

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

Институт Неразрушающего Контроля
Направление подготовки – Электроника и наноэлектроника
Кафедра промышленной и медицинской электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка полупроводникового генератора высоковольтных импульсов субмикросекундной длительности

УДК 621.373.14.001.6:628.32

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ51	Брацыхин Антон Федорович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Корнев Я.И.	к.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко В.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; демонстрировать навыки работы в научном коллективе. порождать новые идеи
P2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов наноэлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы наноэлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ
P3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.
P4	Осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно- измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени; разрабатывать физические и математические модели элементов наноэлектроники, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере
P5	Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчеты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные

	публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения
P6	Работать в качестве преподавателя в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования по учебным дисциплинам предметной области данного направления под руководством профессора, доцента или старшего преподавателя
Универсальные компетенции	
P7	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности
P8	Использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов. Участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта
P9	Разрабатывать планы и программы инновационной деятельности в подразделении, проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности
P10	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
P11	Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности

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

Институт неразрушающего контроля

Направление подготовки (специальность) 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Ф.А. Губарев

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1AM51	Брацыхин Антон Федорович

Тема работы:

Разработка полупроводникового генератора высоковольтных импульсов
субмикросекундной длительности

Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)

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>Объектом исследования является схема магнито-транзисторного генератора высоковольтных импульсов</p> <p>Энергия выходного импульса 0,3 Дж;</p> <p>Напряжение выходного импульса 40 кВ;</p> <p>Частота работы генератора 500 Гц;</p> <p>Время выходного импульса 250 нс;</p> <p>Время фронта выходного импульса 20 нс;</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 работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор литературы (способы получения импульсов высокого напряжения); – Разработка структурной и принципиальной схемы; – Расчет принципиальной схемы; – Разработка макета – Социальная ответственность; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – Заключение.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Схема электрическая принципиальная</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Николаенко Валентин Сергеевич</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Анищенко Юлия Владимировна</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Мыльникова Татьяна Степановна</p>

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

Виды электрического разряда в газах;

Емкостные накопители;

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Корнев Яков Иванович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ51	Брацыхин Антон Федорович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1AM51	Брацыхину Антону Федоровичу

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	Промышленной и медицинской электроники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИИ):</i>	Затраты на выполнение НИИ включают в себя затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, основную и дополнительную заработную плату исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	НИИ выполнялась в соответствии со стандартной системой налогообложения, отчислений, кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Предпроектный анализ</i>	Определение потенциальных потребителей результатов исследования и анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, оценка готовности проекта к коммерциализации
2. <i>Инициация проекта</i>	Информация о заинтересованных сторонах проекта, цели и ожидаемые результаты НИИ, трудозатраты и функции исполнителей проекта
3. <i>Планирование управления научно-техническим проектом</i>	Составление перечня этапов и работ по выполнению НИИ, составление калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов
4. <i>Оценка сравнительной эффективности исследования</i>	Расчёт интегрального показателя эффективности НИИ, за счёт определения его основных составляющих: финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Карта сегментирования рынка</i>	
2. <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</i>	
3. <i>График проведения и бюджет НИИ</i>	
4. <i>Календарный план проекта</i>	
5. <i>Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе (диаграмма Ганта)</i>	
6. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Николаенко В.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM51	Брацыхин Антон Федорович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
IAM51	Брацыхину Антону Федоровичу

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	Промышленной и медицинской электроники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Генератор высоковольтных субмикросекундных длительностей. Генератор предназначен создавать коронный разряд в реакторе.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности</p>	<p>Анализ выявленных вредных факторов при разработке проектируемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – микроклимат; – повышенная контрастность; – повышенный уровень статического электричества; – освещение; – повышенный уровень электромагнитного излучения <p>Анализ выявленных опасных факторов при разработке проектируемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электрический ток – термическая опасность
<p>2. Экологическая безопасность</p>	<p>Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – анализ воздействия объекта на атмосферу (отходы); анализ воздействия объекта на гидросферу (отходы)
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p>	<p>Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Возможные ЧС на объекте: пожар; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации ее последствий
<p>4. Правовые и организационные вопросы</p>	<p>Правовые и организационные</p>

обеспечения безопасности	вопросы обеспечения безопасности: – компоновка рабочей зоны; – режимы труда и отдыха
---------------------------------	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM51	Брацьхин Антон Федорович		

РЕФЕРАТ

Работа состоит из 95 страниц, 23 рисунков и 17 таблиц.

Разработан генератор высоковольтных импульсов с амплитудой 40кВ и длительностью импульсов 250нс.

Проведены испытания генератора на активную нагрузку и испытания в реакторе по очистке воды коронным разрядом

Показана высокая эффективность передачи энергии из генератора в реактор.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	12
1. Обзор литературы	14
1.1. Виды электрического разряда в газах	14
1.1.1 Образование электрического разряда	14
1.1.2 Тлеющий разряд	16
1.1.3 Искровой разряд	17
1.1.4 Дуговой разряд	18
1.1.5 Коронный разряд	19
1.2. Емкостные накопители	20
1.2.1 Генераторы импульсного напряжения	21
1.2.2 Простейший вариант схемы на базе ГИН	23
1.2.3 ГИН с корректирующими LC-цепями	25
1.3 Приборы коммутации высокого напряжения	28
2. Разработка генератора высоковольтных импульсов	39
2.1 Низковольтная часть схемы	39
2.2 Высоковольтная часть схемы	40
2.2 Расчет схемы	42
3. Испытания генераторов высоковольтных импульсов	44
3.1 Экспериментальная установка	44
3.2 Результаты экспериментов	46
3.4 Заключение	50
4. Финансовый менеджмент	51
5. Социальная ответственность	64
Заключение	78
Список источников	79
Приложение А	82

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы активно развиваются технологии обработки питьевых и сточных вод импульсными электрическими разрядами. Электрические разряды являются источниками сильных окислителей: озона, гидроксильных радикалов, атомарного кислорода и др. В настоящее время доказано, что импульсные электрические разряды могут использоваться для обеззараживания воды и ее очистки от органических примесей. Одним из наиболее эффективных решений в этой связи является применение импульсного коронного разряда в двухфазной водо-воздушной среде. При этом вода диспергируется в воздухе на капли размерами от долей до единиц миллиметров и подается на систему электродов с резконеоднородным электрическим полем (электроды типа «острие-плоскость», «провод-плоскость»). В результате обработки электрическим разрядом происходит образование активных частиц, которые инициируют в водных растворах химические реакции окисления.

Для систем электроразрядной обработки воды, как правило, необходимы генераторы коротких импульсов длительностью в десятки-сотни наносекунд и амплитудой несколько десятков киловольт. Генераторы должны отличаться высокой надежностью, высоким значением КПД, стабильностью работы и малыми габаритами [27].

Для того, чтобы создать мощные импульсы с короткой длительностью есть два подхода[14]:

- 1) Накопить энергию в емкостном накопителе (конденсатор) и затем коммутировать в нагрузку с помощью замыкающего ключа.
- 2) Накопить энергию в магнитном поле индуктивного контура с последующей коммутацией прерывателем тока.

Как правило, быстрая коммутация большой электрической мощности осуществляется разрядниками с разнообразной конструкции. Это могут быть плазменные прерыватели тока, магнитные ключи, взрывающиеся проволочки

и т.д. Однако, такая элементная база не эффективна в использовании промышленных импульсных технологий из-за нестабильности срабатывания, малого срока службы и низких частотных характеристик[18].

Таких недостатков лишены полупроводниковые приборы, они являются самыми перспективными коммутирующими устройствами в современной импульсной технике. Явными достоинствами полупроводников ключей является высокий КПД, мгновенная готовность к работе, бесшумность в эксплуатации, экологическая безопасность[2].

Перспектива использования полупроводниковых ключей в устройствах мощной импульсной техники определяется максимальным уровнем коммутируемой ими мощности, максимальной скоростью нарастания переключаемого тока и потерями энергии в процессе коммутации.

В этой связи разработка мощных генераторов на основе полупроводниковых приборов с наносекундным быстродействием для систем обработки воды является важной и актуальной.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ГАЗАХ

1.1.1 ОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

Электрическим разрядом в газах называют все случаи перемещения в газах ионов и электронов под действием электрического поля, возникающих в результате ионизационных процессов. Обязательным условием возникновения разряда в газах является наличие в нем свободных зарядов — ионов и электронов[13].

Газ состоящий исключительно из нейтральных молекул, полностью не проводит электрический ток. В реальных условиях всегда воздействуют естественные ионизаторы такие как ультрафиолетовое излучение Солнца, космические лучи, радиоактивное излучение Земли и т. п. Поэтому в газе всегда есть некоторое число свободных зарядов — это электроны и ионы, которые обеспечивают в газе некоторую электропроводность.

Мощность естественных ионизаторов очень мала: из-за их воздействия каждую секунду в воздухе образуется примерно одна пара зарядов на каждый кубический сантиметр – это соответствует приращению объемной плотности зарядов $\rho=1,6^{-19}$ Кл/(см³*с). Число зарядов в одном кубическом сантиметре воздуха при этом остается постоянным и равняется около 500—1000 парам ионов[22].

Таким образом, если к пластинам плоского воздушного конденсатора с расстоянием S между электродами приложить напряжение, то в цепи установится ток, плотность которого $J=2*\rho*S = 3,2*10^{-19}$ S A/см².

Искусственные ионизаторы в несколько раз увеличивают плотность тока в газе. Например, при освещении газового промежутка ртутно-

кварцевой лампой плотность тока в газе возрастает до 10^{-12} А/см², при наличии искрового разряда вблизи ионизируемого объема создаются токи порядка 10^{-10} А/см² и т. д.

На рисунке 1 приведена зависимость тока, протекающего через газовый промежуток с однородным электрическим полем, от величины приложенного напряжения.

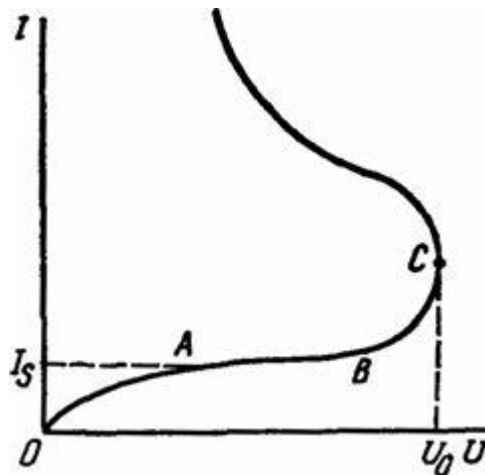


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика газового разряда

На участке OA с увеличением напряжения в газовом промежутке возрастает электрический ток. Рост электрического тока обеспечивается тем, что все больше зарядов под действием электрического поля попадает на электроды[21].

Далее, когда все заряды образованные за счет внешних ионизаторов попали на электроны с ростом напряжения ток практически не меняется (участок AB). Значение тока насыщения I_s определяется интенсивностью воздействующего на промежуток ионизатора.

На участке BC с увеличением напряжения резко возрастает ток. При достижении напряжения U_0 в промежутке происходит значительное увеличение тока. Начинается интенсивное развитие процессов ионизации газа под действием электрического поля. Промежуток газа при этом теряет свои свойства диэлектрика и становится в проводником. Данное явление

(возникновение канала высокой проводимости) называют электрическим пробоем или электрическим разрядом[13].

Электрический разряд на участке ОАВС называется несамостоятельным так как на данном участке ток в промежутке газа определяется интенсивностью воздействующего ионизатора. После точки С начинается самостоятельный разряд, ну этом участке разряд зависит только от параметров электрической цепи. Для поддержания самостоятельного разряда образования заряженных частиц за счет внешних ионизаторов не требуется.

Напряжение U_0 при котором начинается самостоятельный разряд, называют начальным напряжением.

Формы самостоятельного разряда в газах в зависимости от условий, в которых протекает разряд, могут быть различными[22].

1.1.2 ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД

Тлеющий разряд возникает при малых давлениях, когда число молекул газа в единице объема не велико и в промежутке не может появиться большая проводимость. Плотность тока при таком разряде примерно 1—5 мА/см², разряд заполняет все пространство между электродами.

Тлеющий разряд представляет собой слабое свечение газа, которое можно заметить только в затемненном помещении или в тёмное время суток. Такой разряд используют в светящихся трубках рекламы, заполненных неоном, аргоном, в лампах дневного света. Очень важное применение в современной науке тлеющий разряд получил в квантовых источниках света – газовых лазерах[21].

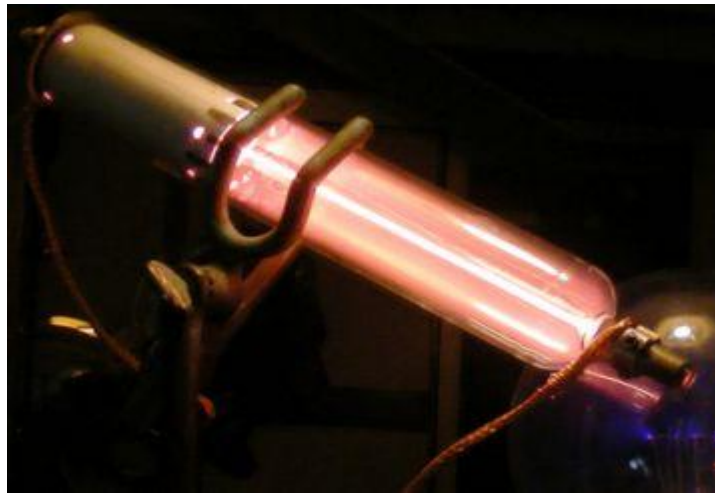


Рис. 2 – Тлеющий разряд в газе

1.1.3 ИСКРОВОЙ РАЗРЯД

Искровой разряд появляется при атмосферном давлении. Напряжение должно быть не большой мощности (несколько киловольт) и коротким по времени. Хорошим примером искрового разряда служит разряд молнии.

При искровом разряде возникает канал сильно ионизированного газа. По этому каналу и распространяется ток. При таком разряде газ в канале очень сильно нагревается, его давление начинает резко возрастать, и, расширяясь, газ начинает создавать звуковые волны, похожие на треск[13].

Искровой разряд применяется для искровой обработки металлов, зажигания горючей смеси в двигателе внутреннего сгорания, в бытовых «зажигалках». С помощью искрового разряда инициируют взрывы и процессы горения, измеряют высокие напряжения, используют в спектроскопическом анализе, в переключателях электрических цепей.



Рис. 3. Искровой разряд

1.1.4 ДУГОВОЙ РАЗРЯД

Разряд переходит из искрового в дуговой при значительной мощности источника питания. При дуговом разряде ток через газовый промежуток может протекать порядка сотен и даже тысяч ампер. Столь большой ток приводит к разогреву канала. Разогрев увеличивает проводимость, что в свою очередь ведет к еще большему увеличению тока. Данный процесс требует некоторого времени, поэтому, разряд не перейдет из искрового в дуговой, если напряжение приложить на достаточно короткий промежуток. Дуговой разряд можно получить, если металлические или угольные электроды сначала подсоединить к полюсам источника постоянного напряжения, а затем развести на небольшое расстояние. Если напряженность поля между этими электродами будет достаточно высокой, то появится светящаяся дуга из раскаленного, высокоионизированного газа. При дуговом разряде всегда происходит сильное нагревание газа (несколько тысяч градусов) и, поэтому, сама дуга и концы электродов испускают яркое, ослепительное свечение. КПД такого превращения электроэнергии в свет значительно больше, чем у самых лучших ламп накаливания. Поэтому, очень часто дуговой разряд применяют в прожекторах и в других ярких источниках освещения[1].

Дуговой разряд часто применяют для выплавки сталей и сплавов, для сварки металлических деталей. Около 90% всей индустриальной стали в мировой промышленности выплавляется в дуговых электропечах.



Рис. 4. Дуговой разряд

1.1.5. КОРОННЫЙ РАЗРЯД

В резконеоднородных полях самостоятельный разряд начинается всегда в виде коронного разряда, который возникает только в той области газового промежутка, в которой напряженность поля более высокая (около острых краев электродов). При коронном разряде между электродами не возникает сквозного канала высокой проводимости, т. е. промежуток сохраняет свои изолирующие свойства. При дальнейшем увеличении приложенного напряжения коронный разряд переходит в искровой или дуговой[5].

Коронный разряд сопровождается слабым свечением и небольшим шумом. Возникновение коронного разряда приводит к большим электрическим потерям, поэтому его появление вокруг проводов ЛЭП очень

нежелательно. Чтобы предотвратить это явление используют разделение проводов ЛЭП (на 2, 3, 5, 8 идущих параллельно проводов, отдаленных на 40-50 см друг от друга и удерживаемых изоляционными распорками).

