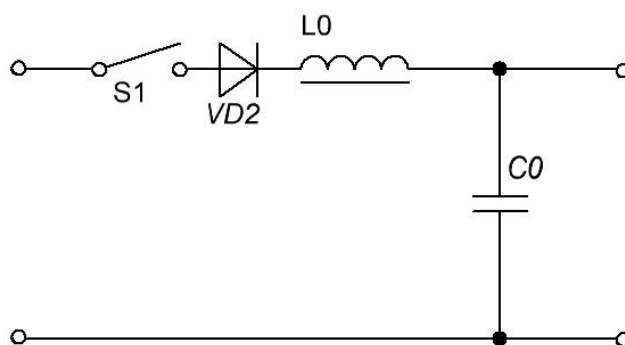


Рис.2.8– Схема входной цепи с высоковольтным коммутатором.

На схеме, представленной на рисунке 2.8, коммутатор S₁ представляет собой тиратрон, который подключен в цепь заряда конденсатора C₀, на сетку

которого подаются синхронизирующие импульсы. Частота следования этих синхронизирующих импульсов определяет в целом частоту следования импульсов накачки. Линейный дроссель L_0 обеспечивает требуемую длительность разряда конденсатора C_0 , то есть скорость нарастания тока через тиратрон.

Схема ячейки магнитной компрессии показана на рисунке 2.9. Выбор схемотехники данных звеньев обусловлен работами [22], [23] и [24].

Схема ячейки магнитной компрессии показана на рис.2.9. Данная ячейка состоит из двух звеньев магнитного сжатия, выполненных на нелинейных дросселях L_1 и L_2 .

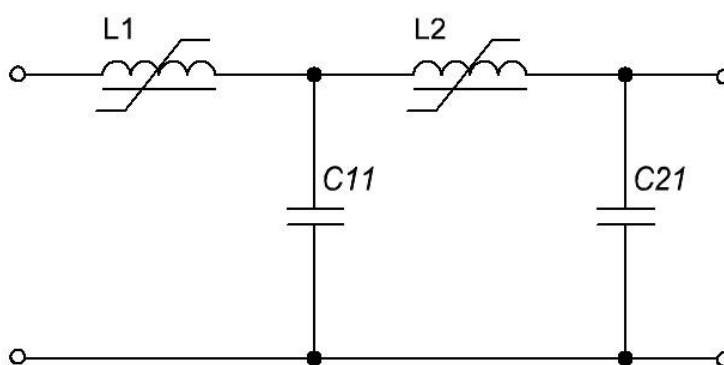


Рис.2.9- Ячейка магнитной компрессии.

Рассмотрим принцип работы формирователя импульсов (рис.2.8.). В начальный момент времени все конденсаторы схемы разряжены, а сердечники нелинейных дросселей L_1 и L_2 находятся в ненасыщенном состоянии. При поступлении синхронизирующего импульса на сетку тиратрона, представленного на рисунке 2.10, как коммутатор S_1 , тиратрон поджигается и начинается колебательный резонансный заряд конденсатора C_0 от источника постоянного напряжения через тиратрон и линейный дроссель L_0 . Дроссель L_0 служит для формирования требуемой длительности фронта импульса, следующего через тиратрон. Через отрезок времени равный полупериоду цепи заряда, напряжение на конденсаторе достигает максимальной величины равной

удвоенному напряжению питания, ток в цепи заряда проходит через нуль и тиратрон гаснет. Одновременно с зарядом конденсатора C_0 происходит увеличение индукции в сердечнике нелинейного дросселя L_1 , и в момент времени, когда напряжение на конденсаторе C_0 достигает максимальной величины, сердечник насыщается и начинается разряд конденсатора через насыщенный дроссель L_1 на конденсатор C_1 . Аналогично происходит передача импульса от первого звена ко второму и дальнейшая передача его на нагрузку.

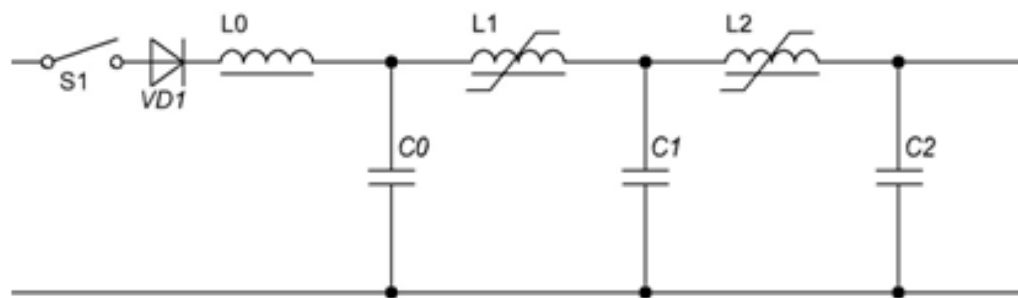


Рис.2.10- Схема формирователя импульсов.

2.3. Методы исследования.

Для разрешения поставленных задач проведен подробный литературный обзор по данной тематике, использовались известные методы анализа и расчета электрических цепей; средства программного математического пакета Mathcad 15; а также произведено моделирование в программном пакете LTspice IV.

2.3.1. Моделирование принципиальной схемы БФИ в программной среде LTspice IV

LTspice IV является бесплатным, простым и точным инструментом для моделирования электронных схем. В настоящее время бесплатный симулятор LTspice вытесняет коммерческие симуляторы MicroCAP и Pspice (встроен в OrCAD). Несмотря на то, что программа является бесплатной, она снабжена полноценным SPICE-симулятором, который позволяет моделировать аналогово-цифровые схемы, имеет дружественный интерфейс и обеспечивает достаточную скорость моделирования. Симулятор построен на базе SPICE3

движка, являющегося общепромышленным стандартом, который изначально предназначался для демонстрации возможностей микросхем источников питания компании Linear Technology. Благодаря обширной библиотеке микросхем от LT, очень скоро симулятор вышел за обозначенные рамки. Дополнительные библиотеки к симулятору могут быть написаны самим разработчиком. В связи с этим, сейчас он обладает библиотекой, которой может позавидовать любой коммерческий симулятор [26].

В данной работе проводилось моделирование принципиальной схемы магнитной компрессии в программном пакете LTspice IV. Макет схемы для моделирования, произведенный в программной среде, представлен на рисунке 2.11:

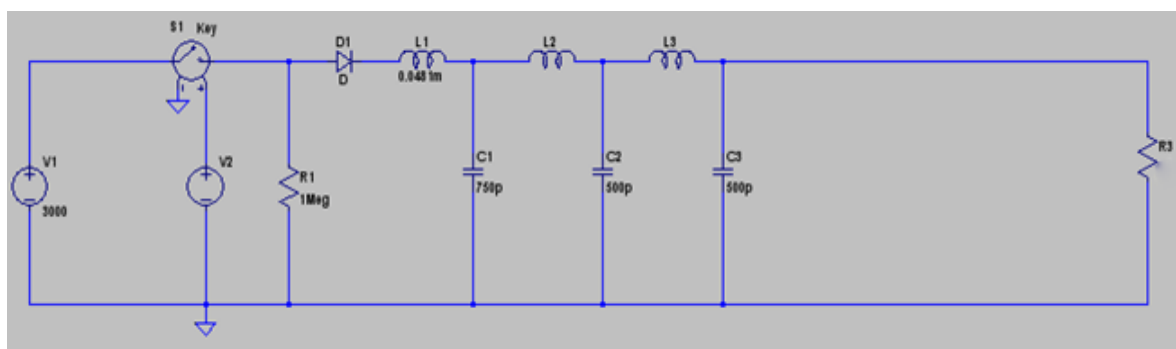


Рис 2.11 Принципиальная схема магнитной компрессии.

В качестве тиратрона, был применен ключ, управляемый напряжением V_2 на схеме. Источник напряжения V_2 представляет собой генератор прямоугольных импульсов, с частотой следования 10кГц. Источник напряжения V_1 – это источник постоянного напряжения, равного 3кВ. Также в зарядной цепи представлен диод VD_1 , который служит для отсекаания отрицательной полуволны сигнала, зарядный линейный дроссель L_1 и конденсатор C_1 , назначение которых было описано выше. Также в моделируемой схеме представлены звенья магнитной компрессии, состоящие из нелинейных дросселей L_2 и L_3 и конденсаторов C_2 и C_3 . Для описания нелинейных дросселей в программной среде LTspice IV используется упрощенная модель магнитного сердечника, которая была предложена в 1991 году Джоном Чаном [25]. Модель использует только основные параметры

петли гистерезиса, перечисленные в таблице 2.1 и показанные на рисунке 2.12.

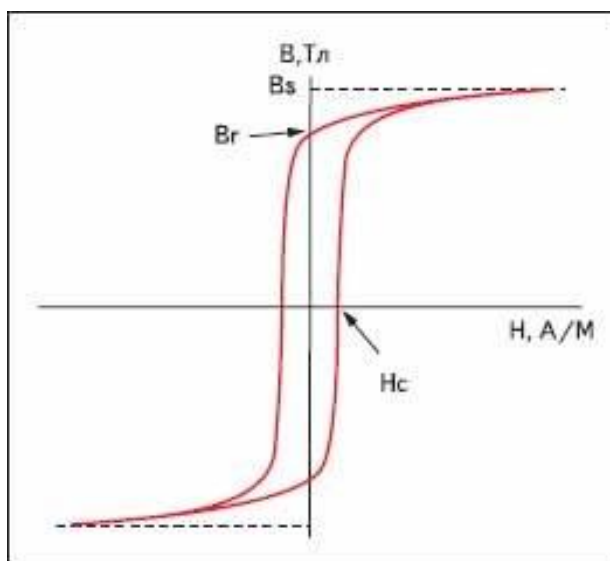


Рисунок 2.12 – Петля гистерезиса магнитного материала.

Таблица 2.1. Основные параметры петли гистерезиса.

Параметр	Описание	Единицы измерения
H_c	Коэрцитивная сила	А/м
B_r	Остаточная индукция	Тл
B_s	Индукция насыщения	Тл

Наряду с параметрами петли гистерезиса, при описании нелинейных дросселей учитываются линейные и конструктивные параметры сердечника [25], а также количество витков дросселя (таблица 2.2).

Таблица 2.2. Конструктивные параметры катушки

Параметр	Описание	Единицы измерения
L_m	Средняя длина магнитной линии (исключая немагнитный зазор)	м
L_g	Длина немагнитного зазора	м

A	Сечение сердечника	м ²
N	Количество витков катушки	-

Магнитное сжатие импульсов, с точки зрения схемотехники, представляет собой последовательный перезаряд электрических емкостей через насыщающийся нелинейный дроссель (катушку индуктивности). Конструкция дросселя насыщения представляет собой обмотку, выполненную на кольцевом сердечнике, сделанном из магнитного материала. При низкой частоте работы ячейки магнитной компрессии используются сердечники из пермаллоя [27], при высокой частоте (более 10кГц) чаще используются ферритовые сердечники [30]. Так как по техническому заданию задана частота следования импульсов в диапазоне от 10 кГц до 25 кГц, то в качестве материала сердечника нелинейного дросселя использовался феррит марки 2000НМ [28]. Основные параметры петли гистерезиса ферритового сердечника приведены в таблице 2.3:

Таблица 2.3. Основные параметры петли гистерезиса феррита марки 2000НМ.

Параметр	Значение	Единицы измерения
H_c	16	А/м
B_r	0,13	Тл
B_s	0,38	Тл

Основные конструктивные параметры нелинейных дросселей L_2 и L_3 приведены соответственно в таблице 2.4 и таблице 2.5 [26].

Таблица 2.4. Конструктивные параметры катушки L_2 .

Параметр	Значение	Единицы измерения
L_m	0,11407	м
L_g	0	м
A	0,00009783	м ²
N	123	-

Таблица 2.5 Конструктивные параметры катушки L_3 .

Параметр	Значение	Единицы измерения
L_m	0,11407	м
L_g	0	м
A	0.00009783	м ²
N	12	-

Диаграммы напряжений, полученные с помощью моделирование принципиальной схемы магнитной компрессии, приведены на рисунке 2.13.

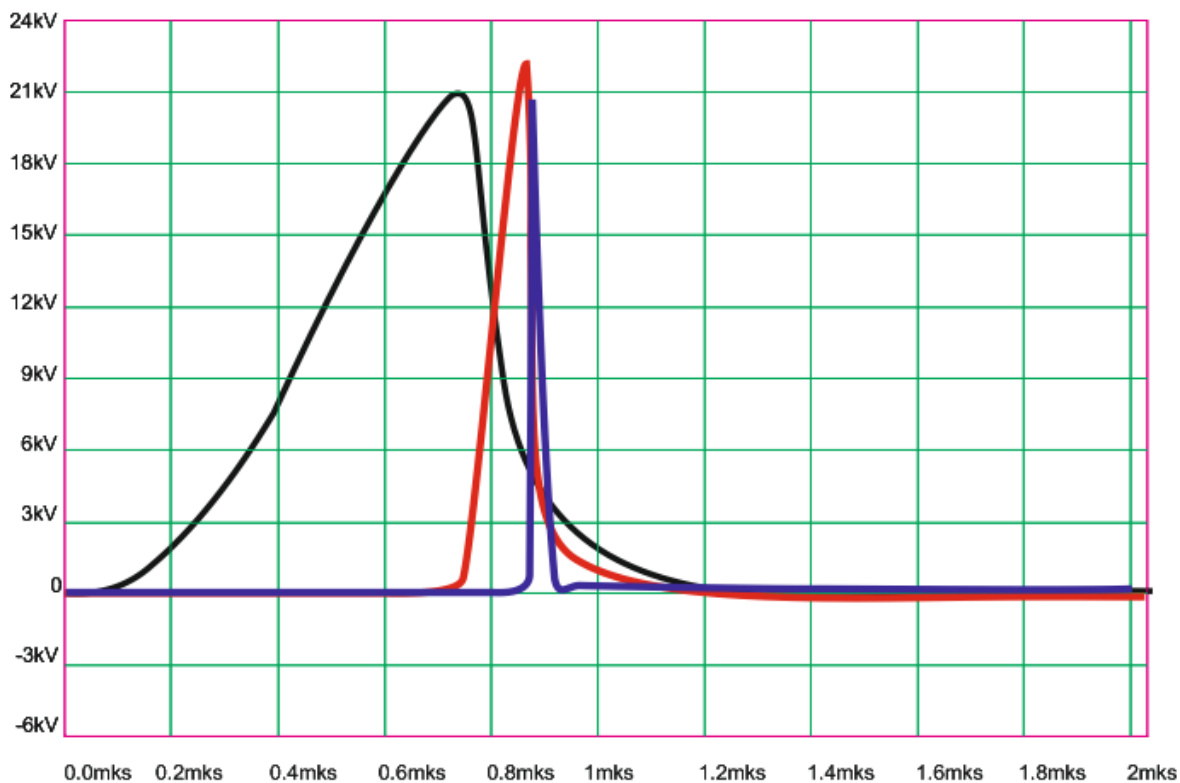


Рис.2.13- Результат моделирования магнитной компрессии.