Также, коронный разряд используется в электрофилтрах по очистке воды и газов. Узкая трубка, наполненная дымом, в миг делается абсолютно прозрачной, если поднести в неё заостренные металлические электроды, которые подключены к высоковольтному источнику. Если струю дыма продувать через такую трубку, то струя воздуха выходя будет абсолютно чистой. При этом, все маленькие частицы, который содержатся в газе, будут осаждаться на концах электродов[1].

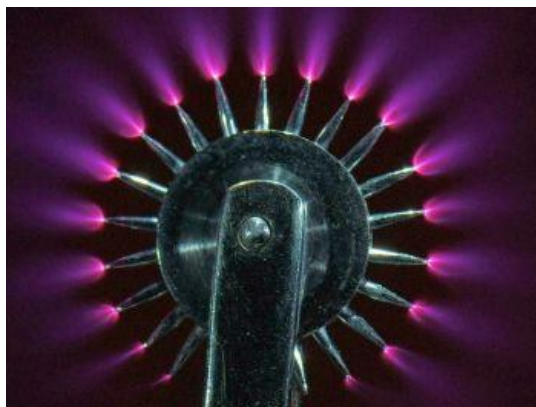


Рис. 5. Коронный разряд в газе

Законы, при которых в газах возникает электрический разряд, всегда одинаковы, разница состоит лишь в значениях коэффициентов, которые характеризуют процесс[21].

1.2 ЕМКОСТНЫЕ НАКОПИТЕЛИ

В электрофизических установках в качестве импульсных источников высокой мощности достаточно широко используются емкостные накопители энергии. Их внутреннее сопротивление достаточно мало и составляет значение порядка $\sim 10^{-3}$ Ом. Емкостные накопители позволяют получать большие значения импульсных токов (порядка 10^7 А) и высокие значения импульсного напряжения (более 10^7 В). От других типов накопителей

емкостные накопители отличаются относительной простотой, удобством в обслуживании, надежностью. Уступают емкостные накопители только по удельной энергоемкости[14].

Емкостные накопители используют тогда, когда нужно создать быстрый вывод накопленной энергии в нагрузку, чтобы получить большой импульсный ток и сильное магнитное поле в физическом исследовании. Также емкостные накопители используют: в магнитно-импульсной обработке металлов; для возбуждения в конденсированных средах ударных волн; для метания и ускорения твердых тел; для генерации вспышек интенсивного светового излучения при разрядах в газах.

В фундаменте построения абсолютно всех мощных генераторов высоковольтных импульсов заложен один принцип относительно медленного заряда (накопления) энергии в первичном накопителе и относительно быстрой ее передачи в нагрузку[27]. Подобная временная трансформация энергетического потока, или другими словами, увеличение мощности с преобразованием спектра электромагнитного сигнала в область с наиболее высокими частотами, в принципе невозможна без использования нелинейных элементов. В качестве таких нелинейных элементов в генераторах мощных импульсов используют различные ключи (коммутаторы) – полупроводниковые ключи, искровые разрядники, насыщающиеся индуктивности и др[23]. У таких коммутаторов проводимость изменяется скачкообразно от состояния «включено» до состояния «выключено» под воздействием тех или иных физических факторов. Благодаря коммутаторам запасенная (заряженная) в накопителе энергия перенаправляется в нагрузку или, если это необходимо для дальнейшего усиления, в следующий, промежуточный емкостной накопитель энергии. С учетом написанного выше общую блок-схему генератора можно изобразить в виде, показанном на рис. 6.

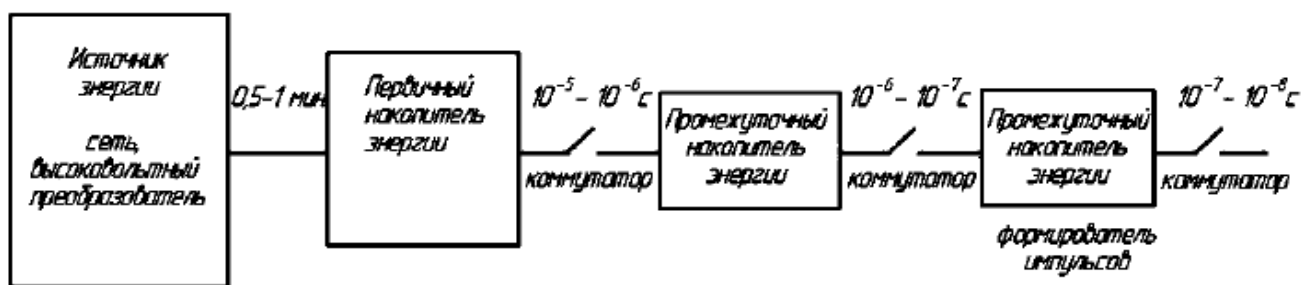


Рис. 6. Блок-схема генератора высоковольтных импульсов высокой мощности

На данной схеме представлены временные параметры, которые соответствуют типовым значениям для мощных генераторов наносекундных импульсов с диапазоном напряжения в несколько мегавольт применяемых в сильноточных ускорителях и установках для термоядерных исследований[14]. Количество промежуточных накопителей может быть и больше, чем количество, показанное на блок-схеме рис.6, например, если необходимо сжать импульс до субнаносекундных значений длительности. Если в установке мощность не высокая или необходимо получение импульсов миллисекундных или микросекундных значений длительности промежуточные емкостные накопители и привязанные к ним коммутаторы могут отсутствовать. Но одно звено из показанной блок-схемы на рис. 6 последовательно каскадов увеличения мощности будет содержаться в каждом генераторе высоковольтных импульсов.

В емкостном накопителе энергия накапливается в электрическом поле[14]. Плотность этой энергии определяется допустимым (рабочим) значением напряженности электрического поля E_p и диэлектрической проницаемостью изоляции между электродами накопителя:

$$w_E = \frac{\epsilon \epsilon_0 E_p^2}{2}$$

где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции, ϵ_0 – диэлектрическая постоянная.

Достаточно важным параметром емкостного накопителя является максимальное времени заряда накопителя относительно времени, за которое накопитель может быть разряжен, т.е. времени трансформации накопленной энергии в нагрузку. Данное отношение показывает максимально возможное увеличение мощности или, другими словами, определяет степень компрессии энергии. Время, за которое происходит заряд емкостного накопителя ограничено его саморазрядом, который происходит из-за токов утечки. Величина токов утечки определяется из проводимости (удельным сопротивлением) изоляции накопителя. Для того, чтобы работа накопителя была эффективной, время заряда накопителя должно обязательно быть в несколько раз меньше времени саморазряда накопителя. Именно емкостные накопители могут обеспечить самую большую степень компрессии, которая может достигать восьми порядков[26].

1.2.1 ГЕНЕРАТОРЫ ИМПУЛЬСНОГО НАПРЯЖЕНИЯ – ФОРМИРОВАТЕЛИ МОЩНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ МИКРОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Генерация импульсов высокой мощности с субмикросекундной длительностью в настоящее время не встречает значительных трудностей. Существуют разработанные схемы генераторов с емкостными накопителями энергии, которые базируются, как правило, на разных модификациях генераторов Аркадьева–Маркса[6]. Эти генераторы широко используют в экспериментальных физических установках, например, для питания диодов ускорителей сильноточных электронных пучков микросекундной длительности.

К таким генераторам, как правило, предъявляют следующие требования:

- крутой фронт нарастания сигнала
- большая часть накопленной энергии должна переходить в нагрузку

– влияние изменения параметров нагрузки не должно влиять на форму импульса или должно быть минимальным.

1.2.2 ПРОСТЕЙШИЙ ВАРИАНТ НА БАЗЕ ГИН

Чтобы получить микросекундный импульс можно использовать обычный ГИН с таким схемотехническим решением, которое обеспечивает устойчивую работу генератора в требуемом диапазоне времени и напряжения.

Стоит отметить, что данный вариант решения поставленной задачи достаточно широко использовался на начальных этапах освоения микросекундного диапазона сильноточных электронных пучков. Во время работы ГИН на сильноточный диод с магнитной изоляцией или диод с большим катод-анодным промежутком для получения ленточного пучка большого сечения, для которых выполняется условие $Z_d \gg Z_{гин}$, где Z_d – импеданс диода, $Z_{гин}$ – характеристическое сопротивление (импеданс) ГИН, $Z_{гин} = (L_{гин}/C_{гин})^{1/2}$, $L_{гин}$ – полная индуктивность цепи разряда ГИН, а $C_{гин} = C_{уд}$ – емкость ГИН в ударе, разряд носит апериодический характер, а импульс напряжения на диоде имеет крутой фронт и пологий экспоненциальный спад. Для того, чтобы улучшить форму выходного импульса, можно применить срезающий разрядник $P_{ср}$, как показано пунктиром на рис. 7. Время включения срезающего разрядника регулируется длительность импульса также, как и величина спада напряжения на вершине[14].

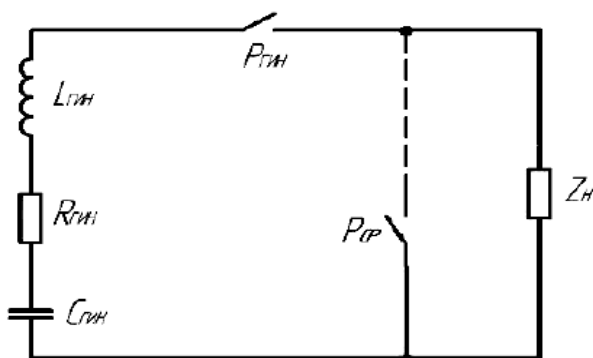


Рис. 7. Схема формирователя импульсов с помощью «обычного» ГИН и срезающего разрядника $P_{ср}$

Однако, данное решение значительно снижает эффективность использования накопленной в ГИН энергии. Если формировать таким образом импульс длительностью $t_n \sim 5-10$ мкс с временем фронта $t_f \leq 1,5$ мкс и допустимым спадом вершины $\Delta U/U \leq 15$ %, в нагрузку перейдет меньше 30 % накопленной в ГИН энергии, т.е. эффективность генератора $\eta = W_n / W_{\text{ГИН}} < 0,3$. Но, не смотря на низкую эффективность, такой метод широко используется на практике [14].

Чтобы оценить основные параметры импульсов, которые формирует ГИН со срезающим разрядником, можно использовать следующие соотношения:

$$\begin{aligned} t_n / t_f &\approx \Delta U/U Z_n^2 / (L_{\text{ГИН}} / C_{\text{ГИН}}); \\ \eta &\approx 2 (\Delta U/U) / (1 - \Delta U/U); \\ I_{\text{срез}} &\approx 1,5 Z_n I_n / (L_{\text{ГИН}} / C_{\text{ГИН}})^{1/2}, \end{aligned}$$

где Z_n – сопротивление нагрузки, например, импеданс сильноточного диода, $I_n = U/Z_n$ – амплитуда тока, протекающего через нагрузку, $I_{\text{срез}}$ – ток ГИН после того как срабатывает срезающий разрядник.

Благодаря этим соотношениям легко заметить, что для того, чтобы получить импульс $\Delta U/U \leq 0,1$ и $t_n / t_f \approx 10$, ГИН должен иметь очень малую индуктивность, а коэффициент использования накопленной энергии не перевалит за 20 %. Более того, ток разрядника $I_{\text{срез}}$ может в десятки раз превышать амплитуду тока в нагрузке.

1.2.3 ГИН С КОРРЕКТИРУЮЩИМИ LC-ЦЕПЯМИ

В линейных модуляторах часто используют схему формирования прямоугольных импульсов с помощью накопительного конденсатора и

корректирующих LC-звеньев. Практика и теория по применению подобных систем для напряжения до 50 кВ и мощностью до 10^7 Вт хорошо разработаны и суммированы в ряде монографий и учебников, которые посвящены системам импульсного питания ВЧ-генераторов. Подобные цепи в ряде лабораторий были использованы совместно с ГИН для формирования импульсов ускоряющего напряжения мегавольтного уровня для силовых диодов микросекундного диапазона длительностей [14].

На рис. 8 приведена схема генератора с двухзвенной цепью коррекции на выходе ГИН.

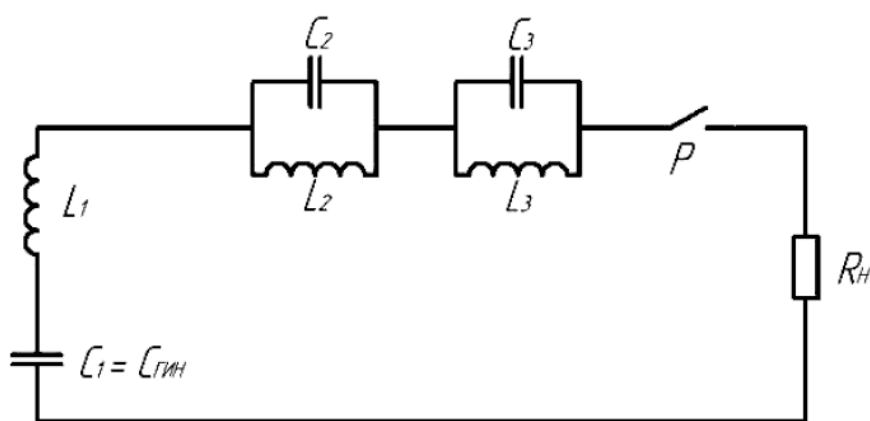


Рис. 8. Схема формирования импульсов с помощью звеньев коррекции на выходе ГИН

Рекомендуемые параметры элементов приведенной схемы (см. рис. 8) определяются следующими соотношениями:

$$C1 = 0,4 t_{и} / R_{н}; L1 = 0,135 R_{н} t_{и} ;$$

$$C2 = 0,54 C1; L2 = 0,57 L1 ;$$

$$C3 = 0,89 C1; L3 = 0,09 L1 .$$

Подобная система позволяет получать импульсы с соотношением $t_{и}/t_{ф} \sim 5-8$ при этом неравномерности вершины напряжения $\Delta U/U \sim 0,1$. Однако имеется два существенных недостатка:

- корректирующие элементы в схеме конструктивно являются отдельными, достаточно сложными и относительно крупными элементами;

- выходное напряжение ГИН примерно на 30 % превышает напряжение на нагрузке[14].

Более того, корректирующие элементы имеют свою установочную энергоемкость порядка 20 % от энергоемкости в ГИН, но эта энергоемкость не используется для накопления энергии.

На рис. 9 приведена схема еще одного генератора, с корректирующей LC-цепью которая включена параллельно ГИН, и дополнительной индуктивностью в цепи нагрузки.

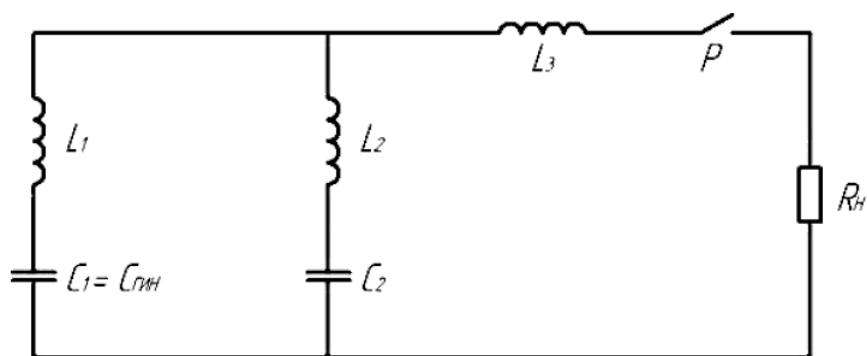


Рис. 9. Схема генератора с корректирующими цепями

Рекомендуемые параметры для схемы рис. 9 можно найти из следующих соотношений:

$$C1 = 0,4 t_{и} / R_{н}; L1 = 0,253 R_{н} t_{и};$$

$$C2 = 0,042 t_{и} / R_{н}; L2 = 0,27 R_{н} t_{и}.$$

Данная схема не имеет недостатков, свойственных для схемы на рис. 8. В качестве индуктивностей $L1$ (в цепях с основными накопителями энергии – конденсаторами $C1$) возможно использовать собственные индуктивности конденсаторов и межкаскадных соединений ГИН. Значимым недостатком этой схемы является трудность подбора емкостей $C1$ и $C2$ из имеющейся номенклатуры высоковольтных энергоемких конденсаторов, а также в знакопеременном характере разрядного тока конденсатора $C2$ и сравнительно небольшом отношении $t_{и} / t_{ф} \sim 5$ при $\Delta U / U \leq 10 \%$.

1.3 ПРИБОРЫ КОММУТАЦИИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Среди часто используемых газоразрядных приборов можно выделить управляемый трехэлектродный разрядник в атмосфере сжатого газа и импульсный водородный тиратрон[27].

Главным достоинством управляемого разрядника в сравнении с тиратроном – это возможность получить крутые перепады напряжения за время с порядком 1 нс и меньше. Но схемы с искровыми разрядниками и накопителями используются, как правило, для того, чтобы получать одиночные импульсы, так как если использовать искровой разрядник для создания периодических импульсов начинает отрицательно влиять значительная нестабильность времени срабатывания таких разрядников[23].

К плюсам тиратронов в качестве коммутирующих ключей можно отнести: возможность регулирования моментом и периодичностью переключения; способность работы в относительно широком диапазоне анодных напряжений. Главными минусами тиратрона является ограничение по коммутируемому току и напряжению, частоте (из-за процесса деионизации газа) и потребление мощности для накала.

В последнее время наряду с газоразрядными коммутаторами используют также магнитные ключи[17]. Их принцип работы базируется на использовании нелинейности петли гистерезиса[8]. На основе таких ключей строятся магнитно-полупроводниковые и тиратронномагнитные генераторы мощных высоковольтных импульсов. Основная область применения мощных генераторов на магнитных ключах появилась благодаря совершенствованию линейных ускорителей электронов волноводного типа. В таких ускорителях магнитный генератор служит для питания катода электронной пушки. Генераторы с магнитными ключами используют в роли импульсных источников питания для: установок волнового разряда в плазме; питания мощных модуляторных ламп; лазеров на парах металлов; в реакторах для очистки воды[3].

У магнитных ключей есть ряд достоинств. Это высокая стабильность срабатывания, малое время восстановления и долговечность. Если нужно увеличить надежность работы генератора, увеличить частоту работы, улучшить стабильность прохождения импульсов, то для коммутирования высокого напряжения и больших токов лучше всего применять магнитные ключи. К магнитным ключам предъявляются требования только по максимально допустимым потерям на тепловыделение. Из недостатков магнитных ключей - это невозможность получить идеально прямоугольной импульс[10].

На рисунке 10 приведен пример схемы магнитно-транзисторного генератора.

В этой схеме увеличение напряжение происходит поэтапно. Звенья магнитного сжатия расположены между двумя импульсными высоковольтными трансформаторами $Tr1$ и $Tr2$ у которых разный коэффициент усиления.

Схема подключается к питанию через автотрансформатор. С него синусоидальное напряжение подключается к диодному мосту $U1$, выпрямляется и накачивает батарею, состоящую из электролитических конденсаторов $C1$.

Отпирающий импульс напряжения приходит от схемы управления на затвор транзистора $VT1$. Это приводит к тому, что транзистор практически мгновенно открывается и подключает заряженную батарею конденсаторов $C1$ к дросселю $L1$ на импульсный конденсатор $C2$ чья емкость намного меньше чем емкость $C1$. В получившемся колебательном контуре $C1-L1-C2$ возникает импульс тока синусоидальной формы и часть энергии накапливается в конденсаторе $C2$, который заряжается до напряжения равного почти двум напряжениям $C1$. После того как конденсатор $C2$ зарядился происходит закрытие транзистора и цепь источника питания отсоединяется от разрядной цепи. Затем, с малой задержкой по времени

дроссель Др1 насыщается и разряжает конденсатор С2 на высоковольтный С3.

Через импульсный трансформатор Тр1 передается энергия из низковольтного конденсатора С2 в высоковольтный С3 с коэффициентом усиления k . Энергия из накопительного конденсатора передается полностью только если емкости равны, поэтому $C3 = C2/k^2$.

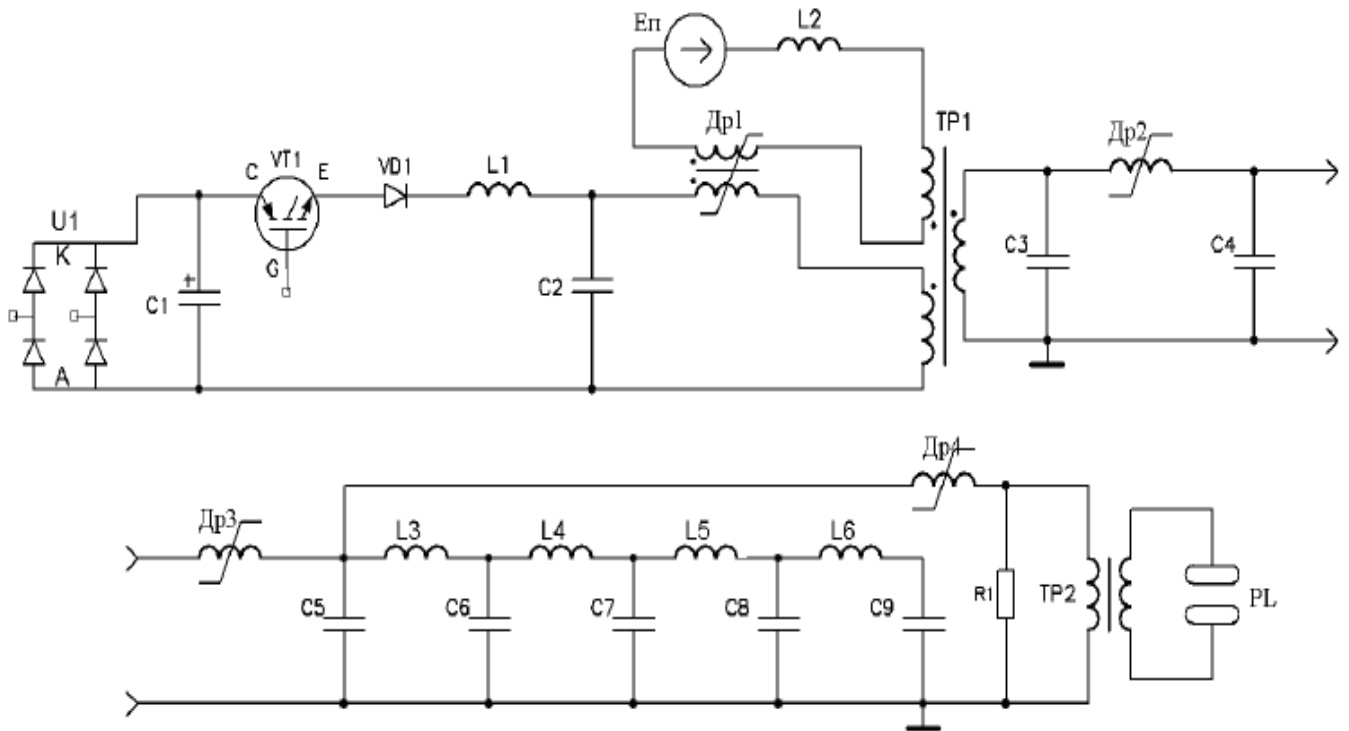


Рисунок 10 – Принципиальная схема магнитно-транзисторного генератора высоковольтных наносекундных импульсов для питания газоразрядной нагрузки.

Максимально допустимое обратное прикладываемое напряжение между эмиттером-коллектором у IGBT транзистора очень низкое и поэтому для его защиты последовательно ставят быстродействующий.

Особенность работы генератора заключается в следующем: основное сжатие импульса осуществляется в высоковольтной части схемы после повышающего трансформатора Тр1. Компрессировать импульс в низковольтной части схемы неэффективно, потому, что с увеличением коэффициента сжатия снижается количество витков первичной обмотки

трансформатора, но вместе с тем, конструктивные особенности трансформатора должны обеспечивать минимальные индуктивности рассеивания его обмоток.

Высоковольтная часть схемы включает в себя три звена магнитного сжатия. Импульс сжимается в каждом звене за счет того, что каждая следующая индуктивность L_i насыщенного дросселя Dp_i меньше предыдущей $L_2 > L_3 > L_4$, в результате появляется возможность формировать импульсы наносекундной длительности. Последнее звено сжатия подключено к искусственной формирующей линии (ИФЛ). Оконечный трансформатор имеет коэффициент усиления равный единице. Если пересчитанное к первичной обмотке импульсного трансформатора Tr_2 сопротивление нагрузки равно волновому сопротивлению искусственной формирующей линии (лестничный тип), то разряд линии происходит в виде одиночного импульса, форма которого близка к прямоугольной.

В роли нагрузки рассматриваем газоразрядный промежуток PL . Его зависимость тока от напряжения не линейна и поэтому не может быть идеально согласован с накопителем энергии. В то время, когда формируется основной импульс сердечники звеньев генератора намагничиваются в прямом направлении. А в промежутке основных импульсов сердечники магнитных звеньев должны перемагнититься в обратном направлении.

У первого магнитного ключа есть дополнительная обмотка подмагничивания. Через эту обмотку от источника питания E с последовательно включенным развязывающим дросселем L_2 протекает постоянный ток который обеспечивает перезаряд конденсатора C_1 напряжением отрицательной полярности. Это напряжение отрицательной полярности насыщает дроссель Dp_1 и затем происходит передача импульса перемагничивания через остальные звенья сжатия, точно так же, как и основного в сторону нагрузки.

Перемагничивание сердечников насыщающихся дросселей является обязательным процессом. Перемагничивание происходит непосредственно

после создания основного рабочего импульса на нагрузке. Восстановление исходного состояния сердечников насыщающихся дросселей ДР1-ДР4 и импульсных трансформаторов Тр1-Тр2 необходимо для того, чтобы увеличить рабочий перепад индукции каждого сердечника и подготовить схему к формированию очередного импульса. Так как нагрузка имеет нелинейный характер, то импульс обратного перемагничивания не будет рассеиваться на ней. Для поглощения энергии этих импульсов в схеме на рис.1 используется шунтирующее сопротивление R1, включенное параллельно первичной обмотке трансформатора Тр2[14].

Для того, чтобы разработать более эффективный генератор стоит обратить внимание на схему Аркадьева-Маркса. Её принцип действия в классической схеме Аркадьева–Маркса основывается на заряде, подключенных параллельно, накопительных конденсаторов, до уровня напряжения, близкого к напряжению питания схемы[6]. После того, как эти конденсаторы зарядятся, происходит перепоключение в последовательную конденсаторную цепь, с помощью разных ключевых устройств. Напряжение на выходе увеличивается прямо пропорционально количеству последовательно соединенных конденсаторов. Долгое время в роли коммутирующих приборов в этой схеме использовались газоразрядные приборы, такие как воздушные разрядники и тиратроны. В генераторе накопление энергии осуществляется с помощью двух ветвей последовательно подключенных резисторов. Во время заряда на резисторах рассеивается до 50% мощности, потребляемой от источника питания, что заметно снижает КПД устройства.

С появлением IGBT-транзисторов, и использованием их в качестве коммутирующих элементов, схема Аркадьева–Маркса находит все более широкое применение[2]. Заряд накопительных конденсаторов происходит через две ветви последовательно соединенных индуктивностей и цепь последовательно соединенных диодов. Такое схемотехническое решение позволяет снизить мощностные потери при заряде накопительных

элементов. Накопительные элементы заряжаются через одну общую катушку индуктивности и две цепи последовательно соединенных диодов. Сложный характер заряда накопительных конденсаторов приводит к значительным колебательным процессам в схеме и, как следствие, требует дополнительных цепей защиты. При этом возрастают потери мощности.

В каждом варианте схемы Аркадьева–Маркса выходное напряжение на нагрузке равно напряжению от источника питания, умноженному на количество накопительных конденсаторов, за вычетом потерь на коммутирующих элементах[6].

На рисунке 11 приведена функциональная схема генератора по схеме Аркадьева–Маркса. IGBT – транзисторы используются в качестве коммутирующих элементов. Особенностью предложенного схемного решения является замена зарядных резисторов на зарядные диоды и подключение питающего напряжения через общую индуктивность L.

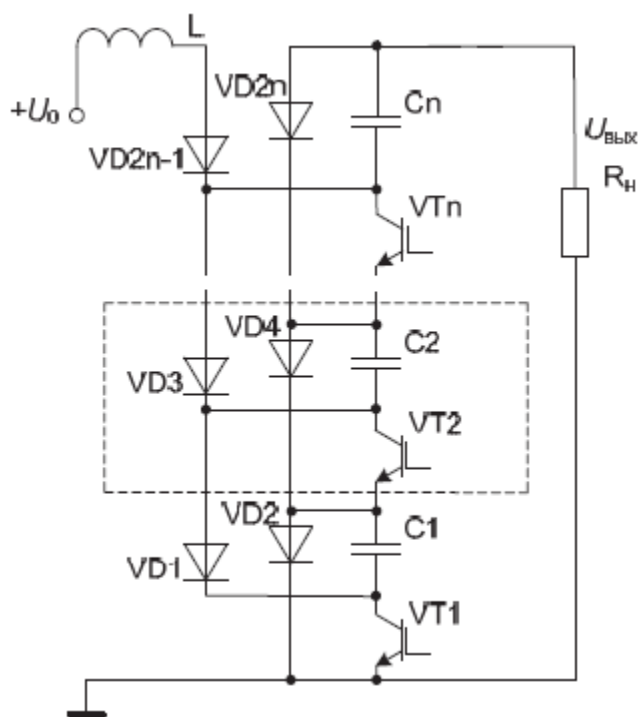


Рис.11- Функциональная схема генератора

Высоковольтный импульсный генератор состоит из n каскадов и работает следующим образом. От напряжения питания $+U_0$ происходит заряд

накопительных конденсаторов по следующей цепи: от индуктивности L , цепочка нечетных зарядных диодов VD_1-VD_{2n-1} , накопительные конденсаторы C_1-C_n , цепочка четных зарядных диодов VD_2-VD_{2n} . В то время, когда происходит заряд все диоды открыты, а накопительные конденсаторы подключены параллельно и конденсаторы заряжаются одновременно. На рисунке 12 представлена эквивалентная схема цепи заряда накопительных конденсаторов.

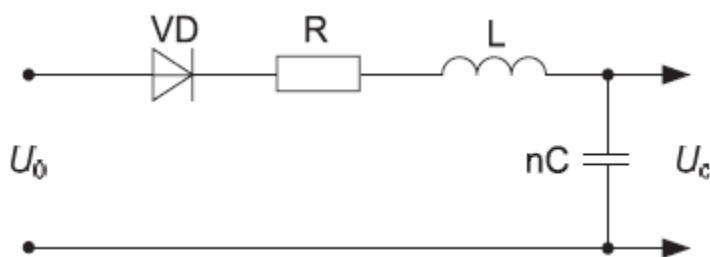


Рис. 12 - Эквивалентная схема цепи заряда накопительных конденсаторов

Если $R \rightarrow 0$, то в данной схеме будет возникать колебательный режим заряда накопительных конденсаторов. Данный способ приводит к минимизации потерь и позволяет зарядить конденсаторы до удвоенного напряжения питания $U_c = 2U_0$. По окончании заряда накопительных конденсаторов зарядные диоды запираются. Напряжение на конденсаторах удерживается на уровне U_c . Затем, отпирающие импульсы поступают на затворы транзисторов VT_1-VT_n . Происходит отпирание транзисторов и конденсаторы C_1-C_n , подключаются последовательно и разряжаются на нагрузку R_n . Амплитуда напряжения на нагрузке составит $U_{\text{вых}} = 2nU_0$.

Во время разряда конденсаторов в нагрузку все зарядные диоды, кроме VD_{2n-1} , остаются закрытыми и не влияют на выходное напряжение. Диод VD_{2n-1} в момент отпирания транзисторов тоже отпирается и напряжение с коллектора транзистора VT_n прикладывается к индуктивности L . Значение индуктивности L велико и во время разряда накопительных конденсаторов утечки тока по данной цепи не возникает, поэтому, эта цепь не оказывает

воздействия на $U_{\text{вых}}$. После разряда накопительных конденсаторов на нагрузку транзисторы закрываются, а диоды открываются, и процесс полностью повторяется. В источнике [6] проводился эксперимент на десяти каскадах, в которых использовались накопительные конденсаторы емкостью 3,3 нФ. Частота повторения импульсов f выбрана около 10 кГц. Мощность, потребленная от источника питания $U_0=500$ В, составила $P_0=175$ Вт. Мощность, запасенная в конденсаторах и переданная в нагрузку, может быть рассчитана по формуле $P_c=C_n U_c^2 f/2$. При напряжении $U_c=1000$ В, она равна $P_c=165$ Вт. Таким образом, потери в зарядной цепи составили 10 Вт, что соответствует 5,7 %.