На рисунке 2.14 изображена диаграмма напряжения на конденсаторе С1, время нарастания фронта 652.2нс.

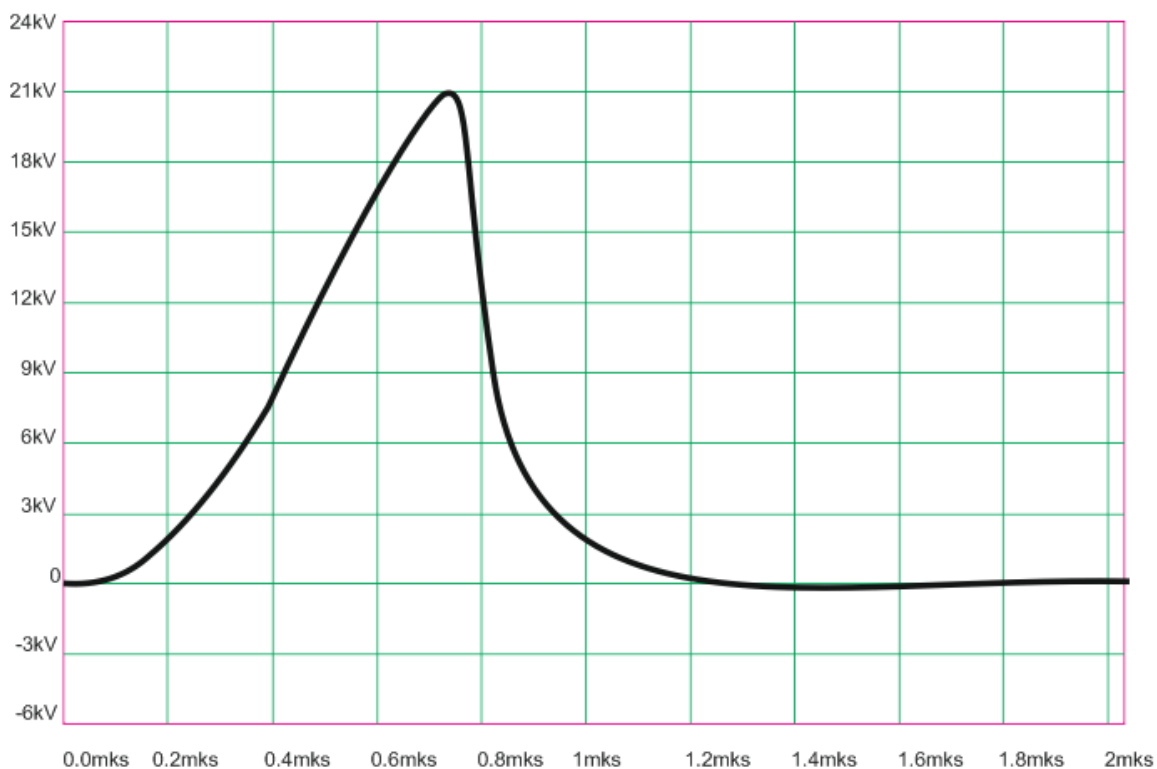


Рис 2.14 – диаграмма напряжения на С1 ячейки магнитной компрессии.

На рисунке 2.15. показана диаграмма напряжения на C2, фронт нарастания 128,6нс.

На рисунке 2.16. изображена диаграмма напряжения на конденсаторе C3, фронт нарастания 15,3нс.

Исходя из полученных данных при моделирование принципиальной схемы ячейки магнитной компрессии, видно, как сокращается время нарастания фронта от 652.2нс до 15.3нс.

Максимальные значения амплитуд напряжений на:

- $U(C1)=20.7\text{kV}$
- $U(C2)=22.8\text{kV}$
- $U(C1)=20.4\text{kV}$

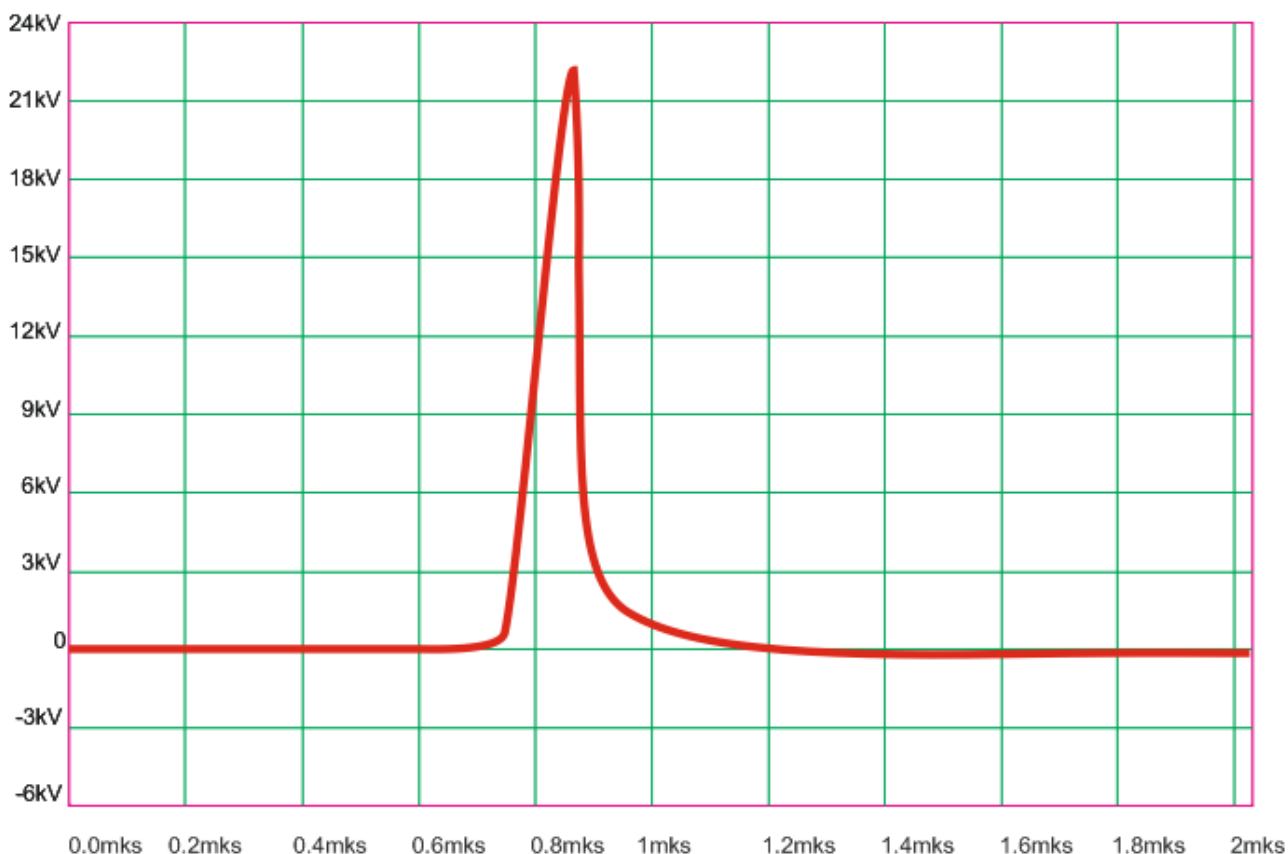


Рис 2.15- Диаграмма напряжения на C2.

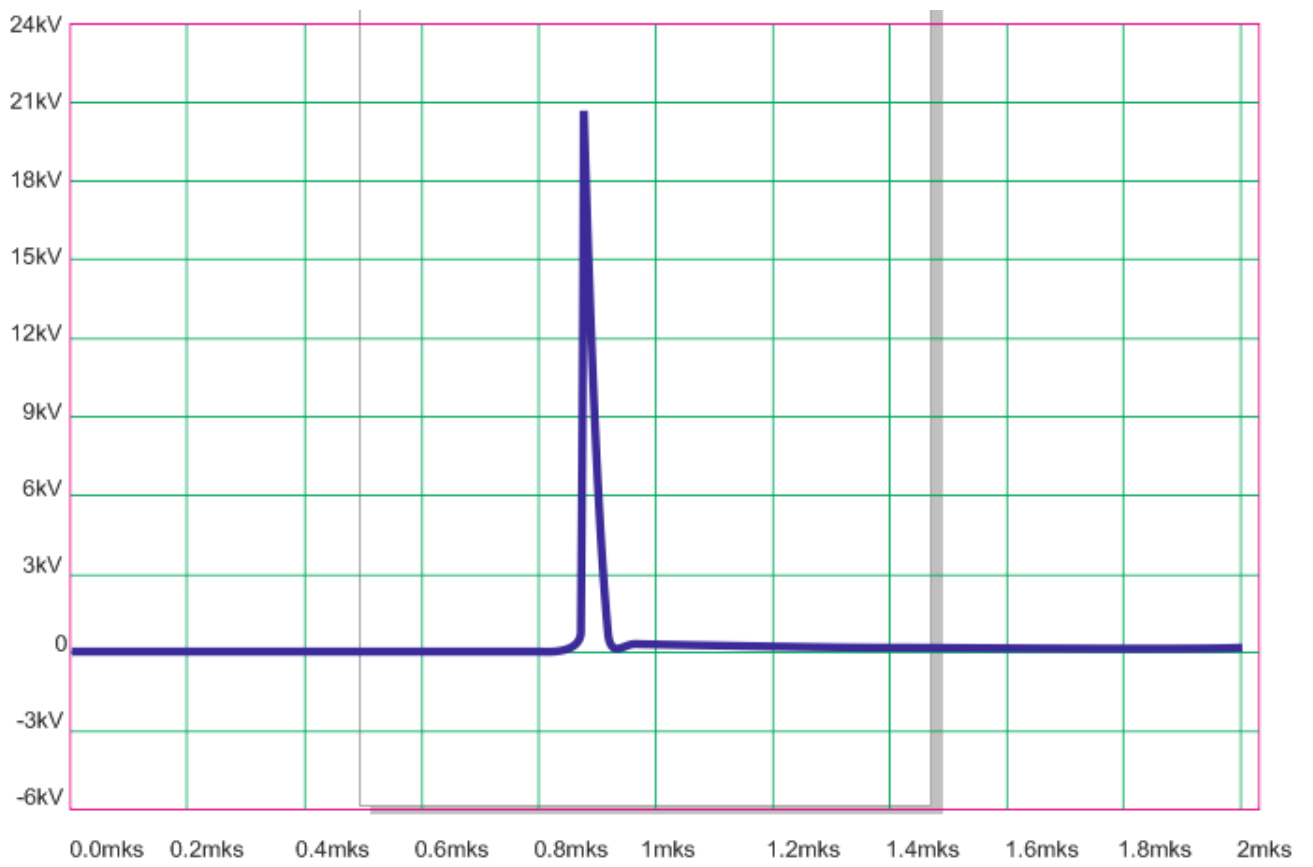


Рис 2.16- Диаграмма напряжения на С3.

3. Расчеты и аналитика.

3.1 Расчет входного выпрямителя и сглаживающего фильтра.

Зададимся коэффициентом пульсации выходного напряжения $K_{ПЛ} = 0.01$.

Определим средний ток потребляемый преобразователем напряжения. Данный ток равен среднему току ключа преобразователя:

$$I_{CP} = 0.356 A$$

В момент когда заперты все диоды данный ток разряжает ёмкость выпрямителя.

$$U_{C \max} = U_{BX \max} + 10\% = 342.2 B$$

$$U_{C0} = \frac{U_{C \max}}{1 + K_{ПЛ}} = 338.8 B$$

$$U_{C \min} = 0.99 U_{C0} = 335.4 B$$

Определим время при котором произойдёт включения диодов:

$$U_{C \min} = U_{BX \max} \sin(2\pi f t_0), \text{ где } f = 50 \text{ Гц}$$

$$t_0 = \frac{1}{2\pi f} \arcsin\left(\frac{U_{C \min}}{U_{BX \max}}\right) = 4.36 \text{ мс}$$

При разряде конденсатора напряжение на нём будет описываться выражением:

$$U_C(t) = U_{C \max} - \frac{I_{CP} t}{C}$$

$$U_C(t_0) = U_{C \max} - \frac{I_{CP} t_0}{C} = U_{C \min}$$

Отсюда получаем выражение для расчета ёмкости:

$$C = \frac{I_{CP} t_0}{U_{C \max} - U_{C \min}} = 228 \text{ мкФ}$$

Из справочника выбираем конденсатор:

$$K50 - 32 - 450B - 330 \text{ мкФ} - (-20+50)\%.$$

Рассчитаем импульс тока протекающего через диоды:

$$U_{BX}(t) = U_{BX \max} \sin(2\pi f t)$$

$$i_C(t) = C \frac{dU_C(t)}{dt} = 2\pi f C U_{BX \max} \cos(2\pi f t)$$

$$I_{C \max} = 2\pi f C U_{BX \max} \cos(2\pi f t_0) = 7.085 A$$

Выбор диодов VD1.

Параметры для выбора диодов:

$$U_{OБP \max} = 342.2 B$$

$$I_{IP \max} = 4.9 A$$

$$f = 50 Гц$$

Из справочника выбираем 8ETU04.

Рассчитаем потери в диодах:

Видно, что ток диодов приближается к треугольной форме, следовательно, средний и действующий значения токов можно определить используя следующие соотношения:

$$\gamma = \frac{\frac{T}{4} - t_0}{T} = \frac{5 - 4.36}{20} = 0.032$$

$$I_{VDcp} = \frac{I_{C \max}}{2} \cdot \gamma = 0.113 A$$

$$I_{VDd} = \frac{I_{C \max}}{\sqrt{3}} \sqrt{\gamma} = 0.732 A$$

Из справочных параметров диода:

$$U_{FM} = 1.3 B$$

$$R_D = \frac{U_{FM2} - U_{FM1}}{I_{F2} - I_{F1}} = \frac{1B - 0.6B}{2.5A - 0.1A} = 0.167 Ом$$

$$Q_{rr} = 210 нКл$$

$$P_{СТАТ} = U_{FM} \cdot I_{VDcp} + I_{VDd}^2 \cdot r_d = 1.3B \cdot 0.113A + 0.732^2 A \cdot 0.167 Ом = 0.237 Вт$$

$$P_{ДИН} = Q_{rr} U_{OБP \max} f = 0.004 Вт$$

Рассчитаем величину индуктивности дросселя L2.

Для определения величины индуктивности, определим значение $L_{кр}$.

$$X_{L_{кр}} = \frac{L_{кр}}{R_H \cdot T} = 0.331$$

$$L_{кр} = X_{L_{ок}} \cdot R_H \cdot T = 0.331 \cdot 0.625 \cdot \frac{1}{100000} \approx 2(\text{мкГн})$$

Примем запас по индуктивности равный 2. Таким образом, индуктивность дросселя равна:

$$L_2 = L_{кр} \cdot 2 = 4(\text{мкГн})$$

Конструктивный расчет дросселя L1.

Для конструктивного расчета дросселя потребуются:

$$I_{L_m} = 7,085(\text{А}) \quad I_{L_{кр}} = I_{VDp} = 3,2(\text{А}) \quad I_{L_{\delta}} = 9,98(\text{А})$$

Магнитопровод фирмы ГАММАМЕТ.

$$B_m = 0.7 \cdot B_s = 0.64(\text{Тл})$$

$$K_{ок} = 0.3$$

$$K_{см} = 0.95$$

$$j = 3\left(\frac{\text{А}}{\text{мм}^2}\right)$$

$$L = 4(\text{мкГн})$$

1. Находим произведение $S_{окн} \times S_{см}$

$$S_{окн} \times S_{см} = \frac{L \cdot I_{L_m} \cdot I_{L_{\delta}}}{B_m \cdot K_{см} \cdot K_{окн} \cdot j}$$

$$S_{окн} \times S_{см} = \frac{2.26 \cdot 10^{-6} \cdot 7,085 \cdot 9,98}{0.64 \cdot 0.3 \cdot 0.95 \cdot 3 \cdot 10^6} \approx 1,11 \cdot 10^{-8} (\text{м}^4) = 1,11(\text{см}^4)$$

Из справочника выберем необходимый магнитопровод.

ПЛ 8*12,5-13,5

Размеры, мм						L _{кр} , см	S _{ок} *S _{ст} , См ⁴	V См ³	S _{ст} , См ²
a	B	h	c	H	C				
8	12.5	12.5	10	29.5	26.5	6.9	1,25	0.5	1

Рассчитаем число витков.

$$W = \frac{L \cdot I_{L_m}}{B_m \cdot S_{см} \cdot K_{см}}$$

$$W = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 7,085}{0.64 \cdot 0.95 \cdot 1 \cdot 10^{-4}} \approx 46(\text{витков})$$

Определим диаметр и площадь поперечного сечения обмоточного провода.

$$S_{np} = \frac{I_{\delta}}{j} = \frac{7,085}{3} = 2,6(\text{мм}^2)$$

$$d_{np} = \sqrt{\frac{4 \cdot I_{\delta}}{\pi \cdot j}} = 2,4(\text{мм})$$

5. Проверка коэффициента заполнения окна.

$$K_o = \frac{S_{np} \cdot W}{S_{ок}} = \frac{2,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{1,25} \approx 0,0416 < 0,3$$

3.1 Расчет инвертора.

Для расчета инвертора необходимо иметь следующие исходные данные:

- коэффициент загрузки $K_3 = 0,5$
- напряжение на первичной обмотке трансформатора $U_1 = 310V$
- ток трансформатора $I = 0,434 A$

Так как форма тока прямоугольная, то действующий ток коллектора:

$$I_d = I_m = 0,434 A$$

Определяем напряжение коллектора:

$$U_k = \frac{U_{вых}}{K_3} = \frac{310}{0,5} = 620 V$$

Таким образом, в качестве транзистора выбираем 1МВ03D-120

Технические параметры транзистора 1МВ03D-120:

1. напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ} = 700V$;
2. ток коллектора $I_{кmax} = 5A$;
3. максимальное время включения $t_{вкл} = 0,6 \text{ мкс}$;
4. импульсный ток коллектора $I_{кimp} = 20A$;
5. Напряжение в открытом состоянии $U_{кэ \text{ вкл}} = 3,5V$

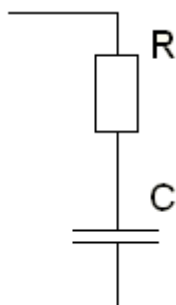
Расчет потери мощности на транзисторах:

$$P_{пот} = U_{кэ} \cdot I_k = 3,581 = 3,5 \text{ Вт}$$

$$P_{общ} = P_{пот} \cdot 4 = 14 \text{ Вт}$$

Расчёт демпфирующей RCD – цепи.

Демпфирующая цепь имеет вид:



Исходные данные:

$$E = 310V$$

$$I_{VTcp} = 1A$$

$$L_p = 100\text{мкГн}$$

Расчёт демпфирующей цепи:

$$E_1 = 1.2E = 372V$$

Из графика определяем коэффициент тока и затухания:

$$\chi = 0.7$$

$$\delta = 2$$

Производим расчёт резистора и конденсатора:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_p}{C_s}} = \frac{E \cdot \chi}{I_{VTcp}} = 260,4\text{Ом} \Rightarrow C_s = \frac{I_{VTcp}^2}{E^2 \cdot \chi^2} L_p = 1,5\text{нФ}$$

$$R_s = 2Z_0\delta = 1\text{кОм}.$$

Для выбора резистора необходимо рассчитать мощность, выделяющуюся на резисторе:

$$P_R = 2 \cdot f \cdot W_C = 2 \cdot f \cdot E_1^2 \cdot C_s = 0,5\text{Вт}.$$

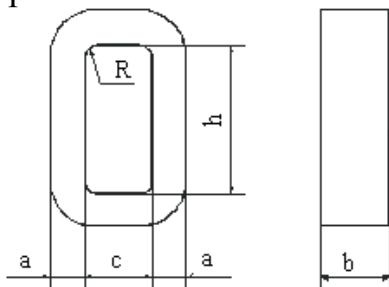
Из справочника выбираем резистор: С5-16МВ-0,5 1кОм

Выбираем конденсатор: СГМ-3 1,5нФ 500в 10%

Расчет силового трансформатора.

Магнитопроводы ГАММАМЕТ® 24ДС применяют в изделиях электронной техники и электротехники при частоте до 1 МГц. Магнитопроводы заменяют магнитодиэлектрики из альсифера и пермаллоя, а также Магнитопроводы из феррита и электротехнической стали с воздушными зазорами.

Область применения: силовые трансформаторы, трансформаторы тока и реакторы.



Размеры прямоугольного магнитопровода ПЛ.

Буквенное обозначение типоразмера стандартного разрезного П – образного магнитопровода – ПЛ. Размеры магнитопровода ПЛ представлены на рисунке. При этом введены обозначения: a - толщина магнитопровода, мм, b - высота магнитопровода, мм, c - ширина окна магнитопровода, мм, h - высота окна магнитопровода, мм, R - внутренний радиус магнитопровода, мм, который согласуется при заказе.

Типичные физические свойства магнитопроводов ГАММАМЕТ 24ДС

Магнитная индукция насыщения	0,8 Тл
Коэффициент прямоугольности B_r / B_s	<0,01
Магнит острокция насыщения	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Температура Кюри	600°C
Удельное электросопротивление	$1,25 \cdot 10^{-6}$ Оммм
Плотность	5200 кг/м ³
Температурный коэффициент в интервале от -60°C до +125°C	0,02 %К ⁻¹

Для выбора типоразмера сердечника трансформатора определим:

$$1. \quad SS_0 = \frac{P_H \cdot 10^2}{2 \cdot f \cdot B_m \cdot j \cdot \sigma \cdot \eta_{тр} \cdot k_\phi}, \text{ где } f \text{ – частота преобразования ШИМ –}$$

контроллера; B_m – индукция материала сердечника трансформатора, примем 0,64 [Тл]; σ - коэффициент заполнения окна сердечника, примем 0,2; K_ϕ – коэффициент формы (для прямоугольника $K_\phi = 1$); $\eta_{тр}$ – КПД трансформатора, примем 0,95; j – плотность тока в проводах обмоток трансформатора, примем 3А/мм²; S – площадь сечения материала сердечника; S_0 – площадь сечения окна сердечника трансформатора. Таким образом

$$SS_0 = \frac{P_H \cdot 10^2}{2 \cdot f \cdot B_m \cdot j \cdot \sigma \cdot \eta_{тр} \cdot k_\phi} = 96 \text{ см}^4$$

Выбираем, с запасом, сердечник ПЛ16*30*25(80)
($S = 4,8 \text{ см}^2$, $S_0 = 20 \text{ см}^2$).

Число витков первичной обмотки трансформатора:

$$2. \quad w_1 = \frac{U_{ax} \cdot 10^4}{4 \cdot f \cdot B_m \cdot S} = \frac{620 \cdot 10^4}{4 \cdot 50000 \cdot 0,64 \cdot 7,5} = 10,1 \text{ витков.}$$

3. Коэффициент трансформации:

$$n = \frac{U_{обсх}}{U_{ax \min} \cdot 2 \cdot \gamma_{\max}} = \frac{10000}{620 \cdot 2 \cdot 0,45} = 17,92, \text{ где } \gamma_{\max} \text{ – коэффициент заполнения –}$$

0,45.

$$\gamma_{\max} = \frac{U_{\text{вых}}}{n \cdot U_{\text{вх min}} \cdot 2} = \frac{10000}{17,92 \cdot 620 \cdot 2} = 0,45$$

Число витков вторичной обмотки:

$$w_2 = n \cdot w_1 = 17,92 \cdot 11 = 197,12 \text{ витков.}$$

4. Найдем сечения проводов:

А) Сечение провода вторичной обмотки: $s_2 = \frac{I_{\max}}{j} = \frac{0,055}{3} = 0,018 \text{ мм}^2$.

Б) Сечение провода первичной обмотки: $s_1 = \frac{n \cdot I_{\max}}{j} = \frac{17,92 \cdot 1}{3} = 6 \text{ мм}^2$.

На первичной обмотке трансформатора используем 5 жил, на вторичной 4 жилы.

Общее сечение меди:

5. $S_{\text{cu}} = s_{1c} \cdot w_1 + s_{2c} \cdot w_2 = 2,6 \cdot 10,1 + 2,36 \cdot 197,12 = 491,5 \text{ мм}^2$.

Тогда коэффициент заполнения окна сердечника, без учета межобмоточной изоляции:

6. $\sigma = \frac{S_{\text{cu}}}{S_0} = \frac{491,5 \cdot 10^{-2}}{20} = 0,25$, что меньше значения $= 0,3$.

$$P_{\text{габ}} = 4 \cdot k_{\text{ф}} \cdot K_{\text{зс}} \cdot K_{\text{ок}} \cdot n_0 \cdot S_{\text{с}} \cdot S_{\text{ок}} \cdot j \cdot B \cdot f$$

$$P_{\text{габ}} = 4 \cdot 1 \cdot 0,45 \cdot 0,4 \cdot 7,5 \cdot 40 \cdot 3 \cdot 0,64 \cdot 50000 = 663,5 \text{ Вт}$$

3.3 Расчет выходного выпрямителя.

Рассчитаем параметры и выберем диоды выпрямителя.

Прямой ток диода: $I_{\text{vd}} = \frac{I_{\text{m}}}{2} = 0,0275 \text{ А}$

Максимальное обратное напряжение диода: $U_{\text{vd}} = 10000 \text{ В}$

Выбираем диод UX-FOB с параметрами:

- максимальное обратное напряжение 8000В;
- максимальный средний прямой ток 0.5А

Так как максимальное обратное напряжение меньше действительного, то ставим по два диода в плечо мостового выпрямителя.

Ёмкость выходного конденсатора

$$C = \frac{2 \cdot E}{U^2} = \frac{2 \cdot 0,04}{10^8} = 0,8 \text{ нФ}$$

Расчет схемы управления.

Схема управления построена на ШИМ-контроллере K1156EУ2 и на драйверах IR2110, питание микросхем осуществляется с помощью микросхемы HV-2405E, которая преобразует входное напряжение сети в напряжение питания микросхем.

1. Особенности осциллятора:

Обеспечивает формирование пилообразного напряжения, синхронизацию от внешнего сигнала, формирование тактовых импульсов во время спада пины, при высоком уровне синхроимпульсов сбрасывается ШИМ защелка.

Частота осциллятора устанавливается внешними компонентами резистором R2 и конденсатором C4, подключенным к выводам 5 и 6 микросхемы соответственно. Данные элементы подбираются по характеристикам.

R6: C2 – 23 - 0.062 Вт - 10кОм+5%

C5: B32 651 (2.2nF,1250V DC)

2. Особенности усилителя ошибки:

Усилитель ошибки микросхемы представляет собой операционный усилитель (ОУ) с низкоимпедансным выходом с широкой полосой пропускания и высокой скоростью нарастания выходного напряжения (не менее 12 В/мсек). Потенциал выхода ОУ не может превышать потенциал на выводе 8. Коэффициент усиления можно устанавливать, используя обычную технику обратных связей. Типовая АЧХ усилителя имеет значение коэффициента усиления 95 дБ на постоянном токе и один низкочастотный полюс на 100 Гц.

Подключение входов усилителя ошибки зависит от полярности выходного тока проектируемого источника питания. Если требуется стабилизировать положительный ток, то синфазное напряжение равно 5,1В (опорное напряжение). Если стабилизируется отрицательный ток, то синфазное напряжение рекомендуется устанавливать равным половине опорного напряжения, а делитель обратной связи подключать между выходом стабилизатора и опорным.

Следует иметь в виду, что выход ОУ нагружен внутренним резистором 50 кОм к земле. Поэтому, если внешняя нагрузка предполагает большой втекающий ток, то для снижения потенциала на выходе ОУ может потребоваться дополнительный шунтирующий резистор R10 и R11, и конденсатор C11 для фильтрации помех.