Кроме импульсных генераторов с умножением напряжения по схеме Аркадьева–Маркса известны генераторы с использованием других методов умножения. Р. Фитч и В. Говелл предложили импульсный генератор с применением умножения и дополнительной инверсией напряжения на накопительных конденсаторах[16]. Такое техническое решение иногда оказывается предпочтительнее схемы Аркадьева–Маркса, так как выходной ток в данном случае не протекает через большое количество силовых ключей.

Техническое решение заряда накопительных конденсаторов, описанное выше, может быть применено и в схеме с инверсией напряжения, предложенной Р. Фитчем и В. Говеллом. Функциональная схема генератора с инверсией напряжения и удвоением амплитуды выходных импульсов показана на рис. 13.

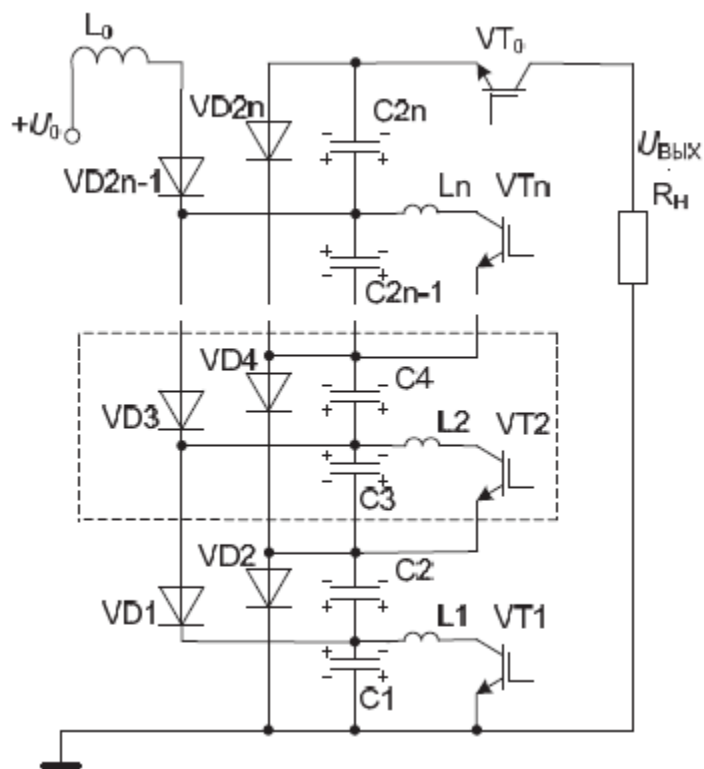


Рис. 13 – Функциональная схема генератора

Как было показано выше, каждый из конденсаторов в такой схеме зарядится с минимальными потерями до двойного напряжения питания $U_c=2U_0$. Полярность напряжения показана слева от конденсаторов. После заряда накопительных конденсаторов зарядные диоды запираются и удерживают напряжение на них на уровне $U_c=2U_0$. Схема состоит из n каскадов, каждый каскад имеет по два конденсатора заряженных встречно. Поскольку общее число конденсаторов четное, то из-за разной полярности напряжения на соседних конденсаторах суммарное напряжение на них будет равно нулю. Далее при одновременном включении транзисторов VT_1-VT_n в LC-контурах каждого каскада начнется колебательный процесс и через время $\pi\sqrt{LC}$ – произойдет перезаряд нечетных конденсаторов, вследствие чего напряжение на выходе всех, теперь уже последовательно соединенных конденсаторов, составит $4nU_0$. Полярность напряжения на конденсаторах после перезаряда нечетных конденсаторов показана справа от них. Если в

этот момент времени открыть транзистор VT_0 , то все напряжение $4nU_0$ будет приложено к нагрузке R_n .

В процессе перезаряда нечетных конденсаторов и разряда этих конденсаторов на нагрузку все зарядные диоды, кроме диода VD_{2n-1} , остаются закрытыми и не оказывают влияния на выходное напряжение. Диод VD_{2n-1} в процессе перезаряда нечетных конденсаторов открывается, и напряжение $4nU_0$ за вычетом напряжения на конденсаторе C_{2n} прикладывается к индуктивности L_0 . Так как индуктивность L_0 велика и за время перезаряда и дальнейшего разряда накопительных конденсаторов на нагрузку утечки тока по этой цепи не происходит, то эта цепь также не оказывает влияния на выходное напряжение. После разряда накопительных конденсаторов на нагрузку все транзисторы закрываются, а диоды открываются, и процесс полностью повторяется. В источнике проводились экспериментальные измерения на двух каскадах. Питающее напряжение выбрано $U_0=125$ В, при этом расчетное выходное напряжение должно быть $U_n=4nU_0=4 \times 2 \times 125=1000$ В процесс заряда на нечетных накопительных конденсаторов имеет одинаковую форму и амплитуду, близкую к удвоенному напряжению источника питания, т. е. около 250 В, что говорит о малых потерях во время заряда. После открывания транзисторов VT_1 и VT_2 происходит процесс перезаряда нечетных конденсаторов, и на осциллограмме мы наблюдаем импульс отрицательной полярности. На емкости C_1 этот импульс имеет амплитуду, близкую к напряжению $2U_0$ за вычетом потерь на транзисторе VT_1 . На емкости C_3 этот импульс имеет амплитуду, близкую к суммарному напряжению на емкостях C_1-C_3 , т. е. $6U_0$ за вычетом потерь при перезаряде на транзисторах VT_1 и VT_2 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ схем генераторов высоковольтных импульсов, проведенный в настоящей главе, показывает, что существует несколько вариантов формирования импульсов высокого напряжения. Наиболее

распространенный вариант предполагает использование газовых разрядников, что, однако, является неприемлемым при необходимости обеспечения высокой частоты следования импульсов и длительного срока службы генератора (порядка нескольких лет). В этом случае целесообразно использование генераторов на полупроводниковых приборах: тиристорах либо транзисторах.

Формирование высоковольтных импульсов непосредственно полупроводниковыми коммутаторами требует использования достаточно сложных технических и схемных решений, связанных с распределением напряжения на последовательно включенных приборах в статическом и динамическом режиме, гальванической развязки цепей управления, минимизации потерь при протекании тока малой длительности и пр.

Наиболее целесообразным является применение полупроводниковых приборов для коммутации импульсов микросекундной длительности с последующим уменьшением длительности импульса с помощью магнитных звеньев сжатия, в составе которых используются насыщающиеся реакторы.

2. РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

2.1 НИЗКОВОЛЬТНАЯ ЧАСТЬ СХЕМЫ

Разработанный генератор высоковольтных импульсов состоит из трех частей: низковольтная часть, высоковольтная часть и управление.

На рисунке 14 приведена принципиальная схема низковольтной части генератора высоковольтных импульсов.

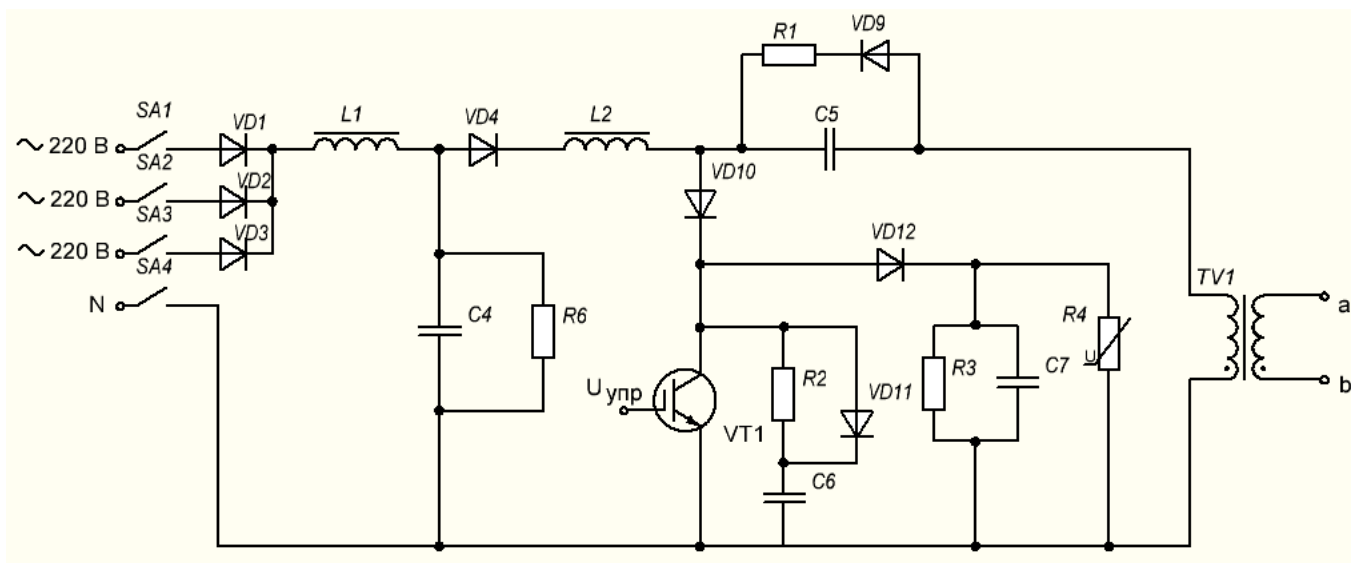


Рисунок 14 – принципиальная схема низковольтной части генератора

Низковольтная часть генератора обеспечивает медленный заряд дозирующего конденсатора C_5 и его быстрый разряд на повышающий трансформатор TV_1 , который подключен к высоковольтной части генератора.

Питание схемы происходит от трехфазной сети. Диоды VD_1 - VD_3 включены по схеме однополупериодного выпрямителя, а конденсатор C_4 и дроссель L_1 являются сглаживающим фильтром.

Транзистор VT_1 работает в ключевом режиме. Когда VT_1 закрыт дозирующий конденсатор C_5 заряжается по резонансному контуру $VD_4 - L_2 - C_5 - TV_1$. Трансформатор сконструирован таким образом, что достаточно быстро насыщается и его индуктивность падает, поэтому при расчете времени заряда будет учитываться только индуктивность L_2 . Когда

резонансный заряд поднимет напряжение на дозирующем конденсаторе до максимума обратный разряд этого конденсатора происходить не будет, этому препятствует диод VD_4 . Дозирующий конденсатор будет держать этот заряд до тех пор, пока транзистор не откроется.

Когда транзистор открывается через него начинает протекать ток разряда конденсатора на трансформатор TV_1 . Этот ток очень большой по величине (десятки – сотни ампер), поэтому, чтобы транзистор не вышел из строя длительность разряда дозирующего конденсатора должна быть очень малой (десятки микросекунд).

Трансформатор TV_1 повышающий. Именно за счет него мы получаем необходимые нам киловольты.

2.2 ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ ЧАСТЬ СХЕМЫ

На рисунке 15 приведена высоковольтная часть генератора и схема подмагничивания дросселей. Вторичная обмотка трансформатора подключена к звеньям магнитного сжатия. Элементы $L_3 - L_6$ – коммутирующие дроссели. В насыщенном состоянии их индуктивность во много раз меньше чем в ненасыщенном.

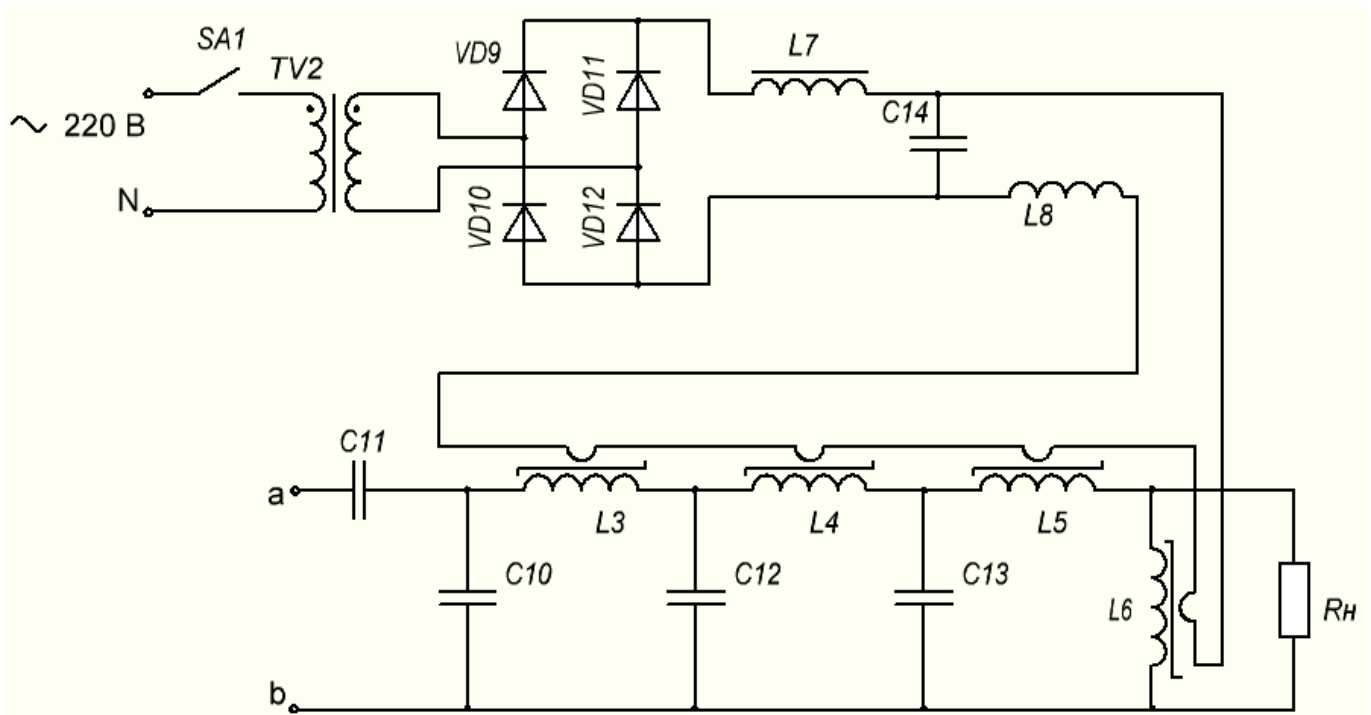


Рисунок 15 – высоковольтная часть генератора и схема подмагничивания дросселей

Схема подмагничивания содержит понижающий трансформатор, выпрямитель и сглаживающий фильтр. Эта схема необходима для того, чтобы в момент включения транзистора и разряда дозирующего конденсатора на трансформатор коммутирующие дроссели были насыщены в нужном направлении.

В момент включения транзистора начинается разряд дозирующего конденсатора на трансформатор. В высоковольтной части схемы начинается заряд конденсатора C_{11} через насыщенные дроссели. Трансформатор рассчитывается таким образом, чтобы в момент, когда дозирующий конденсатор полностью разрядится трансформатор насытится и произойдет перезаряд конденсатора C_{11} на C_{10} . Далее происходит сжатие импульса за счет коммутирующих дросселей.

2.3 РАСЧЕТ СХЕМЫ

По заданию необходимо спроектировать генератор с параметрами:

- 1) Энергия выходного импульса $W_{\text{вых}}=0,3$ Дж
- 2) Напряжение выходного импульса $U_{\text{вых}}=40$ кВ
- 3) Частота работы генератора $f=500$ Гц
- 4) Время выходного импульса $t_{\text{и}}=250$ нс
- 5) Время фронта выходного импульса $t_{\text{ф}}=20$ нс

Начинаем расчет с дозирующего конденсатора. Из формулы $W_{\text{доз}}=C_{\text{доз}}*U_c^2/2$ можем определить емкость дозирующего конденсатора $C_{\text{доз}}$. Здесь $W_{\text{доз}}$ – энергия, накопленная дозирующим конденсатором, U_c – напряжение на дозирующем конденсаторе.

Необходимую энергию дозирующего конденсатора $W_{\text{доз}}$ можем определить зная КПД высоковольтной части схемы. Так как высоковольтная часть схемы состоит из трех звеньев сжатия, то их КПД составит примерно $\eta=0,6$. $W_{\text{вых}}= W_{\text{доз}} * \eta \Rightarrow W_{\text{доз}}= W_{\text{вых}}/ \eta=0,3/0,6=0,5$.

Напряжение на конденсаторе U_c будет равняться двойному выпрямленному напряжению $U_c=2*U_{\text{вып}}$, потому что происходит резонансный заряд через дроссель L_2 .