R4: C2 – 23 - 0.062 Вт - 10кОм+5%

R5: C2 – 23 - 0.062 Вт - 1кОм+5%

C5: K10 - 17A - H30 - 0.1мкФ+10%

Для регулировки тока, на неинвертирующий вход компаратора необходимо подать переменное напряжение. Данное напряжение подаётся с резистивного делителя.

R8: C2 – 23 - 0.062 Вт - 1000кОм+5%

R7: C2 – 23 - 0.062 Вт – 30,9кОм+5%

R6: СП2 – 23 - 0.062 Вт - 965кОм+5%

3. Особенности ИОН:

Термокомпенсированный ИОН выполнен по схеме на ширине запрещенной зоны кремния. Выходное напряжение ИОН индивидуально подстраивается на 5,1 В при производстве микросхем. От ИОН запитаны компараторы, внутренняя логика, источник смещения на 1,25 В, ОУ, осциллятор. ИОН имеет защиту от короткого замыкания.

4. Особенности компараторов:

На компаратор подаем пилообразное напряжение, которое формируется на ножке Ст.

5. Особенности логических элементов

Ток переключения элементов внутренней логики выбран на уровне 400 мкА; поэтому, хотя на пути между входными компараторами и выходными драйверами находятся два вентиля ИЛИ DD2 и DD4, ШИМ защелка DD3, инверторы DD8, DD9, они дают только 20 % всей задержки; основная задержка приходится на компараторы и выходные каскады.

6. Особенности выходных драйверов

Чтобы минимизировать звон на выходных осциллограммах, который может отрицательно сказываться на работе как силовых МОП транзисторов, подключенных к микросхеме, так и самой микросхемы, последовательная индуктивность, подключенная к выходам драйверов должна быть минимальной. Решением может быть приближение МОП транзисторов к микросхеме насколько это возможно и использование последовательных демпферных резисторов из угольных композиций. Чтобы уменьшить электромагнитное излучение от силовых транзисторов, требуется экранирование. Второй подход - это размещение силовых транзисторов на некотором расстоянии от ИМС и использование последовательно-согласованных линий передач для сохранения качества импульса драйвера. Такой подход минимизирует шум, наводимый на аналоговые цепи контроллера. И в этом случае может потребоваться экранирование или использование драйверов (в нашем случае IR2110).

В обоих вариантах рекомендуется шунтировать выходы драйверов диодами VD14-VD17 и VD24-VD27. Если драйверы работают на разделительный трансформатор, или, если выбросы через емкость сток -

затвор очень сильные, шунтирующие диоды обязательны. Диоды с пиковым током 1 А в любом случае ограничат отрицательные выбросы на уровне минус 0,3 В.

3.4. Расчет звеньев магнитной компрессии

Традиционно в качестве высоковольтного коммутирующего элемента генераторов высоковольтных импульсов возбуждения электроразрядных газовых лазеров используются тиратроны, которые имеют недостатки [23]. Самым главным недостатком тиратронов является его малый срок службы. Это объясняется тем, что в период формирования импульсов через тиратрон протекает достаточно большой ток, который способствует разрушению электродов, и, как следствие, выходу из строя тиратрона. Для устранения данного недостатка предлагается использование в схеме звеньев магнитного сжатия. Это обусловлено тем, что применение звеньев сжатия на магнитных элементах позволяет во много раз уменьшить амплитуду тока, протекающего через тиратрон и скорость его нарастания. При одних и тех же параметрах на нагрузке ток, протекающий через тиратрон в схеме с ячейками магнитного сжатия, может быть в десятки раз меньше тока, протекающего через тиратрон в обычной схеме [23].

В Приложение Б представлена принципиальная схема генератора накачки для газоразрядного лазера. Схема содержит две ячейки магнитного сжатия, выполненные на нелинейных дросселях, а нагрузка представляет собой газоразрядную трубку.

В основу принципа магнитного сжатия импульсов положен нелинейный характер кривой намагничивания ферромагнитных материалов. С точки зрения схемотехники, магнитное сжатие импульсов реализуется путем последовательного перезаряда электрических ёмкостей через насыщающийся дроссель (индуктивность). Конструкция дросселя насыщения, представляет собой обмотку, выполненную на кольцевом сердечнике из ферритового сплава марки 2000НМ.

Для данной схемы считаем, что в стационарном режиме работы в начале каждого периода напряжения на всех конденсаторах равны нулю. Для расчета ячейки магнитного сжатия примем:

- $C_1 = 750$ пФ;
- $C_2 = C_3 = 500$ пФ;
- $f = 5$ кГц;
- $\tau_{z0} = 1$ мкс;
- $U_{пит} = 10$ кВ,

где C_1, C_2 и C_3 – емкости конденсаторов;

f – частота следования импульсов;

τ_{z1} – время заряда конденсатора C_0 ;

$U_{пит}$ – постоянное напряжение питания.

Дроссель L_0 должен обеспечить требуемую длительность $\tau_{z0} = 1$ мкс резонансного заряда конденсатора C_1 до максимального значения, равного удвоенному напряжению питания, то есть 6 кВ:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}, \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = \frac{2\pi}{2\tau_{z0}}$$

Исходя из выражений (3.1) найдем L_0 :

$$L_0 = \frac{1}{\omega_0^2 C_1} = \frac{\tau_{z1}^2}{\pi^2 C_1} = 3,51 \text{ мГн}$$

Отношение индуктивности зарядного дросселя L_0 к индуктивности ненасыщенного дросселя L_1 примем:

$$\frac{L_0}{L_1} = 5$$

Отношение индуктивности ненасыщенного дросселя L_1 к индуктивности насыщенного дросселя L_{n1} примем:

$$\frac{L_1}{L_{n1}} = 10$$

Определим длительность разряда конденсатора C_1 по формуле, которая также является длительностью заряда C_2 [8]:

$$\tau_{r0} = \tau_{z1} = \pi \sqrt{L_{n1} \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}} = 141,4 \text{ нс}$$

Отношение индуктивности ненасыщенного дросселя L_1 к индуктивности ненасыщенного дросселя L_2 примем:

$$\frac{L_1}{L_2} = 5$$

Отношение индуктивности ненасыщенного дросселя L_2 к индуктивности насыщенного дросселя L_{n2} примем:

$$\frac{L_2}{L_{n2}} = 10$$

Определим длительность разряда конденсатора C_2 по формуле (5), т.е. время нарастания выходного импульса:

$$\tau_{r2} = \pi \sqrt{L_{n2} \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}} = 25,23 \text{ нс} \quad (3.8)$$

Определим количество витков нелинейного дросселя L_1 по формуле [8]:

$$N_1 = \frac{\tau_{r0} U_{C0}}{B_n A} = 123$$

где B_n – максимальная индукция насыщения;

A – площадь поперечного сечения ферритового кольца (для 2000нм $B_n=0,38$ Тл, $A=97,83$ мм²).

Определим количество витков нелинейного дросселя L_2 по формуле :

$$N_1 = \frac{\tau_{r2} U_{C3}}{B_n A} = 12$$

Таким образом, на основании расчетов для обеспечения требуемого коэффициента сжатия:

$$K = \frac{\tau_{z0}}{\tau_{r2}} = 39$$

Необходимо использовать две ячейки магнитного сжатия, выполненные на нелинейных дросселях. Нелинейные дроссели выполнены из кольцевого феррита марки 2000НМ с количеством витков 123 и 12 для L_1 и L_2 соответственно.

Расчет КПД ячейки магнитной компрессии

Энергия, запасенная в зарядном конденсаторе C_1 (рисунок 2.4) определяется по формуле :

$$E_0 = \frac{C_1 U_{c0}^2}{2},$$

где: C_1 – емкость конденсатора, равная 750 пФ;

U_{c0} – амплитуда напряжения на конденсаторе, равная 20,7 кВ.

Энергия, запасенная в конденсаторе C_3 определяется по формуле :

$$E_2 = \frac{C_3 U_{c3}^2}{2},$$

где: C_3 – емкость конденсатора, равная 500 пФ;

Исходя из известных соотношений запасенной энергии в конденсаторах C_1 и C_3 , произведем расчет коэффициента полезного действия (КПД) ячейки магнитной компрессии по формуле:

$$\eta = \frac{E_2}{E_0} 100\% = 66,6\%$$

Таким образом, КПД разработанной ячейки магнитной компрессии составляет порядка 66%.

4. Результат проведенного исследования.

В данной работе был спроектирован импульсный генератор накачки для азотного лазера с поперечным разрядом. Состоящий из высоковольтного источника напряжения с постоянным выходным напряжением равным 10кВ, тиратрона и ячеек магнитной компрессии.

Удалось достичь сжатия фронта нарастания импульса от 652нс до 15нс, при значении амплитуды выходного напряжения 20.4кВ.

Была промоделирована часть схемы, а именно ячейки магнитной компрессии, и в качестве результатов моделирования, были представлены диаграммы напряжений на конденсаторах, на которых видно, как происходит сжатие импульса, запускаемого тиратроном. Моделирование схемы проводилось в программном пакете LTspice IV. При описании нелинейных насыщающихся дросселей в данной программной среде была использована упрощенная модель, которая была рассмотрена Джоном Чаном в 1991 году.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ41	Петров Анатолий Дмитриевич

Институт	ИФВТ	Кафедра	ВЭСЭ
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

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

<p>1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i></p>	<p><i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</i></p>
<p>2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i></p>	
<p>3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i></p>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i></p>	<p>1. <i>Анализ конкурентных технических решений</i></p>
<p>2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i></p>	<p>1. <i>Цели и результаты проекта</i> 2. <i>Инициация проекта</i> 3. <i>Организационная структура проекта</i> 4. <i>Иерархическая структура работ</i> 5. <i>Контрольные события проекта</i></p>
<p>3. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i></p>	<p><i>Бюджет научно – технического исследования (НТИ)</i></p> <p>1. <i>Расчет материальных затрат НТИ</i> 2. <i>Планирование, управления научно-техническим проектом</i> 3. <i>Основная заработная плата исполнителей темы</i> 4. <i>Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала</i> 5. <i>Отчисления на социальные нужды</i> 6. <i>Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями</i></p>

	7. Накладные расходы 8. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта
1. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
2. Цели и результат проекта
3. Иерархическая структура работ
4. Календарный график проведения исследования в виде диаграммы Ганта
5. Бюджет проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гаврикова Н.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ41	Петров Анатолий Дмитриевич		

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

К1 – первый конкурент, азотный лазер с поперечным разрядом и частотой следования импульсов 10кГц. Данный лазер был разработан в г. Троицк Московской области, является единственным в мире лазером с высокой частотой выходных импульсов в УФ-диапазоне

К2 – второй конкурент, СО2-лазер. Распространенный лазер, как в научных кругах, так и в промышленной сфере, но имеет недостатки в качестве выходного импульса.

Таблица 5.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Высокая скорость нарастания импульса	0,2	5	1	3	1	0,2	0,6
2. Получение высокой мощности	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
3. Высокая частота	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
4. Однородность объемного разряда	0,2	4	5	4	0,8	1	0,8
5. Высокое выходное напряжение	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
6. Короткое время импульса	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
7. Оптимизация работы источника в импульсно периодическом режим	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
8. Качество импульса	0,05	5	2	3	0,25	0,1	0,15
9. Конструкция устройства	0,05	4	5	3	0,2	0,25	0,15
10. Поперечный разряд	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Итого	1	48	38	41	4,75	3,6	4,05

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 5.1, 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:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

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, следует объяснить:

- чем обусловлена уязвимость позиции конкурентов и возможно занять свою нишу и увеличить определенную долю рынка;
- в чем конкурентное преимущество разработки.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя.

5.2. Инициация проекта

Цели и результат проекта. В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно

в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представить в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Институт сильноточной электроники СО РАН	Получение импульсного генератора накачки азотного лазера с поперечным разрядом
РФФИ	

В таблице 5.3 необходимо представить информацию о иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 5.3 - Цели и результат проекта

Цели проекта:	Создание импульсного генератора накачки с поперечным разрядом для азотного лазера
Ожидаемые результаты проекта:	Получение генератора накачки для лазера с высокой частотой выходных импульсов
Критерии приемки результата проекта:	<ul style="list-style-type: none"> - Спроектированный ВВИП - Спроектированная цепь магнитной компрессии - Диагностика и анализ всех параметров генератора
Требования к результату проекта:	Требование:
	Высокая скорость нарастания импульса
	Высокая частота следования выходных импульсов
	Высокое напряжение выходного импульса
	Получение однородного объемного разряда
	Оптимизация работы источника в импульсно периодическом режим

Организационная структура проекта. На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информацию представить в табличной форме (таблица 5.4).

Таблица 5.4 - Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Лосев В.Ф. заведующий лабораторией	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта.	480
2	Петров А.Д. Магистрант, инженер лаборатории	Исполнитель по проекту	Выполнение отдельных работ по проекту.	608
3	Опытное производство	Субподрядчик	Организации выполняющая отдельные работы проекта.	76
ИТОГО:				1164

В ходе реализации научного проекта, помимо магистранта, задействован ряд специалистов:

- *Руководитель проекта* – отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта. В большинстве случаев эту роль выполняет руководитель магистерской диссертации.

- *Заказчик проекта* – участник проекта, формирующий цели проекта, ограничения проекта по срокам и затратам (бюджету). Он осуществляет укрупненный анализ проектов по показателям сроков, освоению затрат и финансированию. В магистерских научных проектах присутствует Заказчик

проекта в случае, если работа выполняется в рамках хоз. договора, по заказу предприятия, по гранту.

- *Эксперт проекта* – специалист, обладающий компетенциями (специальными знаниями и опытом), которых нет у участников рабочей группы проекта и руководителя проекта. В магистерской работе эту роль выполняют консультанты.

- *Исполнитель по проекту* – специалист, выполняющий отдельные работы по проекту. В случае, если магистерская работа является законченным научным исследованием – исполнителем проекта является магистрант. В случае, если магистерская работа является частью научного проекта, исполнителей может быть несколько.

- *Субподрядчики* – организации, привлекаемые на договорных началах для выполнения отдельных работ проекта.

Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 5.5 - Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	1000000 руб.
3.1.1. Источник финансирования	РФФИ
3.2. Сроки проекта:	16.06.2016
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2016
3.2.2. Дата завершения проекта	01.06.2016

5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки

последовательности действий, требуемых для достижения данных целей. План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

5.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

5.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный план-график.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ



Рисунок 5.1 – Иерархическая структура работ

Таблица 5.6 – Диаграмма Ганта

Код работ	Вид работ	Исполнитель	Тк, кал, дн.	Продолжительность выполнения работ															
				февраль				март				апрель				май			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Составление технического задания	Руководитель	2	■															
2	Изучение литературы и анализ существующих ИГ	Инженер (дипломник)	19	▨	▨	▨													
3	Поиск инновационного решения, опираясь на поставленные задачи	Руководитель Инженер (дипломник)	7				■	■											
4	Создание ВВИП	Инженер (дипломник)	28							▨	▨	▨	▨						
5	Расчет ВВИП	Инженер (дипломник)	14											▨	▨				
6	Моделирование схемы магнитной компрессии	Инженер (дипломник)	14													▨	▨		
10	Анализ полученных результатов	Инженер (дипломник) Руководитель	14															▨	■

■ - руководитель, ▨ - студент

5.3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице (таблице 5.11).

Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Для расчета заработной платы необходимо перевести календарные дни в рабочие по формуле:

$$T_p = \frac{T_k}{k}, \quad (5.2)$$

где T_k – продолжительность выполнения 1 работы в календарных днях;

T_p – продолжительность одной работы в рабочих днях;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (5.3)$$

где $T_{кг}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$ – количество праздничных дней в году.

$$k = \frac{366}{366 - 105 - 14} = 1,48$$

Расчетная величина продолжительности работ T_p округляется до целых чисел.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.4)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (5.5)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 5.9);

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Для руководителя: $Z_{осн} = 1870,5 \times 60 = 112230$ рублей

Для инженера: $Z_{осн} = 441,33 \times 76 = 33541,08$ рублей

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (5.6)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 5.8).

Количество месяцев работы без отпуска в течение года при отпуске в 48 дней составляет $M = 10,7$ месяца. Тогда,

для руководителя: $Z_{дн} = \frac{34788 \cdot 10,7}{199} = 1870,5$ рублей

для инженера: $Z_{дн} = \frac{8208 \cdot 10,7}{199} = 441,33$ рублей

Таблица 5.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	199

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (5.7)$$

где Z_b – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Заработная плата Z_m по тарифной ставке (оклад) доцента, кандидата наук – 22300 руб.

$$Z_m = (22300 + 4460) * 1,3 = 34788 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	22300	4460	-	1,3	34788	1870,5	60	112230
Инженер	6314	-	-	1,3	8208	441,33	76	33541,08

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (5.8)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 5.10 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.10 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата, руб	112230	33541,08
Дополнительная зарплата, руб	13467,6	4024,9
Итого по статье $C_{зп}$, руб	125697,6	37566

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.9)$$

$$C_{\text{внеб.рук}} = 27,2 \cdot 125697,6 = 34189,8 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{внеб.рук}} = 27,2 \cdot 37566 = 10218 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), В ТПУ коэффициент отчислений равен 27,2%.

Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.10)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,9 \cdot (125697,6 + 37566) = 0,9 \cdot 163263 = 146936,7 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ (название темы) по форме, приведенной в таблица 5.11.

Таблица 5.11 – Группировка затрат по статьям

Наименование Затрат	Стоимость, руб.
Общая заработная плата (всех работников)	163263
Отчисления на социальные нужды	44408
Оплата работ, выполняемых сторонними организациями	18920
Итого плановая себестоимость	388588

5.3. Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Риски данного проекта приведены в таблице 5.12.

Таблица 5.12- Риски проекта

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Технология	Невозможность реализации	2	5	средний	Детальное планирование проекта	Неправильное проектирование
2	Финансирование	Остановка реализации проекта	1	5	высокий	Выполнение срока	Невыполнение срока; закрытие

						реализации проекта	проекта
3	Степень сложности и интерфейсы	Затрата большого количества времени на проработку проекта	3	4	низкий	Своевременное решение проблем на ранних стадиях их возникновения	Ошибка в расчетах; неучтенные факторы.

6. Социальная ответственность

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ41	Петров Анатолий Дмитриевич

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	Высоковольтная электрофизика сильноточная электроника (ВЭСЭ)
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	Сильноточная электроника/ наноэлектроника

Тема дипломной работы: исследование условий генерации когерентного излучения в плазме продольного разряда

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Целью данной работы является создание лабораторной модели исследования условий генерации когерентного излучения в плазме продольного разряда.

Описание рабочего места на предмет возникновения:

вредных проявлений факторов производственной среды

(для обслуживающего персонала необходимо обеспечить оптимальные, в крайнем случае, допустимые значения метеоусловий на рабочем месте, исключить контакт с вредными, токсичными веществами – бензапирен, фенолы и др., которые могут образовываться в процессе работы установки, обеспечить комфортную освещенность рабочего места, уменьшить до допустимых пределов шум от силового блока плазмореактора, вентиляции, обеспечить безопасные значения электромагнитных полей от силового блока плазмореактора);

опасных проявлений факторов производственной среды

(в связи с присутствием электричества для питания энергоблока плазмореактора и освещенности лаборатории, наличии горючих (СО) и взрывоопасных газов (водород) необходимо предусмотреть, если есть, то перечислить средства коллективной и индивидуальной защиты от электро-, пожаро- и взрывоопасности); необходимо предусмотреть мероприятия по предотвращению негативного воздействия на окружающую природную среду используемых энергетических проявлений и образующихся отходов: электромагнитные поля от силового блока плазмореактора, водород, оксид углерода и др. парниковые и токсичные газы, «черновые» листы бумаги, отработанные картриджи, принтеры и др. оргтехника;

- необходимо обеспечить устойчивую работу вашего производственного участка при возникновении чрезвычайных ситуаций, характерных для Сибири – сильные морозы, пурга, человеческий фактор, диверсия (рассмотреть минимум 2 ЧС – 1 природную, 1 техногенную).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. *Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:*

а) приводится перечень всех используемых в работе реагентов, их агрегатное состояние, класс опасности (токсичности), механизм воздействия их на организм человека, единицы измерения количества (концентрации); приводится перечень средств коллективной и индивидуальной защиты персонала, а также защиты окружающей среды;

б) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений; приводится 1 из расчетов (расчет освещенности на рабочем месте, расчет потребного воздухообмена на рабочем месте, расчет необходимого времени эвакуации рабочего персонала);

в) приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте, разрабатываются или, если уже есть, перечисляются мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;

г) приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте, в том числе от компьютера или процессора, если они используются, перечисляются СКЗ и СИЗ;

приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);

предлагаемые средства защиты

(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

2. *Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей*

<p><i>последовательности</i></p> <p><i>а) приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;</i></p> <p><i>б) приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности вашего помещения, перечисляются средства пожаробнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение (какие пожары можно тушить, какие – нет), маркировка; пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).</i></p>
<p>3. <i>Охрана окружающей среды:</i></p> <p><i>организация безотходного производства (приводится перечень отходов при эксплуатации установки, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации образовавшихся на вашем производстве промышленных отходов).</i></p>
<p>4. <i>Защита в чрезвычайных ситуациях:</i></p> <p><i>а) Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия</i> <i>разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС;</i> <i>разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</i> <i>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</i></p>
<p>5. <i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i></p> <p><i>специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства (приводится перечень ГОСТов, СНиПов и др. законодательных документов, использованных в своей работе);</i></p>
<p>Перечень графического материала:</p> <p><i>1) Пути эвакуации</i></p> <p><i>2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения</i></p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Федорчук Ю.М.	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ41	Петров Анатолий Дмитриевич		

6. Социальная ответственность

Описание рабочего места

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

В данной работе рассмотрен плазмохимический реактор для конверсии природного газа, который является лабораторной установкой.

Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях функционально взаимосвязанных средств производства (оборудования, оснастки, предметов труда и др.), необходимых для осуществления трудового процесса.

При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

6.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

В лаборатории, где находятся различные электроустановки, могут быть следующие вредные факторы: наличие - а) не комфортных метеоусловий; б) вредных веществ; в) производственного шума; г) недостаточной освещенности; д) электромагнитного излучения;

6.1.1. Метеоусловия

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание

температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\varphi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\varphi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 6.1 [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице.

Таблица 6.1- Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	19 – 24	15 - 75	≤ 0.1
Теплый	средняя	20 - 28	15 - 75	≤ 0.2

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

6.1.2. Вредные вещества

Азот является химическим элементом, необходимым для существования животных и растений, он входит в состав белков (16—18 % по массе), аминокислот, нуклеиновых кислот, нуклеопротеидов, хлорофилла, гемоглобина и др. В составе живых клеток по числу атомов азота около 2 %, по массовой доле — около 2,5 % (четвёртое место после водорода, углерода и кислорода). В связи с этим значительное количество связанного азота содержится в живых организмах, «мёртвой органике» и дисперсном веществе морей и океанов. Это количество оценивается примерно в $1,9 \cdot 10^{11}$ т. В результате процессов гниения и разложения азотсодержащей органики, при условии благоприятных факторов окружающей среды, могут образоваться природные залежи полезных ископаемых, содержащие азот, например, «чилийская селитра» (нитрат натрия с примесями других соединений), норвежская, индийская селитры. Оксид азота (I), образующийся главным образом естественным путем, безвреден для

человека. Он представляет собой бесцветный газ со слабым запахом и сладковатым вкусом. Вдыхание небольших количеств N_2O приводит к притуплению болевой чувствительности, вследствие чего этот газ иногда в смеси с кислородом применяют для наркоза. В малых количествах N_2O вызывает чувство опьянения (отсюда название «веселящий газ»). Вдыхание чистого N_2O быстро вызывает наркотическое состояние и удушье.

Оксид азота NO и диоксид азота N_2O в атмосфере встречаются вместе, поэтому чаще всего оценивают их совместное воздействие на организм человека. Только вблизи от источника выбросов отмечается высокая концентрация NO . При сгорании топлива в автомобилях и в тепловых электростанциях примерно 90% оксидов азота образуется в форме монооксида азота. Оставшиеся 10% приходятся на диоксид азота. Однако в ходе химических реакций значительная часть NO превращается в N_2O - гораздо более опасное соединение. Монооксид азота NO представляет собой бесцветный газ. Он не раздражает дыхательные пути, и поэтому человек может его не почувствовать. При вдыхании NO , как и CO , связывается с гемоглобином. При этом образуется нестойкое нитрозосоединение, которое быстро переходит в метгемоглобин, при этом Fe^{2+} переходит в Fe^{3+} . Ион Fe^{3+} не может обратимо связывать O_2 и таким образом выходит из процесса переноса кислорода. Концентрация метгемоглобина в крови 60 – 70% считается летальной. Но такое предельное значение может возникнуть только в закрытых помещениях, а на открытом воздухе это невозможно.

По мере удаления от источника выброса все большее количество NO превращается в NO_2 - бурый, обладающий характерным неприятным запахом газ. Диоксид азота сильно раздражает слизистые оболочки дыхательных путей. Вдыхание ядовитых паров диоксида азота может привести к серьезному отравлению. Диоксид азота вызывает сенсорные, функциональные и патологические эффекты. Рассмотрим некоторые из них. К сенсорным эффектам можно отнести обонятельные и зрительные реакции организма на воздействие NO_2 . Даже при малых концентрациях, составляющих всего 0,23 мг/м³, человек ощущает присутствие этого газа. Эта концентрация является порогом обнаружения диоксида азота. Однако способность организма обнаруживать NO_2 пропадает после 10 минут вдыхания, но при этом ощущается чувство сухости и першения в горле. Хотя и эти признаки исчезают при продолжительном воздействии газа в концентрации, в 15 раз превышающей порог обнаружения. Таким образом, NO_2 ослабляет обоняние.

Но диоксид азота воздействует не только на обоняние, но и ослабляет ночное зрение – способность глаза адаптироваться к темноте. Этот эффект же наблюдается при концентрации 0,14 мг/м³, что, соответственно, ниже порога обнаружения.

Функциональным эффектом, вызываемым диоксидом азота, является повышенное сопротивление дыхательных путей. Иными словами, NO_2 вызывает увеличение усилий, затрачиваемых на дыхание. Эта реакция наблюдалась у здоровых людей при концентрации NO_2 всего 0,056 мг/м³, что в

четыре раза ниже порога обнаружения. А люди с хроническими заболеваниями легких испытывают затрудненность дыхания уже при концентрации 0,038 мг/м³.

6.1.3. Производственный шум

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации не превышающей ПДК. Проветривание помещений проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 75 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

СКЗ

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

СИЗ

- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

6.1.4. Освещенность

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 6$ м, ширина $B = 5$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;
 B – ширина, м.
 $S = 6 \times 5 = 30 \text{ м}^2$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{II} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 2600$ Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,3$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda * h = 1,3 * 2 = 2,6 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = B/L = 5/2,2 = 2,27 \approx 2$$

Число светильников в ряду:

$$Na = A/L = 6/2,2 = 2,72 \approx 3$$

Общее число светильников:

$$N = Na * Nb = 3 * 2 = 6$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$i = L/3 = 2,6/3 = 0,86$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 6.1, изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

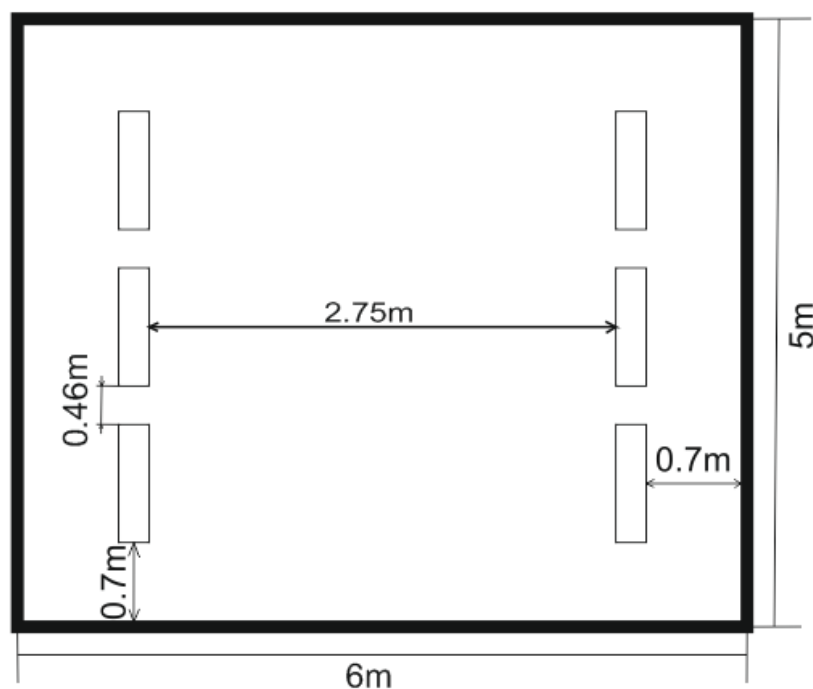


Рис.6.1– План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$I = A \cdot B / (h \cdot (A + B)) = 6 \cdot 5 / (2 \cdot (6 + 5)) = 2.72$$

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{7 \cdot 6}{2,0 \cdot (7 + 6)} = 1,6$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 2.72$ равен $\eta = 0,54$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = (E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z) / N \cdot \eta = 150 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 1.5 \cdot 1.1 / 6 \cdot 0.54 = 2291.66 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq (\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}) / \Phi_{\text{ЛД}} \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$(\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}) / \Phi_{\text{ЛД}} \cdot 100\% = (2600 - 2291,66) / 2600 \cdot 100\% = 11,8\%$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2457,44}{2600} \cdot 100\% = 5,5\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 11,8\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

6.1.5. Электромагнитные поля

В установке используются магнетронные генераторы при помощи которых происходит подвод СВЧ-энергии к различным частям установки. Таким образом, при организации безопасности труда, необходимо учитывать воздействие электромагнитных полей сверхвысоких частот на организм человека.