В схеме выпрямления используем однополупериодный выпрямитель. Выпрямленное напряжение можно найти по формуле:

$$U_{\text{вып}} = \frac{3*\sqrt{3}*U_{\text{м}}}{2*\pi},$$

$$\text{где } U_{\text{м}} - \text{амплитуда входного напряжения } U_{\text{вып}} = \frac{3*\sqrt{3}*308}{2*\pi} = 255 \text{ В}$$

Теперь можно найти емкость дозирующего конденсатора

$$C_{\text{доз}} = \frac{2 * W_{\text{доз}}}{(2 * U_{\text{вып}})^2} = \frac{2 * 0,5}{(2 * 255)^2} = 3,8 * 10^{-6} \text{ Ф}$$

Дроссель L_2 обеспечивает заряд дозирующего конденсатора. Рассчитывается из следующих условия, что время заряды должно быть на

порядок больше времени разряда $t_{зар} > 10 * t_{раз}$. В свою очередь время разряда ограничено временем максимально допустимым током через транзистор $I_{max доп}$.

$$t_{раз мин} = C_{доз} \frac{U_C}{I_{max доп}} = 3,8 * 10^{-6} * \frac{2 * 255}{800} = 2,5 \text{ мкс}$$

Примем время разряда равным $t_{раз} = t_{раз мин} * 10 = 25 \text{ мкс}$, а время заряда $t_{зар} = 40 * t_{раз} = 1000 \text{ мкс}$.

С помощью формулы Томпсона найдем значение индуктивности L_2 .

$$T_3 = 2 * \pi * \sqrt{L_2 * C_{доз}}$$

Так как время заряда составляет лишь одну четвертую часть от периода, то:

$$t_{зар} = 8 * \pi * \sqrt{L_2 * C_{доз}}$$

ИЗ ЭТОГО ВЫВОДИМ:

$$L_2 = \frac{t_{зар}^2}{64 * \pi^2 * C_{доз}} = \frac{(1000 * 10^{-6})^2}{64 * \pi^2 * 3,8 * 10^{-6}} = 417 * 10^{-6} \text{ Гн}$$

Далее, приступим к расчетам трансформатора. Напряжение на входа трансформатора $U_1 = 500 \text{ В}$, напряжение на выходе равно $U_2 = 40 \text{ кВ}$. Посчитаем коэффициент трансформации $n = U_2 / U_1 = 40000 / 500 = 80$.

Для того, чтобы из дозирующего конденсатора $C_{доз}$ энергия в высоковольтную часть схемы передавалась полностью, емкость C_{11} пересчитанная в первичную цепь должна равняться емкости $C_{доз}$

$$C_{11} = \frac{C_{доз}}{n^2} = \frac{3,8 * 10^{-6}}{80^2} = 593 * 10^{-12} \text{ Ф}$$

3. ИСПЫТАНИЯ ГЕНЕРАТОРА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

3.1 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 16. Основными элементами установки являются реактор с размещенной в нем системой электродов импульсного разряда и генератор высоковольтных импульсов.

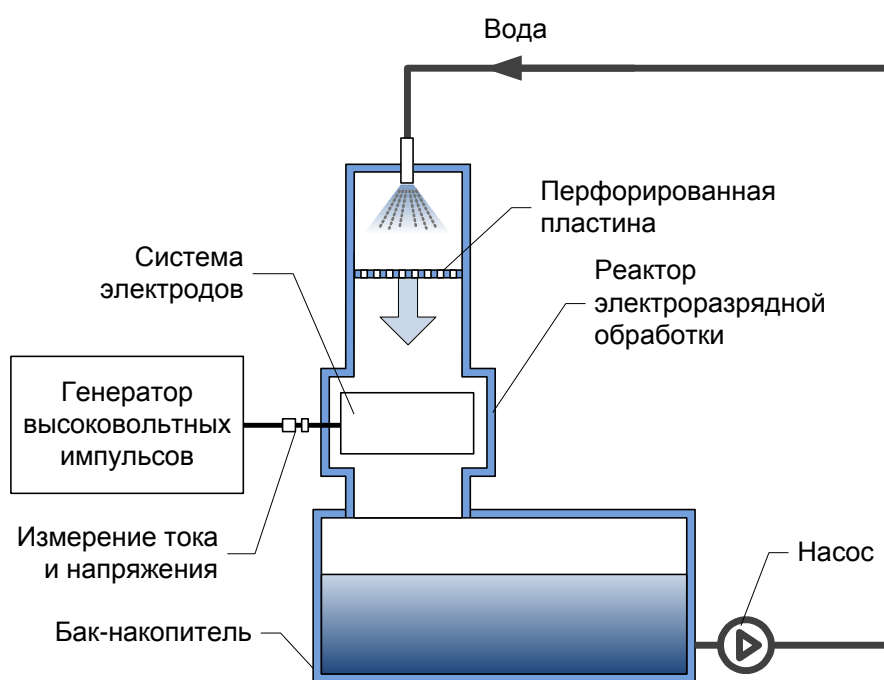


Рисунок 16 – Схема экспериментальной установки

В бак накопитель емкостью 25 литров набирается вода. Затем, с помощью насоса вода поднимается по шлангу в верхнюю часть установки и далее диспергировалась с помощью перфорированной пластины с диаметром отверстий 2 мм. Капли воды проходили через систему электродов импульсного коронного разряда, после чего снова поступали в бак-накопитель.

Эксперименты с импульсным коронным разрядом проводились в реакторе, схема которого представлена на рисунке 17.

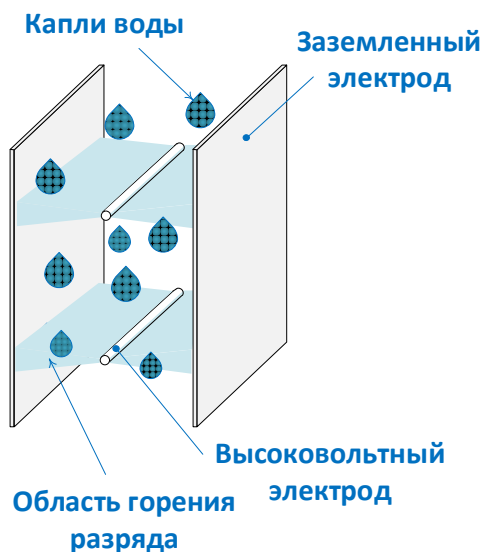


Рисунок 17 – система электродов

Реактор содержал 4 параллельно подключенные секции, каждая из которых состояла из проволочных высоковольтных электродов, размещенных между заземленными пластинами. Электроды были выполнены из нержавеющей стали. Расстояние между высоковольтным и заземленным электродами составляло 20 мм.

В экспериментах проводили измерения тока и напряжения при помощи осциллографа Tektronix TDS2014V с полосой пропускания 100 мГц, высоковольтного делителя Tektronix P6015A (время нарастания напряжения 7 нс) и резистивного датчика тока бифилярной конструкции.

Концентрацию озона в газовой фазе реактора измеряли при помощи газоанализатора Озон-5-25.

3.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

По завершению сборки генератор был испытан на активную нагрузку сопротивлением 100 Ом. На рисунке 18 приведены осциллограммы напряжения на звеньях сжатия.

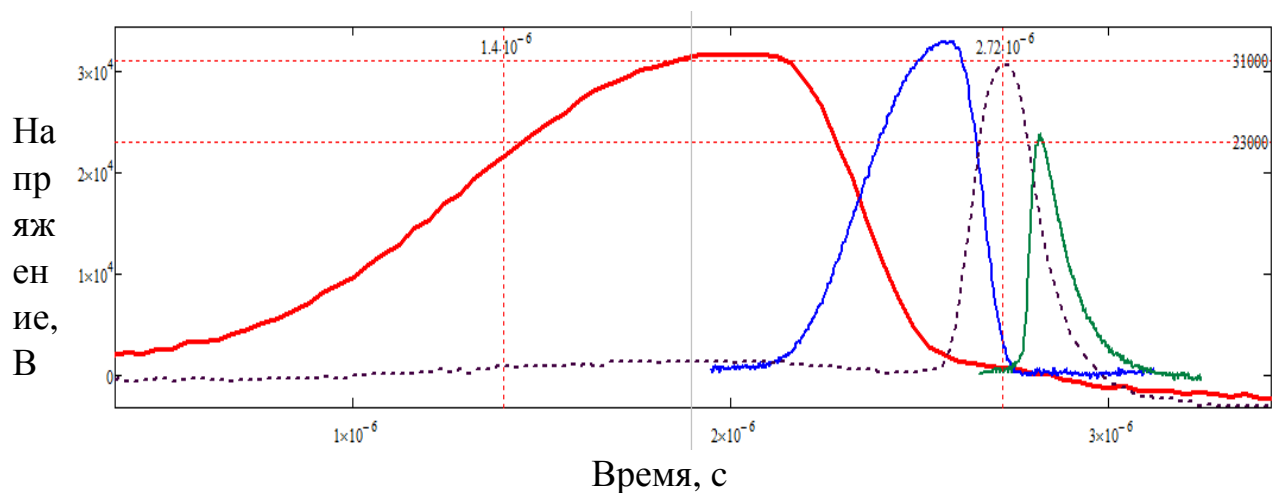


Рисунок 18 – осциллограммы на звеньях сжатия

По осциллограмме видно, как напряжение передается от звена к звену при этом сокращаясь по длительности.

В ходе работы проводился эксперимент по согласованию генератора с нагрузкой. Нагрузка представляет из себя электроразрядный реактор, состоящий из 4-х секций высоковольтных электродов, находящихся между заземленными пластинами (см. рисунок 17). Такая система образует конденсатор емкостью близкой к емкости разрядного конденсатора (примерно 560 пФ). Также воздействие оказывает высоковольтный провод длиной 2 метра соединяющий выход генератора с реактором.

Вид осциллограмм тока и напряжения на электродах зависел от параметров реактора – суммарной длины высоковольтных электродов и концентрации озона в газовой фазе. На рисунке 19 представлены осциллограммы тока и напряжения в различные моменты времени – сразу после включения установки, а также через 2 и 20 минут после включения.

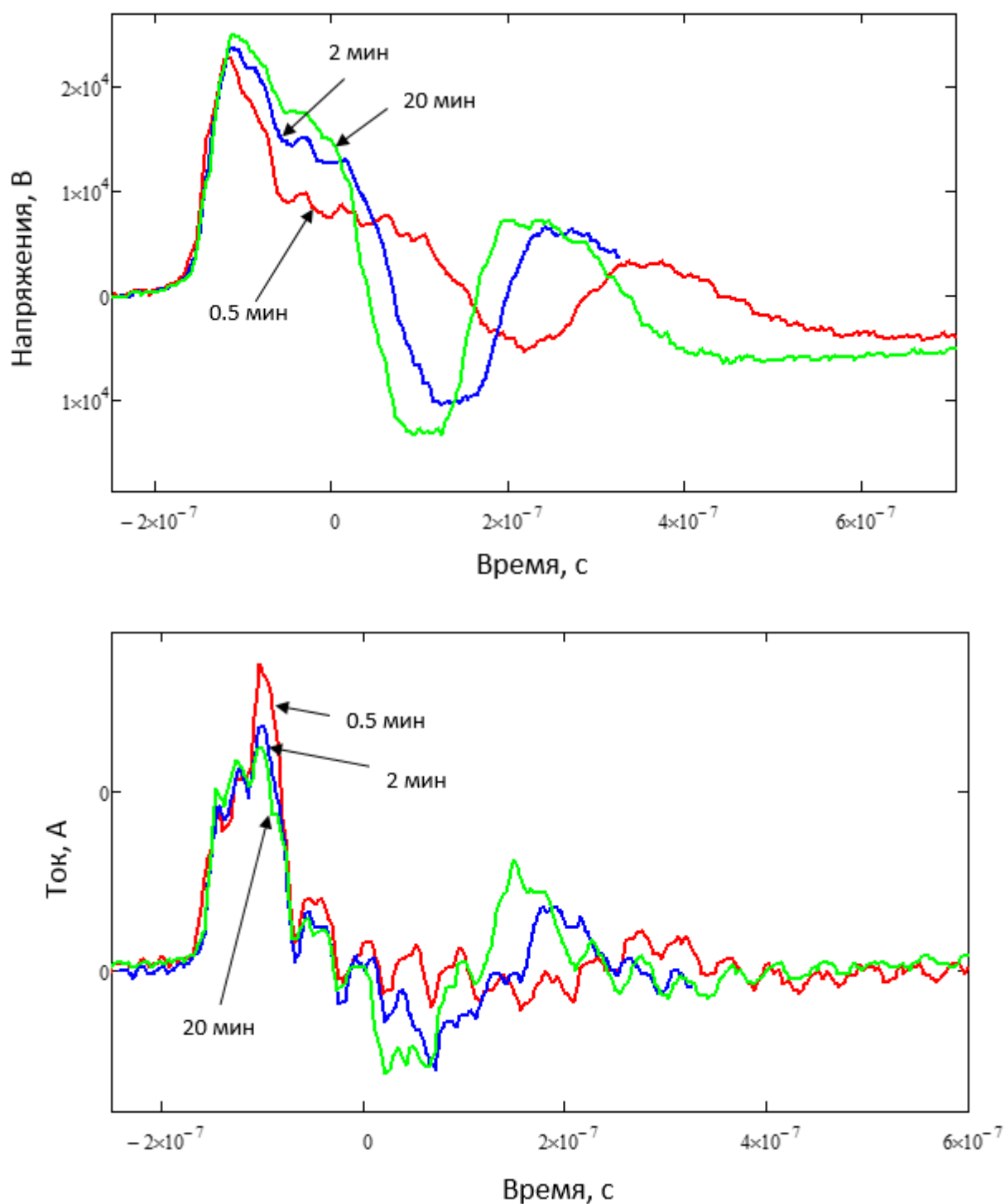


Рисунок 19 – Осциллограммы тока и напряжения через 0.5, 2 и 12 минут после включения разряда

Видно, что вид осциллограмм изменяется: уменьшается ток разряда и возрастает напряжение на промежутке. Причиной этого является повышение концентрации озона в газовой фазе реактора. За счет высокой электроотрицательности, молекулы озона захватывают ускоренные

электроны, что приводит к повышению сопротивления разряда и снижению разрядного тока.

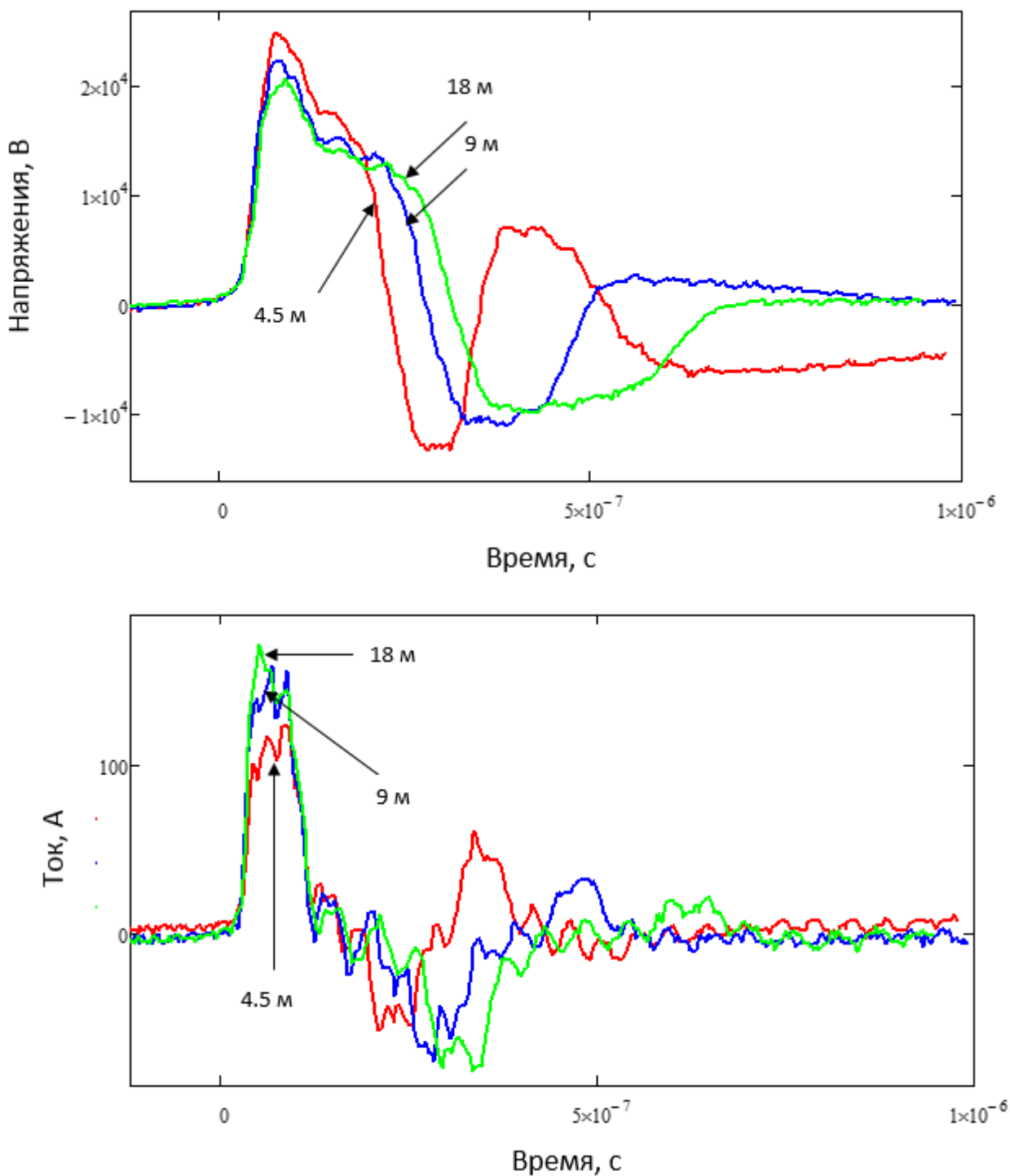


Рисунок 20 – Осциллограммы тока и напряжения при различной длине высоковольтного электрода реактора (суммарная длина электродов 4.5, 9 и 12 метров)

Ток разряда также снижается при уменьшении суммарной длины высоковольтных электродов, что обусловлено меньшим количеством каналов разряда (стримеров) и, соответственно более высоким сопротивлением разряда при меньшей длине высоковольтного электрода (рисунок 20)

Энергию разряда определяли по известной формуле:

$$E_p = \int_0^T U(t)I_A(t)dt$$

где $U(t)$, $I(t)$ –напряжение и ток разряда, E – энергия импульса.