Эффект воздействия СВЧ электромагнитного поля на биологические объекты в известной степени определяется количеством проникающей в них и поглощаемой ими электромагнитной энергии. Значительная часть энергии микроволн поглощается тканями организма и превращается в тепло, что объясняют возникновением колебания ионов и дипольных молекул воды, содержащихся в тканях. Наиболее эффективное поглощение микроволн отмечается в тканях с большим содержанием воды: кровь, тканевая жидкость, слизистая желудка, кишок, хрусталик глаза и др.

Нагрев тканей в СВЧ-поле является наиболее простым и очевидным эффектом действия микроволн на организм человека. Положение максимума температуры, его удаление от поверхности тела зависит от проводимости среды, а, следовательно, и от частоты радиоволны, действующей на ткань: с увеличением частоты (укорочением волны) максимум температуры приближается к поверхности.

Длительное и систематическое воздействие на организм СВЧ-излучения вызывает повышенную утомляемость, периодически появляющуюся головную боль, сонливость или нарушение сна, повышение артериального давления и боли в области сердца. Под воздействием электромагнитных полей сверхвысоких частот наблюдаются изменения в крови, увеличение щитовидной железы, катаракта глаз, а у отдельных лиц — изменения в психической сфере (неустойчивые настроения, ипохондрические реакции) и трофические явления (выпадение волос, ломкость ногтей).

Предельно допустимые уровни облучения (по ОСТ 54 30013-83):

В диапазоне СВЧ = 300...300000 МГц допустимая плотность потока мощности (ППМ_{доп}) при времени облучения (τ облуч.) в течение всего рабочего дня составляет 10 мкВт/см², при τ облуч., равном 2 ч, - 100 мкВт/см² и при τ облуч, равном 15...20 мин, - 1000 мкВт/см² (при обязательном использовании защитных очков!). В остальное рабочее время интенсивность облучения не должна превышать 10 мкВт/см². Для лиц, профессионально не связанных с облучением, и для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование источника;
- защита рабочего места от излучения;

6.1.6. Применение средств индивидуальной защиты

Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), которые включают в себя

- Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.
- Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO₂).

Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

6.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

6.2.1. Факторы электрической природы

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.
2. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.
3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

Сопротивление заземлителя электроустановок до 1000В, не должно превышать 40м.

Ток промышленной частоты (50Гц) не должен превышать 0,1А.

Предельно допустимые значения напряжений и токов прикосновений в аварийном режиме электроустановок до 1000В:

- $U \approx 6\text{В}; I \approx 1\text{мА};$
- $U \approx 12\text{В}; I \approx 2\text{мА};$
- $U \approx 36\text{В}; I \approx 36\text{мА};$

Лаборатория относится к помещению с особой опасностью поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции,

применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ (площадки, изолирующие звенья телескопических вышек и пр.).

Работать со штангой разрешается только специально обученному персоналу в присутствии лица, контролирующего действия работающего. При операциях с изолирующей штангой необходимо пользоваться дополнительными изолирующими защитными средствами — диэлектрическими перчатками и изолирующими основаниями (подставками, ковриками) или диэлектрическими ботами.

Изолирующие клещи применяют в электроустановках до 35 кВ для операций под напряжением с плавкими вставками трубчатых предохранителей, а также для надевания и снятия изолирующих колпаков на ножи однополюсных разъединителей.

При пользовании изолирующими клещами оператор должен надевать диэлектрические перчатки и быть изолированным от пола или грунта; при смене патронов трубчатых предохранителей он должен быть в очках. Клещи нужно держать в вытянутых руках.

Дополнительные электрозащитные средства в электроустановках. К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся диэлектрические перчатки, боты, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления.

Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

6.2.2. Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 – В4, Г и Д, а здания – на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории A_n , B_n , B_n , G_n и D_n .

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории Г – негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНИП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с

электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. П.

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

а) использование только исправного оборудования;

б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;

д) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;

е) курение в строго отведенном месте;

ж) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 6.2).

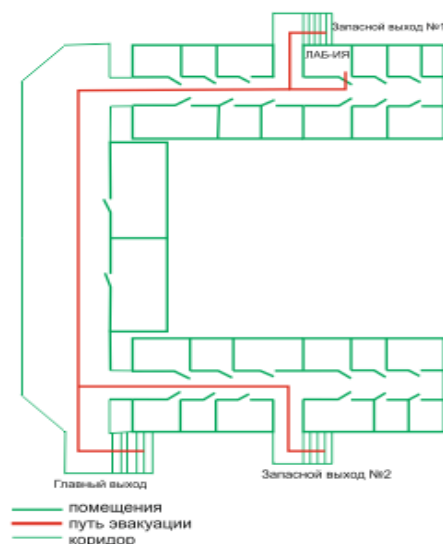


Рис. 6.2- Пути эвакуации.

6.3. Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор водорода в специальные емкости (в настоящее время он выпускается в воздух).

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

6.4. Защита в ЧС

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, при остановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае перемерзания труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Перед наступлением отопительного сезона должна проводиться «подготовка к зиме», проверка всех систем теплообеспечения в лаборатории, проверка работоспособности резервных электрообогревателей. Так же должны быть предусмотрены аварийные дизель-генераторы для обеспечения аварийного бесперебойного электроснабжения.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще.

Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

В случае ЧС необходимо предоставить транспорт для эвакуации персонала.

6.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
2. ГОСТ 12.4.154-85 "ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты"
3. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
8. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
9. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
10. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
11. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
- ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
12. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
13. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
14. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
15. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

16. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"

Графические материалы

- 1) Освещенность на рабочем месте
- 2) Пути эвакуации

7. Заключение

Целью данной работы было создание генератора накачки для азотного мини-лазера. Был выбран поперечный тип разряда, так как существующие лазеры с продольным разрядом имеют частоту следования импульсов около 100Гц, и при условии маленького объема газа и наносекундного выходного импульса, появляется проблема создания однородного объемного разряда. Была создана схема генератора накачки, рассчитана и смоделирована. В результате чего были получены выходные диаграммы генератора.

8. Список использованных источников

1. Вакуленко В.М. «Источники питания лазеров».1980г.
2. Ланцов В., Владимиров Е. «Мощные источники электропитания» ч.1., журнал «Силовая электроника» №5, 2014г.
3. Ланцов В., Владимиров Е. «Мощные источники электропитания» ч.2., журнал «Силовая электроника» №5, 2014г.
4. Ланцов В., Владимиров Е. «Мощные источники электропитания» ч.3., журнал «Силовая электроника» №5, 2014г.
5. Ланцов В., Владимиров Е. «Мощные источники электропитания» ч.4., журнал «Силовая электроника» №5, 2014г.
6. Рудольф Ф. Граф и Вильям Шиитс «Энциклопедия электронных схем» том 7, ч.3, 2007г.
7. Меерович Л.А., Ватин И.М., Зайцев Э.Ф., Кандыкин В.М. Магнитные генераторы импульсов. М.: Советское радио. 1968. 476 с.
8. И.С. Гарбер. Магнитные импульсные модуляторы. М: Советское радио, 1964. 156с.
9. Меерович Л.А., Ватин И.М., Зайцев Э.Ф. Исследование стационарных колебаний в магнитном импульсном модуляторе. М.: Радиотехника.1962. т. 17, №5
10. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование/ В.Г. Костиков, Е.М. Парфенов, В.А. Шахнов: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1998. – 344 с.: ил.
11. Импульсные источники питания/ Раймонд Мэк – М: Додэка, 2008. – 208с.: ил.
12. Источники питания. Расчет и проектирование/ Браун М. – М: МК-Пресс, 2007. – 288с.: ил.
13. Резисторы. Справочник. /Под ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова – М.: “Радио и связь” 1991 – 528 с.

14. Конденсаторы. Справочник. /Под ред. Г.А. Горячева – М.: “Радио и связь” 1984 – 88с.
15. Малогабаритные трансформаторы и дроссели./И. Н. Сидоров. – М.: Радио и связь, 1985. – 414 с.
16. Справочник по проводам
17. www.semikron.com
18. Микросхемы для импульсных источников питания и их применении – М: Додэка, 2001. – 608с.
19. Микросхемы для линейных источников питания и их применении – М: Додэка, 1998. – 400с.
20. Полупроводниковые приборы. Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. Справочник. Под ред. Н.Н. Горюнова. - М.: Энергоатомиздат, 1983.- 744 с.
21. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник. Под ред. В. И. Иванова. – М.: Энергоатомиздат, 1984.- 448 с.
22. Малашин М.В. Разработка, создание и исследование систем накачки лазеров на парах меди и эксимерного ArF на основе высоковольтного составного транзисторного коммутатора: Дисс. кандидата тех.наук. Москва. 2010г. 118с.
23. Мошкунов С.И. Разработка, создание и исследование генераторов высоковольтных наносекундных импульсов на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором: Дисс. доктора тех.наук. Санкт-Петербург. 2011г. 226с
24. Волков И.В., Зозулев В.И., Шолох А.Д. Магнитно-полупроводниковые генераторы с разнофункциональными узлами магнитной компрессии импульсов. // Институт электродинамики НАН Украины. 2011.
25. Володин В.В. Гистерезисная модель нелинейной индуктивности симулятора LTspice// Силовая электроника. 2010. №1

26. Чип и Дип [Электронный ресурс] /справочные параметры– Режим доступа: <http://lib.chipdip.ru/245/DOC000245902.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
27. Н.Г. Шубкин, СП. Сычев, В.А. Визирь Магнитотиристорный по генератор импульсов. // ПТЭ. 1990. №3. С. 96-98.
28. Мешков А.Н., Шишко В.И., Еремин С.Н. Наносекундный импульсный генератор большой мощности. //ПТЭ. 1984. №4. С. 103-105.

Приложение А

Раздел 1 Обзор литературы

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ41	Петров Анатолий Дмитриевич		

Консультант кафедры ВЭСЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	А.А. Карнаухова	к.ф.-м.н.		

Консультант – лингвист кафедры _____ (аббревиатура кафедры) _____:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Квашина О.С.			

1. Circuit diagrams of ignition of low-power gas-discharge devices

The easiest way of ignite discharge in low-power gas-discharge devices (GDD) is to increase voltage U_f at the output of the main power supply up to value U_{br} of the given GDD. Implementation of this condition results in gas-discharge ignition and setting of operating mode of GDD. Since U_{br} is much higher than GDD operating mode voltage U_w , the power supply should have falling output characteristic (RI is high). This is necessary for setting after a breakdown at $U_f=U_{br}$ a new working voltage $U_w=U_{br}$ at working current through GDD I_w corresponding to the given type of discharge (glow or arc).

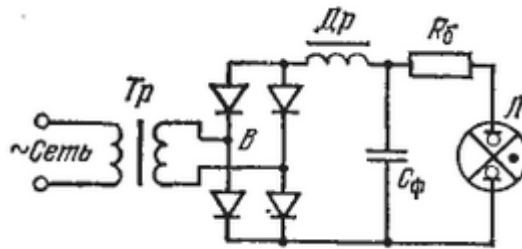


Figure 1. Circuit for GDD ignition and feed.

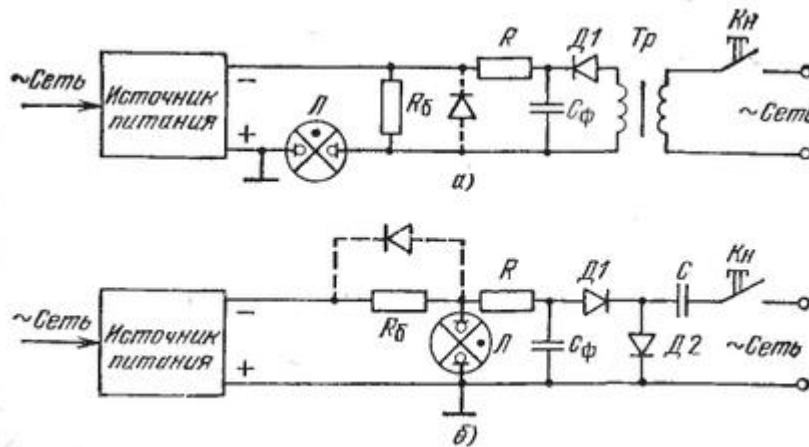


Figure 2. a- circuit with the successive; b- circuit with the GDD parallel ignition.

These circuits are used for ignition of low-power lasers. In the circuits a and b supply-line voltage (*main voltage*) appears at C_f after K button push and is summed with PS voltage, providing GDD ignition.

In the circuit a in Fig. 2 the output is shunted with R_b to provide I_w pass from PS, but if the output shunt is insufficient (because part of power here is taken away and output voltage of ignition circuit decreases), a diode is put instead of R_b (shown by the dotted line in Fig. 2a). The diode is locked while the circuit is switching on and opens after the charge is set.

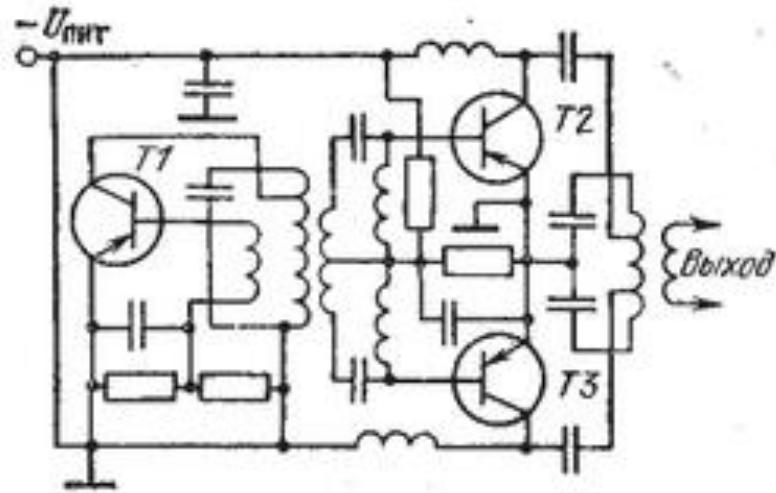


Figure 3. Microwave High-frequency ignition circuit.

In Fig. 3 the microwave ignition circuit on transistors, containing an oscillator on T1 and power-amplifiers on T2 and T3, is presented.

2. Pulsed ignition circuits

Pulsed ignition circuits are much similar to the pulsed electrical power sources. The initiation pulse can be formed by the rapid discharging of capacitive/inductive storage.

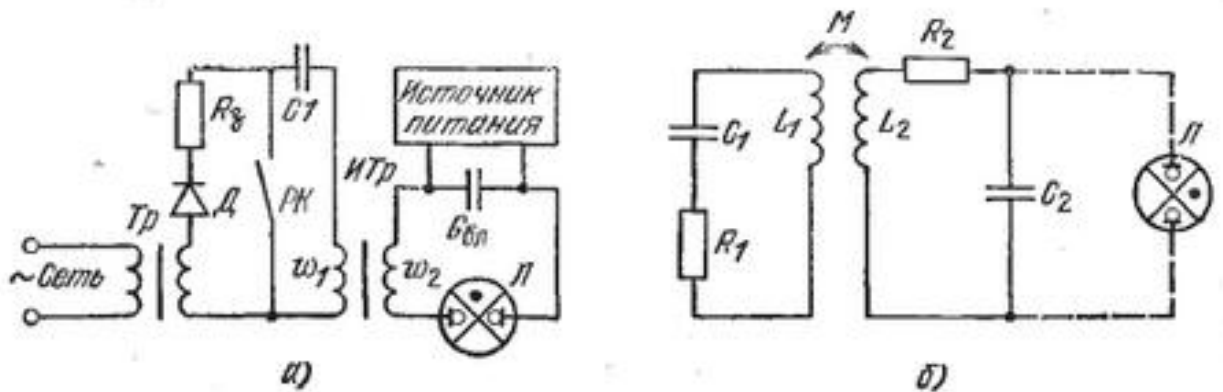


Figure 4. a- electrical schematic of ignition with a pulsed transformer; b- equivalent circuit.

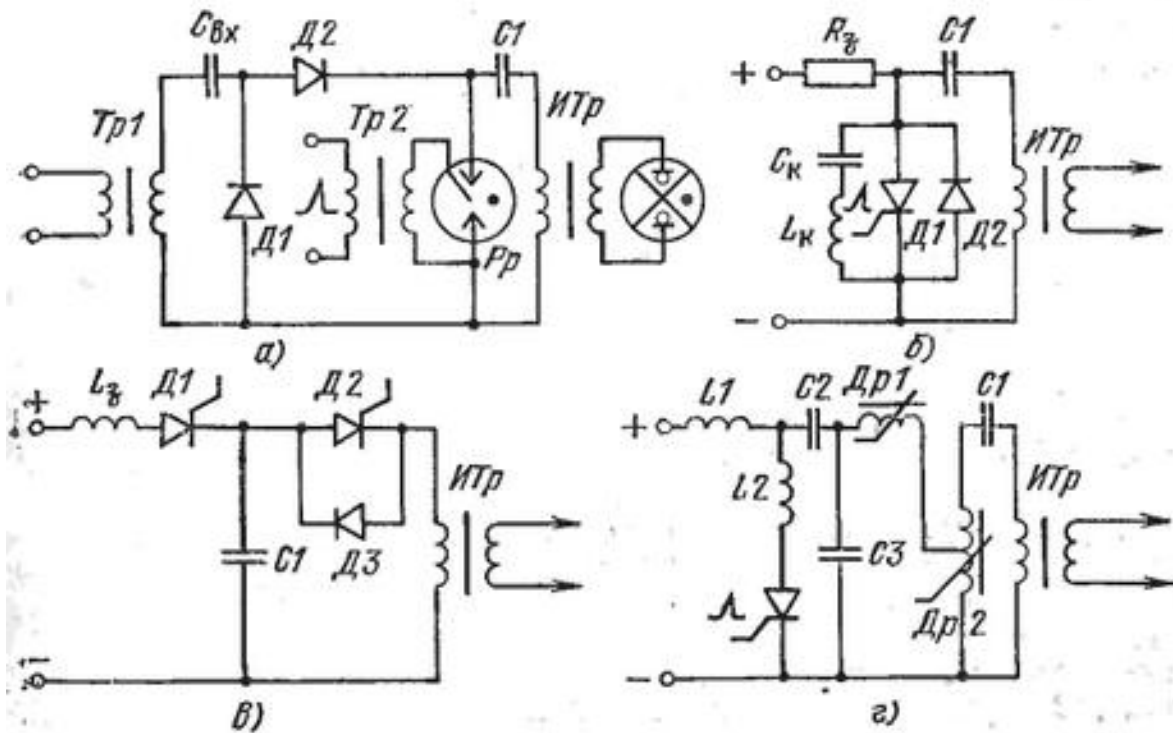


Figure 5. Variants of ignition circuits implementation.

The task of forming of powerful initiator pulses can be solved with the circuits of the two-stage ignition. In such circuits at the first stage, the preliminary breakdown of GDD occurs by means of low-power ignition circuits. At the second stage, discharge of an additional capacitor occurs to GDD with the large stored energy, enough to transfer GDD into a high-current arc mode, which is characterized by voltage drop in a gas-discharge gap, less than U_{ig} at the single-stage pulsed ignition. Transfer of GDD into the arc mode causes "the catch" and maintenance of discharge operating mode by the basic power supply. слишком длинное предложение

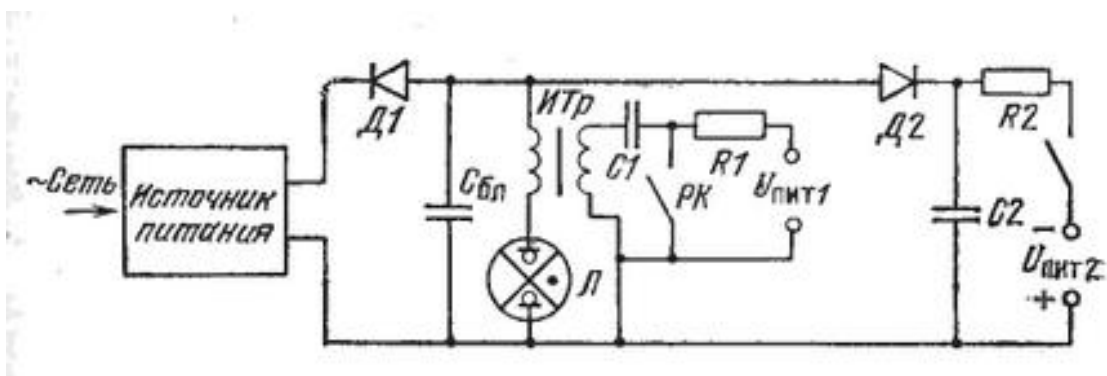


Figure 6. Circuit of the two-stage ignition.

3. Low-power sources of current

Electrical power supplies are called low-powered up to hundred watts. Such sources found a wide application in devices for GDD feed, and are used mainly for development of gas atomic and molecular lasers.

Fig. 7 shows the circuit of power source of a helium-neon laser “OKГ- 13”. In this circuit the ignition of the gas-discharge tube is made manually (button push). So, the repeated automatic ignition is impossible. This lack is eliminated in circuits using constant voltage multiplication (see Fig. 8).

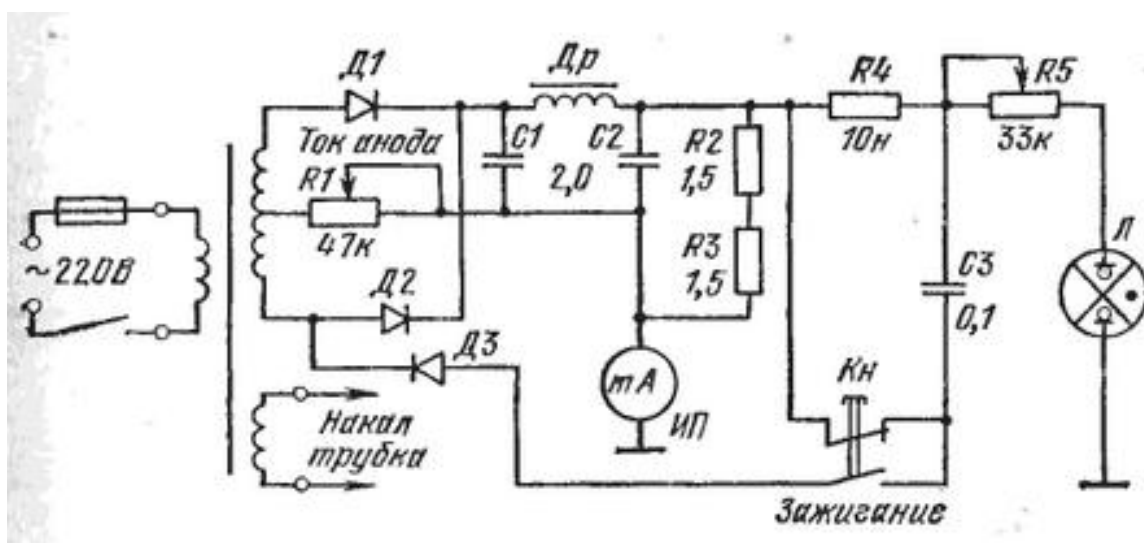


Figure 7. Circuit of power source of a helium-neon laser “OKГ- 13”.

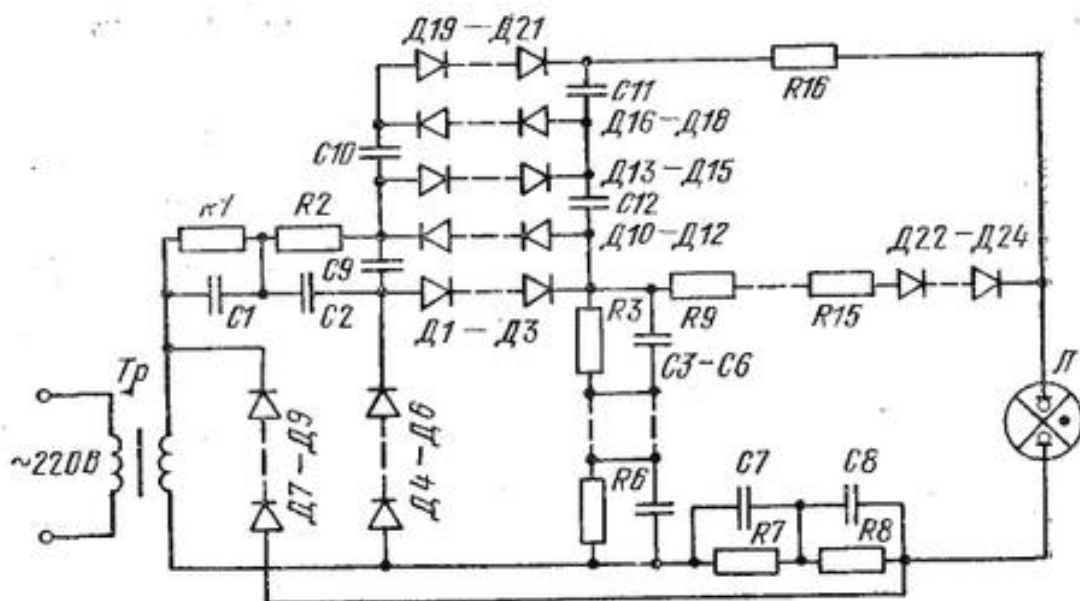


Figure 8. Circuit of power source with the automatic ignition.

VD1- VD 9 (Д218) and C1-C8 provide trebling of input voltage to 2700 V, if the voltage at the secondary winding of the input transformer is 620 V. The multiplier voltage at C9-C12 and Д10-Д21 is added to this voltage, through the limiting resistor R16 the voltage is put to the tube's electrodes. The working current is directed along the chain of ballast resistors R9 - R15 and blocking diodes VD 22- VD 24. This circuit allows to get load voltage of 1700 V at load current of 5 mA.

4. Electric power supplies of arc gas discharge

The arc discharge in gaseous medium is used in optical pumping lamps of the solid-state and ionic gas lasers. The arc discharge is characterized by high current densities (1000 A/cm^2), relatively low voltages between the electrodes of the gas-discharge tube (10-400 V), high ionicity of the gas-discharge plasma. In the working range of the volt-amps diagram (VAD) there is weak dependence of the voltage on the discharge current. This fact defines the method of the gas discharge management is controlling the discharge current value. Thus, the gas discharge power changes linearly. The maximum value of the discharge current is limited by constructive and technological possibilities of gas-discharge tube creation capable of handling high loads.

In Fig. 9 a bridge circuit of a three-phase rectifier with voltage multiplying stages for the gas-discharge lamp ignition is shown.

Fig. 10 shows a simplified circuit of the power source "CH- 4", intended for the feed of the gas-discharge pumping lamp "ДКрТВ- 3000" of the continuous emitter "ЛТ- 2".