С ростом концентрации озона, энергия, выделившаяся в разрядном промежутке, несколько снижалась (см. рисунок 21), что обусловлено изменением сопротивления разряда и некоторым рассогласованием генератора и реактора, которое, впрочем, как правило не превышало 5%.

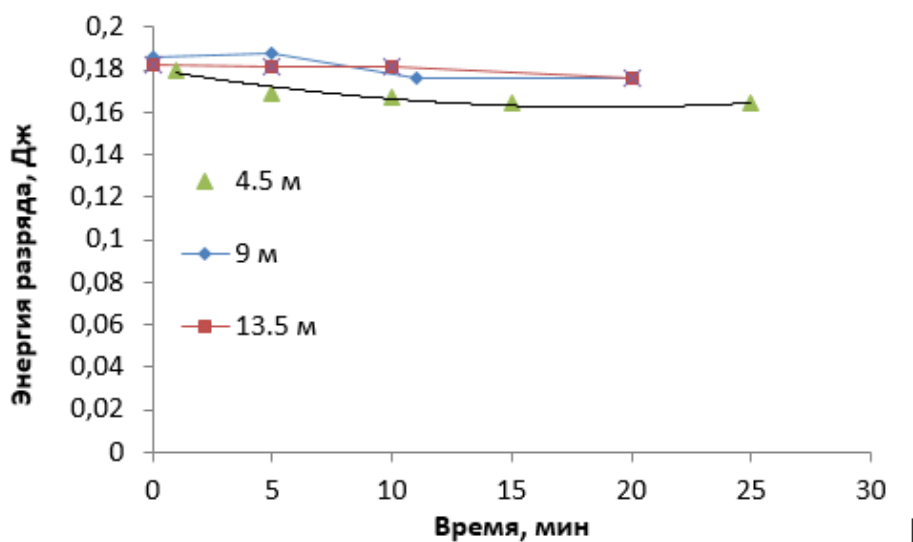


Рисунок 21 – Зависимость энергии разряда от времени работы установки

Энергию, запасенную в накопителе источника питания определяли по формуле:

$$E_c = \frac{CU^2}{2}$$

На рисунке 22 представлены зависимости энергии E_c (прерывистая линия) и E_p для различных напряжений на выходном конденсаторе

источника питания и различных длин высоковольтного электрода. Эффективность передачи энергии оценивали при помощи коэффициента $k = E_p / E_c$. Значения k , полученные в экспериментах, составили от 0.7 до 0.85. Наибольшая эффективность передачи энергии была достигнута при длине высоковольтного электрода 9 м.

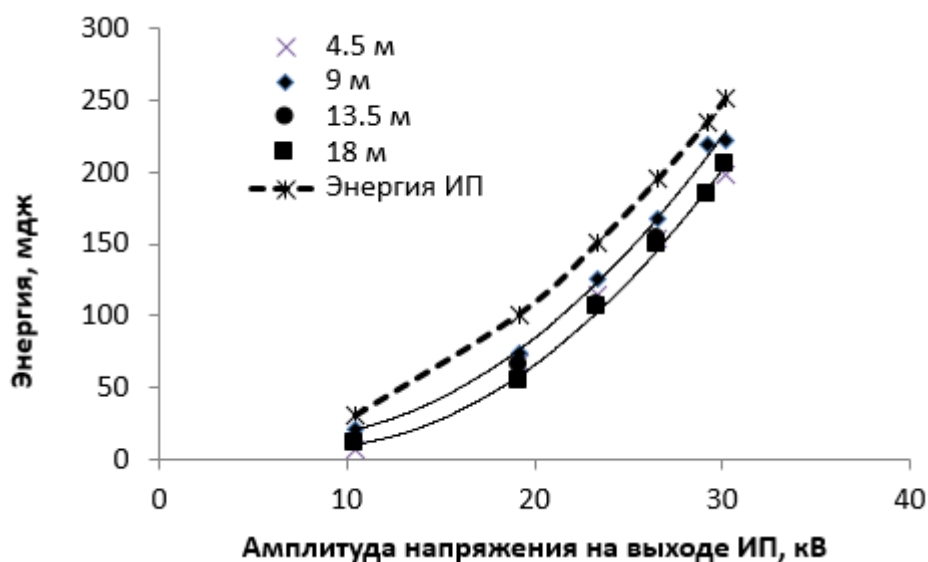


Рисунок 22 – Зависимость энергии разряда от амплитуды напряжения на накопительном конденсаторе источника питания

3.4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытания генератора высоковольтных импульсов, результаты которых приведены в настоящей главе, показали, что параметры собранного генератора, в целом, соответствуют техническому заданию. Генератор формирует на нагрузке высоковольтные импульсы амплитудой от 20 до 25 кВ и энергией порядка 0.2 Дж. Под действием высоковольтных импульсов в электроразрядном реакторе зажигается стабильный импульсный коронный разряд. При этом, эффективность передачи энергии из генератора в разряд зависит от параметров реактора: длины высоковольтных электродов и концентрации озона в газовой фазе, и составляет в оптимальном режиме порядка 80-90%.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

ПРЕДПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате анализа потенциальных потребителей результатов разработок рассмотрен целевой рынок и проведено его сегментирование. Определены основные критерии сегментирования.


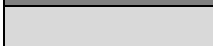
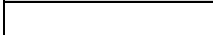
Разработанный генератор работает от промышленной сети питания 220 вольт и потребляет достаточно малую мощность. Что позволяет использовать его как в лабораторных условиях, так и в полевых условиях. Данный генератор предназначен для создания в реакторе коронного разряда для очистки воды.

Исходя из данных, представленных на карте сегментирования рынка производства и использования генератора, можно сделать вывод, что основные потребители заняты в научной отрасли.

Стоит отметить, что выполненное устройство имеет высокую надежность, автономность, помехоустойчивость, высокий КПД, дешевизну, что говорит о высокой степени внедрения на рынок.

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка

	Для чего используется		
	Создание разрядов в газе	Ускорители	Накачка лазеров
Промышленные предприятия			
Научно – исследовательские центры			
Физические лица			

	Сегмент освоен
	Сегмент освоен слабо
	Сегмент не освоен или информация не найдена

АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Поскольку рынок пребывает в постоянном движении, необходимо систематически производить детальный анализ конкурирующих разработок. Проведение такого анализа помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешно противостоять конкурентным разработкам и определить направления ее будущего повышения. Для проведения данного анализа необходимо обладать всей имеющейся информацией о разработках конкурентов, такой как: технические характеристики разработки, конкурентоспособность разработки, уровень завершенности научного исследования, уровень проникновения на рынок и т.д.

Проводить анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения удобно с помощью оценочной карты. Это необходимо для оценки сравнительной эффективности научной разработки и определения направления ее будущего повышения.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Наиболее конкурентными разработками для преобразователя зарядно-разрядного устройства являются: одноконтурные, двухконтурные, мостовые и полумостовые схемы преобразователей с гальванической и без гальванической развязки.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

Таблица 2 – 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. Повышение производительности труда пользователя	0,06	5	3	4	0,3	0,18	0,24
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
3. Помехоустойчивость	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
4. Энергоэкономичность	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27
5. Надежность	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
6. Уровень шума	0,02	5	5	4	0,1	0,1	0,08
7. Безопасность	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
9. Простота эксплуатации	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,01	4	4	3	0,04	0,04	0,03
11.Массогабаритные параметры устройства	0,03	3	3	3	0,09	0,09	0,09
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	3	2	0,16	0,12	0,08
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	2	3	2	0,06	0,09	0,06
3. Цена	0,04	4	4	3	0,16	0,16	0,12

4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
5. Послепродажное обслуживание	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
6. Срок выхода на рынок	0,01	1	3	3	0,02	0,03	0,03
7. Наличие сертификации разработки	0,09	2	5	5	0,18	0,45	0,36
Итого	1	71	65	59	4,17	3,56	3,3

Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод, что разработанный генератор на данном этапе достаточно конкурентоспособен. Таким образом, разрабатываемый проект является перспективным, поскольку обладает рядом уникальных свойств, гибкостью, а также относительно невысокой ценой.

ИНИЦИАЦИЯ ПРОЕКТА

ЦЕЛИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТЫ

Данный раздел позволяет провести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

В таблице 3 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 3 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Использование результатов проекта в дальнейших исследованиях
Исполнитель по проекту	Повышения уровня квалификации благодаря работе в научной сфере.
Организация заказчик	Использование результатов интеллектуальной деятельности для повышения конкурентоспособности организации
Спонсор проекта	Развитие научных исследований и программ. Повышение уровня качества научных исследований в стране.

В таблице 4 представлена информация о иерархии целей проекта, а также способы их достижения.

Таблица 4 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка, создание и исследование генератора высоковольтных импульсов
Ожидаемые результаты проекта:	Получение генератора для использования в установке по очистке воды
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособное устройство, технические характеристики которого соответствуют математическим расчетам
Требования к результату проекта:	Требования:
	Выходное напряжение – 40 кВ
	Длительность импульса – 250 нс
	Напряжение питания ~220В
	Энергия импульса – 0,3 Дж
	Частота работы 500 Гц

ОГРАНИЧЕНИЯ И ДОПУЩЕНИЯ ПРОЕКТА

В данном разделе описываются все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников проекта, а также установлены «границы проекта» - параметры проекта, которые не будут реализовываться в рамках данного проекта.

Таблица 5 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
1. Бюджет проекта	70000 р.
1.1. Источник финансирования	Кафедра промышленной и медицинской электроники ТПУ
2. Сроки проекта	01.06.2016-16.06.2017
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.11.2016
2.2. Дата завершения проекта	16.06.2017
3. Прочие ограничения и допущения	Ограниченное время работы за ПК, связанное с вредным влиянием ЭМ излучения, ограниченное время работы при монтаже макета, связанное с недостатком компонентной базы

ПЛАНИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМ ПРОЕКТОМ

ПЛАН ПРОЕКТА

Планирование управления научно-техническим проектом заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной цели, определение сроков их выполнения.

В первую очередь определяется полный перечень проводимых работ, а также продолжительность на каждом этапе. В результате планирования формируется график реализации проекта. Для построения работ необходимо соотнести соответствующие работы каждому исполнителю. В таблице 6 приведены основные этапы и содержание работ с распределением ответственных исполнителей.

Целесообразно применять линейное планирование с построением диаграммы Ганта, представленной в таблице 7. График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 6 – График трудоемкости ресурсов

Код работы (из ИСР)	Вид работы	Исполнители	Период работы научного руководителя		Период работы инженера	
			Начало, дата	Длительность, дни	Начало, дата	Длительность, дни
1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	01.02.2017	1	-	-
2	Составление и утверждение ТЗ	НР, И	02.02.2017	1	02.02.2017	3
3	Подбор и изучение материалов по тематике	И	-	-	21.02.2017	10
4	Разработка календарного плана	И	-	-	25.02.2017	3
5	Выбор структурной схемы устройства	И	-	-	28.02.2017	8
6	Выбор принципиальной схемы устройства	И	-	-	01.03.2017	14
7	Разработка макета устройства	НР, И	15.03.2017	3	15.03.2017	12
8	Написание программ	НР, И	26.03.2017	1	26.03.2017	7
9	Проведение экспериментальных исследований	НР, И	04.04.2017	10	04.04.2017	4
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	10.04.2017-	-	10.04.2017	4
11	Оформление материала	НР, И	14.06.2017	11	14.06.2016	21
12	Подведение итогов	НР, И	07.05.2017		07.05.2017	3

Таблица 7 Календарный план график

Название работы	Исполнитель	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ																	
			февраль			март			апрель			май			июнь			июль		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	3,90	■																	
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	2,31	■	■																
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	7,80		■	■	■														
Разработка календарного плана	НР, И	1,09			■	■														
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	2,19				■	■													
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	3,90					■	■												
Расчет принципиальной схемы устройства	И	10,98					■	■	■											
Разработка макета устройства	И	7,80						■	■	■										
Написание программ	И	8,05							■	■	■									
Проведение экспериментальных исследований	НР, И	2,68								■	■									
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	1,70									■	■								
Оформление материала	И	13,42										■	■	■	■					
Подведение итогов	НР, И	0,85												■	■					

■ —инженер. □ —руководитель.

БЮДЖЕТ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Планирование бюджета научного исследования производится путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов.

СЫРЬЕ, МАТЕРИАЛЫ, СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ПОКУПНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Стоимость всех видов и материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ формируется исходя из приобретения и платы за транспортировку. Транспортно–заготовительные расходы принимаются в пределах от 3 до 5 % от цены материалов (в данной работе 3%). Стоимость сырья, материалов, специального оборудования, комплектующих изделий приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Принтер	1	2000	2000
Электронные компоненты	1	15000	15000
Расходные материалы	1	1000	1000
Печатная бумага	1	250	250
Канцелярские товары	1	100	100
Осциллограф	1	40000	40000
Источник питания	1	700	700
Мультиметр	2	1500	3000
Персональный компьютер	1	15000	15000
Паяльная станция	1	5000	5000
Всего за материалы			82050
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			4102,5
Итого по статье С _м			86152,5

ОСНОВНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}$$

Где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней.

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	110	110

Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	20 3	32 3
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	87	75

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_6 \cdot k_p,$$

где Z_6 – базовый оклад, руб;

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 9.

Таблица 10 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_6 , руб.	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	23300	1,3	30290	1262	20	25240
Инженер	6700	1,3	8710	362,9	75	27217,5

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

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

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

В таблице 11 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 11 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Научный руководитель	Инженер
Основная зарплата	25240	27217,5
Дополнительная зарплата	3028,8	3266,1
Зарплата исполнителей	28268,8	30483,6
Итого по статье С _{зп}	58752,4	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{ВНЕБ}} = k_{\text{ВНЕБ}} \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}}),$$

где $k_{\text{ВНЕБ}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Итого 30% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР:

$$C_{\text{ВНЕБ}} = 0,3 \cdot (28268,8 + 30483) = 17625,72 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

В данную статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, содержание, эксплуатацию, ремонт оборудования, производственного инструмента и инвентаря.

Коэффициент накладных расходов составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта.

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{\text{НАКЛ}} = k_{\text{НАКЛ}} \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}}), \quad (6.9)$$

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

$$C_{\text{НАКЛ}} = 0,8 \cdot (28268,8 + 30483) = 47001,92 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы (таблица 12).

Таблица 12 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	89521,12
Основная заработная плата	52457,5
Дополнительная заработная плата	6294,9
Отчисления на социальные нужды	17625,72
Накладные расходы	47001,92
Итого себестоимость НИР	212901,16

Вывод: В данном разделе были рассчитаны основные показатели на каждом этапе проектирования, рассчитана себестоимость продукта. Из таблицы 12 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов. Таким образом, генератор высоковольтных коротких импульсов является более ресурсоэффективной разработкой, относительно аналогов.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в электрофизических установках и в технике физического эксперимента требуются генераторы коротких высоковольтных импульсов длительностью от единиц микросекунд до десятков наносекунд и амплитудой от единиц до сотен киловольт. В результате развития экспериментальной физики потребителями таких генераторов стали электронно-лучевые пушки, генераторы сверхвысоких колебаний, газоразрядные промежутки, газовые лазеры и т.д.