5. Charging devices of capacitive storages

The capacitive storages of energy are mainly used in the electrical power sources of pulsed emitters. The basic task of charging device is a transmission of necessary energy from the primary feed-in network in a storage for time between the pulses of discharge current. The possible ranges of reiteration of output pulses of power sources for different types of emitters are presented in Fig. 11.

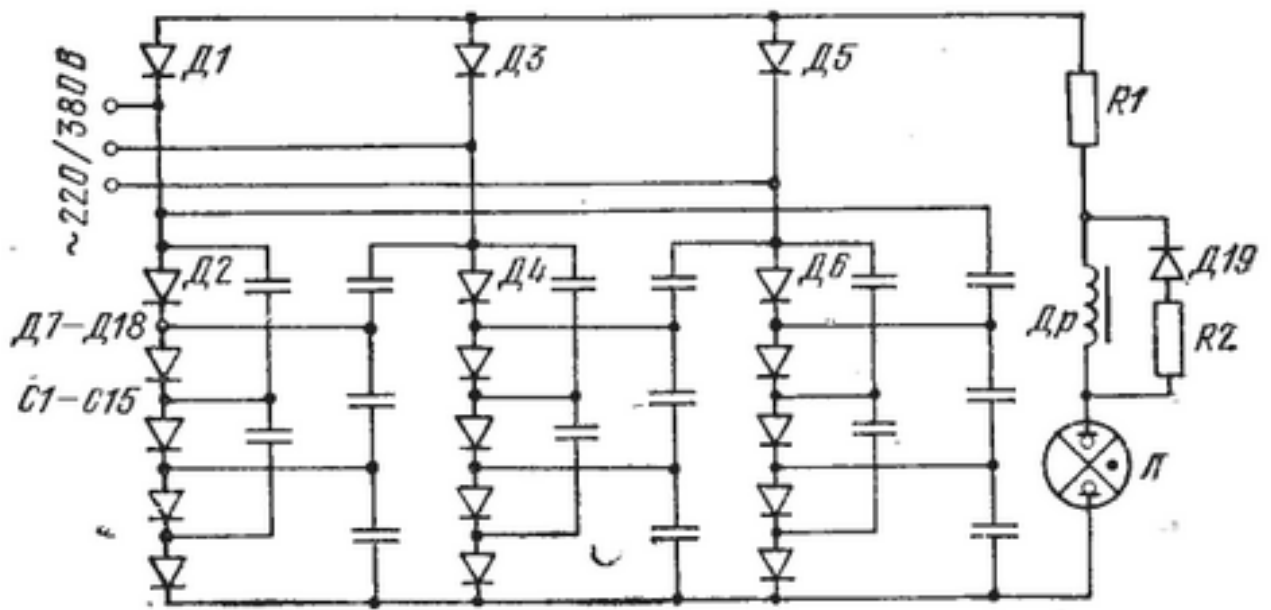


Figure 9. Bridge circuit of a three-phase rectifier with voltage multiplying stages for the gas-discharge lamp ignition.

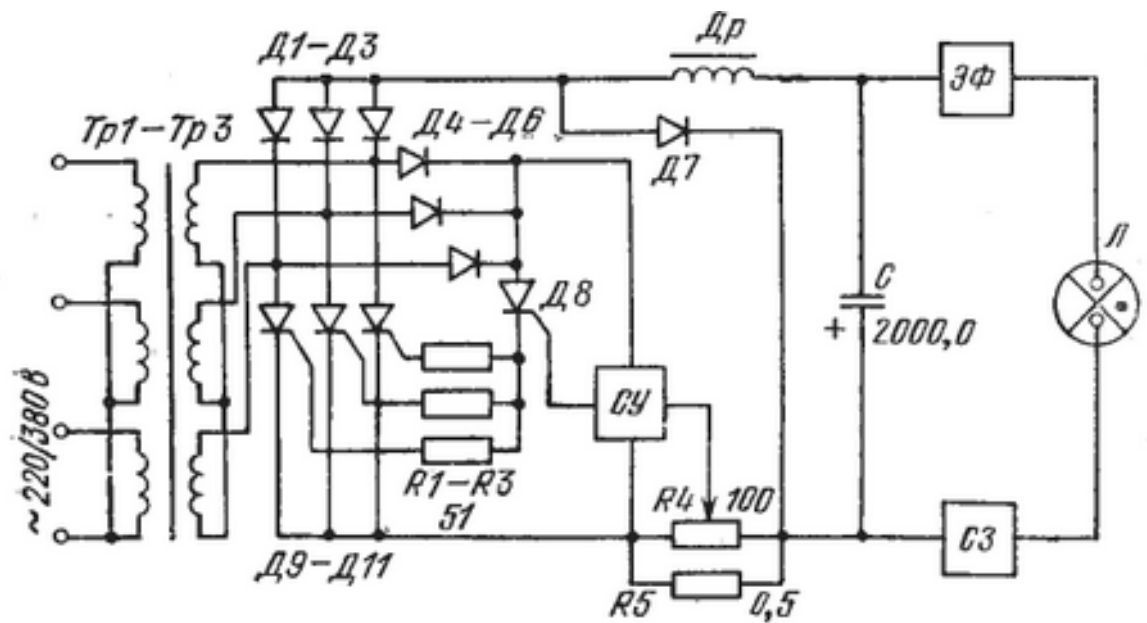


Figure 10. Simplified circuit of the power source "CH-4".

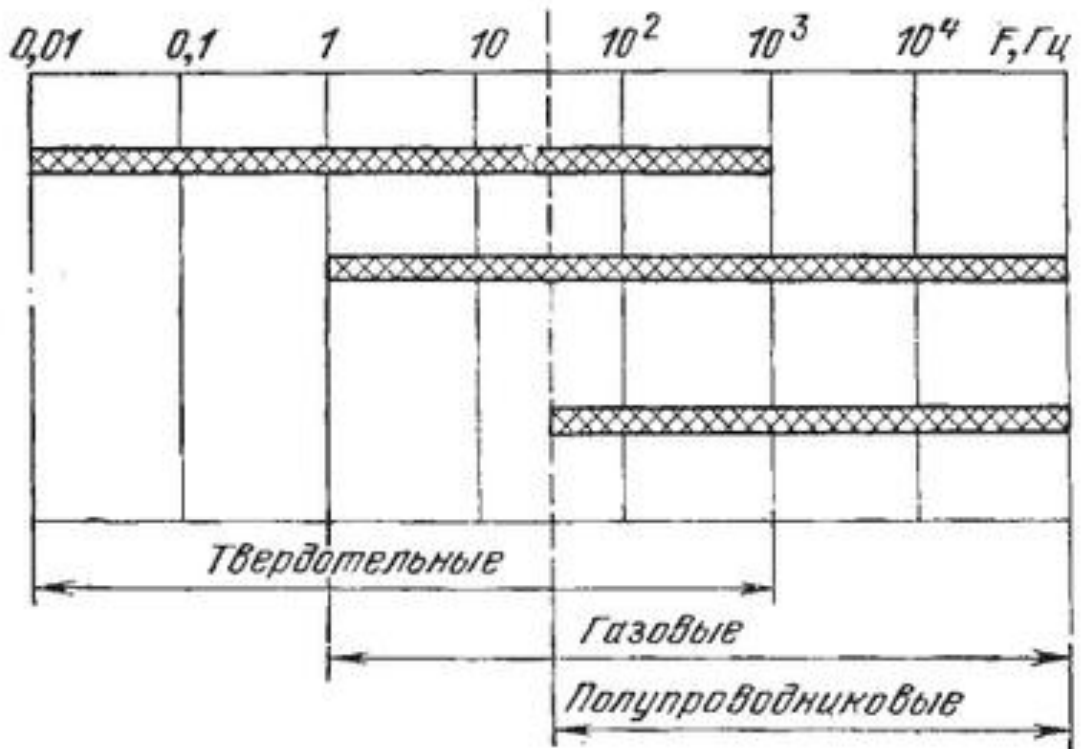


Figure 11. Frequencies of reiteration of output pulses for different types of emitters.

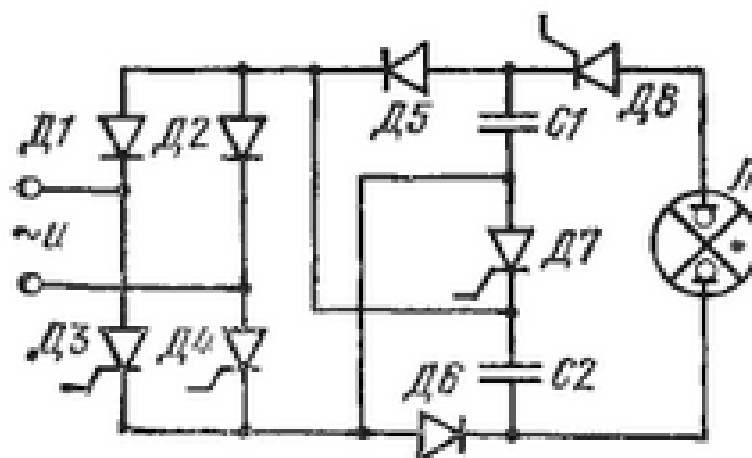


Figure 12. Charging circuit with a zero phase of charge switchboard connection.

In Fig.12 shows a circuit providing only discrete and multiple to the network power frequency values of pumping pulse repetition frequencies. Extension of the frequency range of the charging devices can be attained by transformation of alternating voltage sources to the constant voltage sources with subsequent limitation of the current.

The circuits with oscillating shake charging are the most widespread in power supplies with enhanced frequency of pumping pulse repetition.

6. Module constructions of ignition blocks of pumping lamps

A variety of ignition circuits is used for the arc discharge initiation. At absence of the proper special cables, sockets and other radio components, and also with the purpose of reduction of pulse losses and noise level, the devices of pulsed ignition are usually placed out of the power source and close to the emitter.

The circuits of the pulsed ignition use discharging of the preliminary charged capacitor through a switchboard onto the primary winding of a step-up transformer. Thyratrons, mechanical and vacuum spark-gaps can act as a switchboard. In Fig. 13 the circuit of thyatron ignition block is shown.

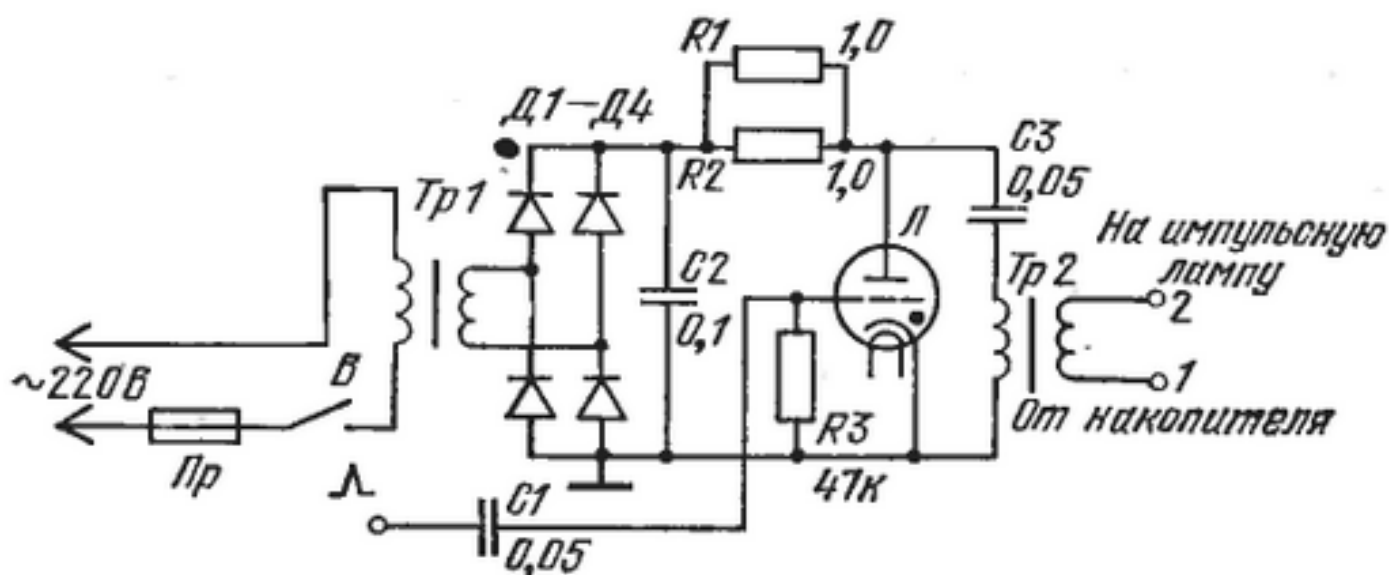


Figure 13. The circuit of thyatron ignition block is shown.

The output pulse in the circuit represented in Fig.13 has the following parameters:

1. Amplitude 40 kV
2. Duration ~2mks
3. Maximal repetition frequency of the ignition pulse 10 Hz.

Similar ignition blocks are used in the pulsed power sources of laser technological set-ups "Квант-9" and "Квант-10".

Fig. 14 shows the circuit of module ignition block "МТ-1ПЖ" for the power source "МИЛ- 35" of laser set-up "Corundum".

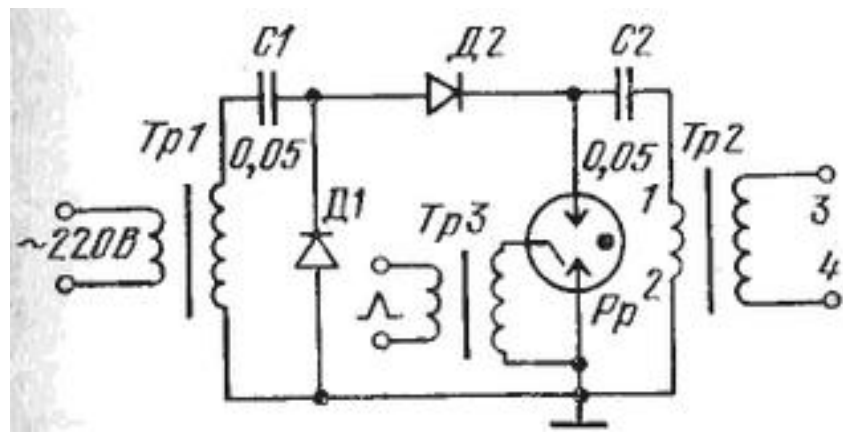


Figure 14. The circuit of module ignition block “MT-1ПЖ”.