В современном научном мире от генераторов мощных коротких импульсов требуется высокая надежность, высокое значение КПД, стабильность работы и малые габаритные параметры. Без таких генераторов не обойтись в исследованиях электрофизических процессов, в опытах по получению материалов с новыми и заранее заданными свойствами, в ускорителях, в импульсных лазерах, в устройствах очистки воздуха и воды.

Для создания рабочего прототипа было использовано оборудование, создающее вредные и опасные факторы на организм человека. Так, для проектирования принципиальной схемы генератора продолжительное время использовался персональный компьютер (ПК), который подвергал разработчика влиянию вредных факторов. При сборке рабочего устройства осуществлялась пайка при помощи свинцовосодержащего припоя, который также при длительном использовании негативно влиял на человека. Поэтому каждому разработчику устройства необходимо знать о влиянии вредных и опасных факторов. И при разработке уметь устранять или снижать тот или иной фактор.

В данном разделе ВКР будут рассмотрены вредные и опасные факторы, влияющие на организм человека, будут рассмотрены возможные

чрезвычайные ситуации (ЧС), а также будут описаны способы снижения факторов, а также рассмотрены действия при возможных ЧС.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Производственная безопасность представляет собой комплекс мероприятий и средств, которые позволяют снизить вероятность воздействия вредных и опасных факторов на рабочий персонал. При разработке устройства необходимо выявить все негативные факторы, которые могут повлиять на персонал. Выбор факторов производится из ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Исходя из этого ГОСТа, были выявлены следующие факторы:

Таблица 13 - Опасные и вредные факторы при разработке усилителя.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	вредные	опасные	
1. Проектирование 1. Сборка генератора и исследование; 2. Установка на рабочее место; 3. Подключение генератора к реактору	1. Микроклимат; 2. Повышенная контрастность; 3. Недостаточная освещенность; 4. Вредные вещества в воздухе 5. Повышенный уровень электромагнитного излучения 6. Повышенный уровень ультразвука	1. Электрический ток. 2. Термическая опасность (ожоги при работе с паяльником)	1. СанПиН 2.2.4.548-96 устанавливает гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; 2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 устанавливает гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы; 3. Нормы искусственного освещения устанавливаются СП 52.13330.2011; 4. СанПиН 2.2.4.1191-03

			устанавливает требования к электромагнитным полям для потребительской продукции; 5. ГОСТ 12.2.007.0-75 устанавливает требования безопасности к электротехническим изделиям
--	--	--	--

АНАЛИЗ ВЫЯВЛЕННЫХ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ

При разработке устройств, важное учитывать влияние вредных факторов. При длительном влиянии на человека данных факторов у человека возникает усталость, повышается невнимательность, раздражительность.

Согласно СанПину 2.2.4.548-96 . на любом рабочем месте должен осуществляться надзор по соблюдению санитарных правил. Работа в лаборатории относится к категории 1б, поскольку работа, которая производилась сидя и не имела необходимости в переносе тяжестей.

Для создания благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения. Рабочая зона ограничивается высотой 2,2 м над уровнем пола, где находится рабочее место.

Одним из показателей эффективности работы персонала являются условия при которых они работают. Таким показателем является микроклимат. Микроклимат влияет на работоспособность человека, плохие показатели микроклимата могут приводить человека к быстрой утомляемости, невнимательности и т.д. К показателям микроклимата относят:

- Температура воздуха[°C];

- Температура поверхностей[°С];
- Влажность воздуха[%];
- Интенсивность теплового излучения

Оптимальные условия микроклимата в производственных помещениях - это такие условия, при которых человек чувствует себя комфортно в течение рабочей смены. В таблице показаны оптимальные величины показателей для микроклимата в холодный и теплый период года для группы 1б, согласно СанПиН 2.2.4.548-96.

Таблица 14 - Оптимальные показатели микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Темпер. Воздуха	Темпер. Поверх.	Относит. влажность воздуха	Скорость движения воздуха
Холодный	1б (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	1б (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

Допустимые условия микроклимата - это условия при которых, у человека не нарушается состояние здоровья, но чувствуется дискомфорт. В таблице 15 приведены допустимые величины показателей микроклимата.

Таблица 15 - Допустимые показатели микроклимата

Период года	Температура, град. С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Дип. ниже о.в.	Дип. ниже о.в.		Дип. ниже о.в.	Дип. ниже о.в.
Холодный	19 – 20,9	23,1 – 24	15 – 75	0,1	0,2
Теплый	20 – 21,9	24,1 – 28	15 – 75	0,1	0,3

Для создания благоприятного микроклимата, на предприятии необходимо использовать водяное отопление с применением радиаторов.

Процесс разработки принципиальной схемы связан с длительной работой с ПК. В случае неправильного настроенного контраста ПК либо сильно яркого, либо сильно слабого может приводить к быстрой утомляемости, усталости глаз, а при длительном использовании к ухудшению зрения. В комплексе мероприятий по снижению данного фактора были предложены следующие методы. Во-первых, отрегулировать яркость на ПК. Во-вторых, в случае низкого естественного освещения, использовать искусственное: лампы, светильники. В-третьих, производить перерывы при работе с ПК, делать упражнения для глаз, рук и спины. Стоит отметить, что при использовании светильников (искусственного освещения), величина коэффициента пульсации не должна превышать 5%. Также, любой ПК должен удовлетворять требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Плохое естественное освещение лаборатории утомляет не только зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Неправильное освещение может быть причиной травматизма: плохо освещенные опасные зоны, слепящие лампы, резкие тени ухудшают или вызывают полную потерю зрения, ориентации, нарушение обмена веществ, координации, ухудшение сопротивляемости организма, а также создается неблагоприятное психологическое воздействие. Данный фактор нормируется СП 52.13330.2011 [24]. Для улучшения показателей освещения, необходимо использовать искусственное освещение в виде светильников, дополнительного внешнего освещения на предприятии.

Для проведения экспериментальных исследований необходимо сконструировать генератор. Генератор конструируется на большой плате текстолита, при помощи пайки устанавливаются различные радиокомпоненты. Пайка осуществляется преимущественно оловянно-свинцовым припоем, с использованием канифоли. При пайке выделяются вредные вещества, которые воздействуют на человека и на окружающую

среду. В таблице приведены вещества, которые выделяются при пайке, а также класс опасности и предельно-допустимые концентрации (ПДК) для припоев.

Таблица 16 - Класс опасности и ПДК припоев.

Вещество (состав)	Класс опасности	ПДК в воздухе мг/м ³
Припой		
ПОС 40; ПОС 61	1	0,01(По свинцу)
ПОЦ 10; ПОЦ 55	3	10 (По олову)

где Класс опасности по степени воздействия на организм:

- 1 - чрезвычайно опасные;
- 2 - высоко опасные;
- 3 - умеренно опасные
- 4 - малоопасные.

Для снижения данного вредного факторы необходимо использовать вентиляцию с фильтрацией вредных веществ. Разработчику необходимо работать в маске, а также в защитных очках.

Электромагнитное поле - еще один вредный фактор, создаваемый любой техникой. При длительном воздействии на организм человека электромагнитного поля повышается утомляется, снижается качество выполняемых работ, могут возникнуть психические расстройства. Предельно-допустимые значения электромагнитного излучения регламентируются СанПиН 2.2.4.1191-03 так, для разных частот существуют следующие значения:

- 30–300 кГц — это напряжённость поля 25 В/м;
- 0,3–3 мгц — 15 В/м;
- 3–30 мгц — 10 В/м;
- 30–300 МГц — 3 В/м;

- от 300 мГц 300 ГГц — 10 мкВт/см².

В случае превышения данных показателей, весьма вероятны негативные последствия для здоровья. Опасно электромагнитное излучение тем, что человек не может его ощутить, и поэтому эффект может накапливаться.

Для минимизации воздействия ЭМИ, необходимо:

Во-первых, определить степень опасности, от источников ЭМИ. Во-вторых, распределить источники излучения по разным местам, чтобы они не группировались в одном месте. В-третьих, использовать экранирование для приборов, в виде стальных корпусов. Данный способ позволяет снижать интенсивность ЭМИ, путем ослабления, поглощения и преломления энергии.

АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ

При сборке, настройке и проведении экспериментов над разрабатываемым устройством, возможно поражение электрическим током. Поражение электрическим током является опасным фактором, поскольку может привести к летальному исходу. Для снижения риска поражения током, необходимо: произвести изоляцию токоведущих частей; использовать безопасное сверхнизкое напряжение в электрических цепях (безопасное напряжение то, которое не превышает 42 В между отдельными проводниками или между проводником и землей); произвести защитное заземление металлических нетокведущих частей изделия; работать в защитных перчатках; ввести предупредительные надписи, знаки и другие средства сигнализации опасности.

В случае поражения электрическим током, пострадавшего необходимо: немедленно освободить от действия тока. При этом необходимо соблюдать меры личной предосторожности, используя резиновые перчатки, сапоги и коврики. Меры по оказанию первой помощи пострадавшему от тока зависят

от степени поражения. В случае если человек находится в сознании, необходимо уложить человека, тепло укрыть и дать покой.

В случае если человек потерял сознание, но пульс и дыхание сохранены, необходимо обеспечить приток свежего воздуха, выбрать оптимальное место для обеспечения первой помощи. Необходимо осмотреть полость рта, если стиснуты зубы, раскрыть рот вытянуть язык и повернуть голову на бок. Затем пострадавшему дают вдыхать кислород. Если пострадавший пришел в сознание, ему необходимо обеспечить полный покой. Но часто бывает, что последствия поражения током проявляется после некоторого времени: появляется прерывистое дыхание, проявляется бледность кожных покровов, а также сердечная недостаточность, поэтому необходимо вызвать скорую помощь.

В самом критичном случае, когда человек не подает признаки жизни необходимо:

Провести вышеперечисленные действия (освободить рот, уложить и т.д.).

Приступить к производству искусственного дыхания «изо рта в рот» и одновременно осуществлять непрямой массаж сердца.

Термическая опасность

При пайки компонентов можно получить серьезный ожог. Чтобы исключить такой случай, необходимо соблюдать технику безопасности, при работе с паяльником. Коротко сформулированы следующие правила:

- проверить исправность паяльника
- держать паяльник только за ручку, избегая прикосновения к жалу
- при пайке не наклоняться над паяльником ближе 20 см. во избежание попадания брызг олова и горячих паров газа
- не работать вблизи легковоспламеняющихся предметов
- в краткосрочных перерывах между работой ставить паяльник на подставку

- в перерывах между работами выключать паяльник
- при выключении не тянуть провод

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Разработанный генератор не является источником загрязнения окружающей среды, поскольку не происходит выбросов вредных веществ в воздух. Однако при проектировании данного генератора, производилась пайка. При пайке компонентов происходит выделение вредных веществ в воздух, поэтому существует негативное влияние на атмосферу. Для минимизации выбросов вредных газов используются оловосодержащие припои. Также проводилась очистка воздуха с помощью вытяжки с фильтрацией.

Согласно ГОСТ 17.1.3.13-86 разработанный генератор не наносит вред гидросфере. При разработке, исследовании, хранении, эксплуатации прибора не происходит выброса вредных веществ и материалов в воду.

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

При разработке и эксплуатации генератора возможно возникновение такой чрезвычайной ситуации, как пожара вследствие: короткого замыкания, износа компонентов, неправильного монтажа, невнимательности и халатности при работе. Данная чрезвычайная ситуация является наиболее опасной, поскольку может привести к огромному материальному ущербу, а также нанести серьезный вред человеку. В связи с этим были сформулированы следующие нормы пожарной безопасности:

- для предохранения сети от перегрузок запрещается включать дополнительные не предусмотренные потребители;

- работы проводить только при исправном состоянии оборудования, электропроводки;
- правильность монтажа проводить с принципиальной схемой
- монтаж макета проводить только при выключенном источнике питания
- иметь средства для тушения пожара (огнетушитель);
- иметь в наличии план эвакуации, который должен висеть на видном месте;

Пожарная безопасность должна предусматривать системы пожарной безопасности ГОСТ 12.1.004-91, которые должны:

- Исключать возникновение пожара
- Обеспечить пожарную безопасность людей
- Обеспечить пожарную безопасность материальных ценностей

Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно - технические мероприятия.

В случае внезапного возгорания ни в коем случае нельзя паниковать, необходимо сразу принимать оперативные действия: необходимо обесточить сеть, питающей прибор; изолировать источник возгорания; закрыть форточки (чтобы не возникал сквозняк, который может увеличить объем пламени); устранить источник возгорания при помощи огнетушителя, вызвать пожарную часть. В случае, если нет возможности устранить источник возгорания самостоятельно, необходимо, по возможности изолировать источник возгорания, вызвать пожарную часть, эвакуироваться.

Для предупреждения возникновения чрезвычайной ситуации необходимо проводить учебные тревоги, в рамках которых находить недостатки, и устранять при следующих проверок; проводить инструктаж по работе с электрооборудованием;

ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

На некоторых предприятиях работа связана с влиянием на человека вредных и опасных производственных факторов. О вредных и опасных условиях труда на предприятии, компенсациях и льготах должно сообщаться в трудовом договоре работодателем.

При заключении трудовых отношений с работником (заключении трудового договора), работодатель обязан знать требования и нормы Трудового кодекса (ТК). Работодатель должен ознакомить потенциальных работников с условиями труда, провести первичный инструктаж, провести экзамен по технике безопасности (при работе с потенциально опасным устройством). В случае, если в трудовом договоре прописана сверхурочная работа, ее продолжительность не должна превышать 4 часов в течение двух дней подряд, и, согласно, Ст.152 ТК РФ должна оплачиваться не менее в полуторном размере за первые два часа, а за последующие часы - не менее в двойном режиме. Стоит отметить, что сверхурочную работу предоставляют только при письменном согласии работника и работодателя.

В случае, когда работа связана с опасными факторами, которые могут нанести вред человеку, согласно Ст.221-225 ТК РФ, работодатель обязан предоставить спецодежду, средства индивидуальной защиты. Также работодатель обязан своевременно обеспечивать выдачу специальной одежды, специальных приборов, производить вовремя чистку одежды и ремонт оборудования. Согласно Ст.213 ТК РФ, работники, выполняющие работу во вредных или опасных условиях, должны проходить медосмотр для определения пригодности к поручаемой работе и выявления

профессиональных заболеваний. Предусмотренные медицинские проверки должны осуществляться за счет работодателя.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ КОМПОНОВКЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

При приеме на работу, работодатель обязан предоставить сотруднику рабочее место. Рабочим местом является определенный участок производственного цеха, мастерской, прикрепленный за рабочим, и предназначенный для выполнения работы в соответствии с квалификацией работника. Рабочее место сотрудника, начиная от состояния помещения и заканчивая техникой, должны соответствовать ряду санитарно-технических и гигиенических требований и правил Ст.32 ТК РФ.

Организация рабочего места является важным этапом организации труда, правильное размещение оборудования, инструментов и материалов на рабочем месте создают благоприятные условия работы. Правильная организация рабочего места обеспечивает: безопасное условие работы, экономию сил, повышению внимательности.

При создании рабочего места необходимо руководствоваться ГОСТ 12.2.033-78. Данный ГОСТ устанавливает общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении стоя при проектировании нового и модернизации действующего оборудования и производственных процессов.

При работе с прибором, организовывать рабочее место необходимо так, чтобы конструкция оборудования обеспечивала прямое и свободное положение корпуса тела работающего или его наклон вперед, но не более чем на 15 градусов. При проектировании рабочего места необходимо учитывать антропометрические показатели рабочих, для этого нужно выбирать конструкцию места работы с возможностью регулирования:

- высоты рабочей поверхности;

- наличие и высоту подставки для ног.

Большое значение имеет выбор рабочей позы, вызывающей минимальное утомление работника: "сидя", "стоя" или "сидя - стоя". Выбор осуществляется с учетом физических усилий, необходимых для выполнения работы, ее темпа и характера.

Чаще всего работа с прибором связана с длительным положением работника «стоя», на рисунке 23, показаны размеры рабочей зоны.

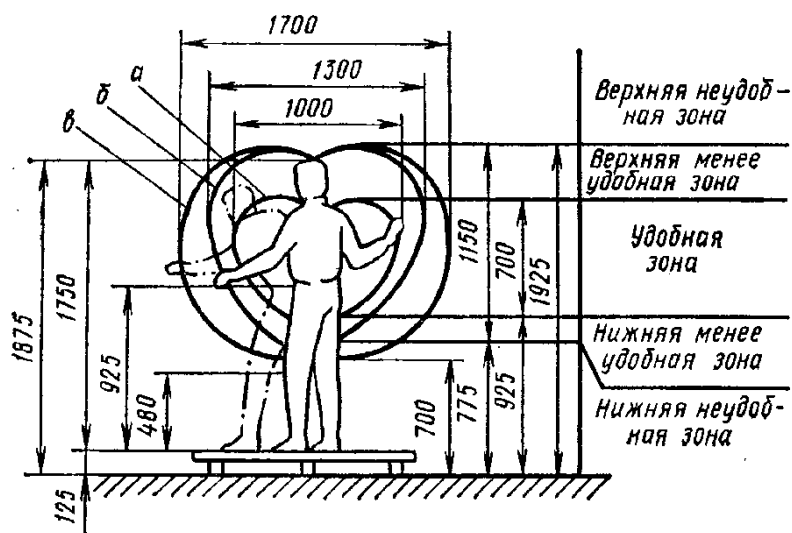


Рисунок 23 – Размеры рабочей зоны, при позе стоя.

Высота рабочей поверхности зависит от категории работ и пола работника. Необходимая высота представлена в таблице.

Таблица 17– Высота рабочей поверхности при организации рабочего места

Категории работ	Высота рабочей поверхности, мм, при организации рабочего места		
	женщин	мужчин	женщин и мужчин
Легкая	990	1060	1025
Средняя	930	980	955
Тяжелая	870	920	895

Для обеспечения удобного подхода к оборудованию должно быть

предусмотрено пространство для стоп размерами 150 мм – глубина, 150 мм-высота, 530 мм – ширина.

Правильное оформление рабочего места и создание комфортных условий труда на предприятии играет важную роль в процессе производства, так как это облегчает рабочий процесс, тем самым улучшая производительность труда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы был спроектирован и создан полупроводниковый генератор высоковольтных импульсов. Для обеспечения надежности и стабильной работы генератора в течение длительного времени, для коммутации импульсов высокого напряжения использована магнито-транзисторная схема. Первоначальный импульс формируется биполярным транзистором с изолированным затвором, после чего осуществляется сжатие длительности импульса звеньями магнитной компрессии на основе насыщающихся дросселей.

В результате испытаний генератора, удалось достичь целевых параметров, указанных в техническом задании. Проведенные испытания показали высокую эффективность передачи энергии из генератора в реактор импульсного коронного разряда, который предполагается использовать для очистки воды. Эффективность передачи энергии составила 80-90% и зависела от длины высоковольтного электрода и концентрации озона в газовой фазе реактора. Было установлено, что при запасенной энергии генератора 0.2 Дж наибольшая эффективность передачи энергии и максимальная концентрация озона в реакторе достигнута при длине высоковольтного электрода 9 м.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1) Аверин В.А., Гольдин Л.Л., Лейман В.Г., Теврюков А.А. Газоразрядная плазма: Учебное пособие. — М.: МФТИ, 1987.
- 2) Беспалов Н., Мускатыньев А. «АДИП»: диагностика силовых полупроводниковых приборов // Силовая электроника. 2004. № 1. С. 38-39.
- 3) Божко И.В., Фальковский Н.И. Коронный разряд на поверхность электропроводящей жидкости и его использование для обработки воды // Техн. електродинаміка. – 2007. – №2. – С. 9 – 14.
- 4) Важдаев В.А., Катаев И.Г. Магнитополупроводниковый формирователь импульсов с управляемым узлом сжатия // Приборы и техника эксперимента. – 1992. – № 6. – С. 128–134.
- 5) Верещагин И.П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии. М.: Энергоатомиздат, 1985. 160 с.
- 6) Воеводин С.В., Горохов В.В., Карелин В.И. Малогабаритный высоковольтный наносекундный генератор Аркадьева–Маркса на воздушных разрядниках // Приборы и техника эксперимента. – 2000. – № 3. – С. 67–71.
- 7) Волков И.В., Зозулев В.И., Шолох Д.А. Магнитно-полупроводниковые генераторы с разнофункциональными узлами магнитной компрессии импульсов.
- 8) Гарбер И.С. Магнитные импульсные модуляторы. – М.: Советское радио, 1964. – 159 с.
- 9) Грехов И.В. Силовая полупроводниковая электроника и импульсная техника // Вестник российской академии наук. 2008. Т.78. №2. С. 106-131.
- 10) Зозулев В.И. Основные подходы к анализу и оптимальному построению компрессионных магнитно-полупроводниковых генераторов // Техн. електродинаміка. – 2006. – Ч. 3. – С. 77–81.
- 11) Зозулев В.И., Калюжный А.А. Применение узлов магнитного сжатия в генераторах возбуждения лазеров на парах меди // Техн. електродинаміка. – 2002. – Ч. 6. – С. 67–70.

- 12) Кислицын А.Л. Трансформаторы: Учебное пособие по курсу «Электромеханика».- Ульяновск: 2001. - 76 с
- 13) Королев Ю.Д., Месяц Г.А. Физика импульсного пробоя газов. М.: Наука. 1991. 224 с.
- 14) Крастелев Е.Г., Лотоцкий А.П., Масленников С.П., Школьников Э.Я. Мощные электроимпульсные системы. Часть II. Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2008. 144 с.
- 15) Лотоцкий А.П. Об эффективности передачи магнитной энергии из индуктивных накопителей // Электричество. 1985. № 6. С. 64.
- 16) Мазулин А.В., Панков И.И., Рябцев Г.В. и др. Питание индуктивной нагрузки от индуктивного накопителя по схеме удвоения тока. Препринт ИАЭ-4543/8, М.: ЦНИИАтоминформ, 1987.
- 17) Меерович Л.А., Ватин И.М., Зайцев Э.Ф., Кандыкин В.М. Магнитные генераторы импульсов. – М.: Советское радио, 1968. – 475 с
- 18) Месяц Г.А. Генерирование мощных наносекундных импульсов. – М.: Советское радио, 1974. – 213 с.
- 19) Мутницкий Н.Г., Татур В.В. Генератор с инверсией напряжения и удвоением амплитуды выходных импульсов // Приборы и техника эксперимента. – 2011. – № 6. – С. 34–36.
- 20) Поляков Н.П. Наносекундные озонаторы // Приборы и техника эксперимента, 2004, № 5, с. 129-132.
- 21) Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1992. 536 с.
- 22) Савельев И. В. Курс общей физики. Т.2. .Электричество и магнетизм. М. Высшая школа, 1999.
- 23) Савичев В.В. Основные элементы энергосиловых комплексов. Изд-во МГТУ, 1991.
- 24) Сивухин Д.В. Общий курс физики Т. 3: Электричество: учебное пособие: М. Физматлит: Изд-во МФТИ, 2003. — 654 с

25) Татур В.В. Стабилизатор напряжения для питания лазеров на парах металлов // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 4. – С. 114–118.

26) Техника больших импульсных токов и магнитных полей/ Под ред. В.С.Комелькова. – М.: Атомиздат, 1970. – 472 с.

27) Физика и техника мощных импульсных систем. Сборник статей под редакцией академика Е.П.Велихова. ИАЭ им.И.В.Курчатова. Энергоатомиздат, 1987.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Раздел
«Methodology of research»

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM51	Брацыхин Антон Федорович		

Консультант кафедры ПМЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Корнев Я.И.	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист кафедры ФМПК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мыльникова Т.С.			

TYPES OF ELECTRIC DISCHARGE IN GASES

FORMATION OF ELECTRIC DISCHARGE

Gas discharge is processes that occur when electric current flow through a gas gap. An obligatory condition for the discharge in gases is the presence of free charges-ions and electrons.

The gas consisting exclusively of neutral molecules does not conduct electric current completely. Under natural conditions, natural ionizers such as ultraviolet radiation from the sun, cosmic rays, radioactive radiation from the Earth, etc., always act on gap. Therefore, there is always a certain number of free charges in the gas-electrons and ions, which provide some electrical conductivity in the gas.

The power natural ionizers is very small: one pair of charges per cubic centimeter is formed in the air is within a second. This corresponds to the increment in the volume charge density $\rho = 1.6^{-19} \text{ C} / (\text{cm}^3 \cdot \text{seconds})$. The number of charges in one cubic centimeter of air, however, remains constant at about 500 – 1000 ion pairs.

Artificial ionizers several times increase the current density in the gas. For example, when lighting a gas gap mercury quartz lamp, the gas current density increases up to $10^{-12} \text{ A} / \text{cm}^2$, in the presence of the spark discharge volume created near ionizable currents of the order of $10^{-10} \text{ A} / \text{cm}^2$, and so on.

Figure 1 shows the dependence of the current flowing through the gas gap with a homogeneous electric field on the magnitude of the applied voltage.

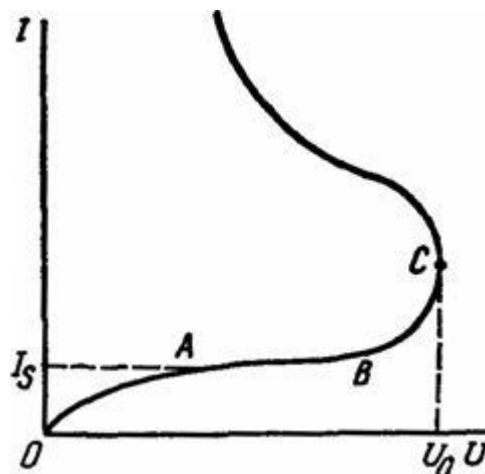


Fig. 1. Current-voltage characteristic of a gas discharge

In the section OA, with increasing voltage in the gas gap, the electric current increases. The growth of electric current is ensured by the fact that more and more charges fall on the electrodes under the influence of an electric field.

When all the charges formed due to external ionizers hit the electrons with increasing voltage, the current practically does not change (section AB). The value of the saturation current depends on the intensity of the ionizer acting on the gap.

In the section BC with increasing voltage, the current rises sharply. When the voltage at the gap is U_0 , there is a significant increase in current. An intensive development of the processes of ionization of the gas under the action of an electric field starts. The gas gap then loses its dielectric properties and becomes a conductor. This phenomenon (the occurrence of a high conductivity channel) is referred to as electrical breakdown or electric discharge.

The electric discharge in section OABC is called non-self-sustaining, since in this section the current in the gas gap is determined by the intensity of the acting ionizer. After point C, an independent discharge begins this section the discharge depends only on the parameters of the electric circuit. The external ionizers are not required to maintain an independent discharge.

Voltage U_0 , at which discharge begins independent, is called initial voltage.

GLOW DISCHARGE

A glow discharge occurs at low pressures, when the number of gas molecules per unit volume is not large and no large conductivity can appear in the gap. The current density at this discharge is about $1 - 5 \text{ mA} / \text{cm}^2$, the discharge fills the entire space between the electrodes.

The glow discharge is a weak gas glow, which can be seen only in a darkened room or in the dark. This discharge is used in luminous tubes of advertising filled with neon, argon, in fluorescent lamps. A very important

application in modern science is a glow discharge in quantum light sources – gas lasers.



Fig. 2. Glow discharge in gas

SPARK DISCHARGE

The spark discharge appears at atmospheric pressure. The voltage should be not high power (several kilovolts) and short in time. A good example of a spark discharge is a lightning bolt.

In the case of a spark discharge, a channel of highly ionized gas arises. The current flows through this channel. With this discharge, the gas in the channel becomes very hot, its pressure begins to increase sharply, and, expanding, the gas begins to create sound waves similar to a crack.

Spark discharge is used for spark treatment of metals, ignition of a combustible mixture in an internal combustion engine, in household "lighters". With the help of a spark discharge, explosions and combustion processes are initiated, high voltages are measured. It used in spectroscopic analysis, in switches of electrical circuits.



Fig. 3. Spark discharge

ARC BREAKDOWN

In the case of considerable power of the power source, the spark discharge passes into an arc discharge, in which the current can flow through the gap attaining hundreds and thousands of amperes. This current warms up the discharge channel, increases its conductivity, and as a result, a further increase in the current occurs. Since this process requires some time for its completion, during a short-time application of the voltage, the spark discharge in the arc does not pass. An arc discharge occurs if the metal or carbon electrodes connected to the poles of a constant-voltage source are first connected and then are spaced at a short distance. At sufficiently high field strength, a glowing arc of the hot and therefore highly ionized gas appears at the electrodes. The arc discharge is accompanied by strong heating of the gas (up to several thousand degrees), so the ends of the electrodes and the arc itself emit dazzling light. The efficiency electricity converting into light is much higher than that of the best incandescent lamps. Therefore, when very powerful and bright light sources are required, for example in searchlights, an arc discharge is used very often.

The arc discharge is used for welding metal parts, for melting steels and alloys. In this case, the face of the welder or the working steelmaking industry should be covered with a thick dark glass so that the ultraviolet radiation emitted

by the arc does not damage the eyes and skin. In the world industry, about 90% of tool steel is treated in electric arc furnaces.

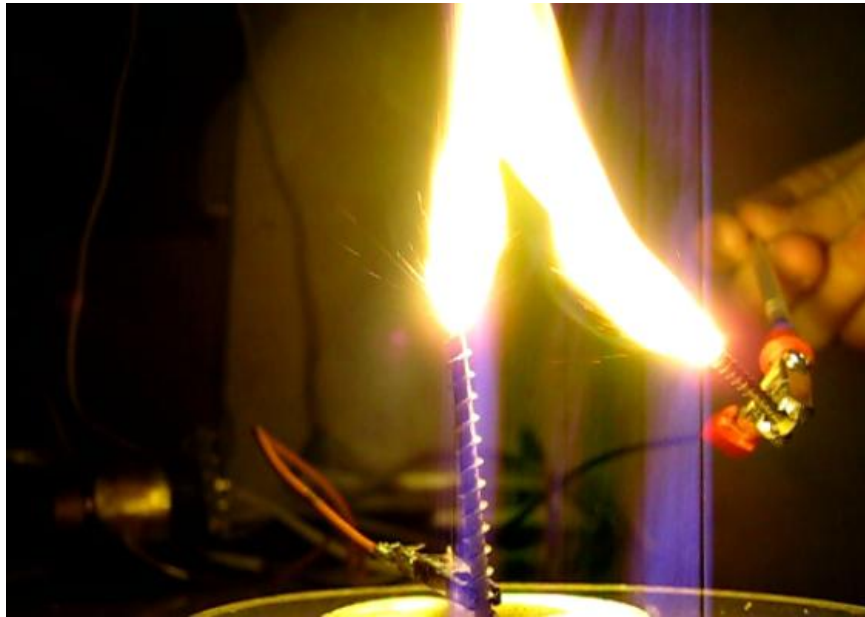


Fig. 4. Arc discharge

CORONA DISCHARGE

The corona discharge appears in sharply nonuniform fields. This discharge develops only in that part of the gas gap where the field strength is highest (near sharp edges of the electrodes). A channel of high conductivity does not arise in this case. With a further increase in the applied voltage, the corona discharge turns into a spark or arc discharge.

The corona discharge is accompanied by a weak glow and insignificant noise. Especially undesirable is the occurrence of this discharge around the wires of high-voltage power lines, as it leads to electrical energy losses. To prevent this splitting of the wires of the transmission lines is used (for 2, 3, 5, 8 parallel wires, spaced from each other by 40 – 50 cm and held by insulating spacers).

Corona discharge is used in electrostatic precipitators to purify water and gases. The tube filled with smoke suddenly becomes completely transparent, if you bring into it sharp metal electrodes connected to a high-voltage power source. If you blow through a pipe a jet of smoke or dust, the outgoing air jet becomes

completely clean, and all the fine particles contained in the gas will be deposited on the electrodes.



Corona discharge in gas

The patterns of the appearance of an electric discharge in different gases are the same, the difference lies in the values of the coefficients characterizing the process.

CAPACITIVE STORAGE

Capacitive energy storage devices are widely used as high-power pulse sources in various electrical installations. They have a small internal resistance $\sim 10^{-3}$ ohms, produce large pulsed currents (over 10^7 A) and high-voltage pulse (more than 10^7 V), characterized by relative simplicity, reliability, serviceability. Inferior to other types of storage devices for specific energy intensity, they have an indisputable advantage in those cases when it is necessary to provide a fast output of energy to the load used in order to obtain large impulse currents and strong magnetic fields for physical studies; Magnetic pulse processing of metals; Acceleration and throwing of solids; Excitation of shock waves in condensed media; Generation of intense flashes of light during discharges in gases.

The construction of all generators of high-voltage high-voltage pulses is based on the general principle of relatively slow accumulation of energy (in one form or another) in the primary storage device and its rapid transfer to the

load. Such a temporary transformation of the energy flow, or in other words, power amplification with the transformation of the spectrum of the electromagnetic signal into the region of higher frequencies, is fundamentally impossible without nonlinear elements. The role of such elements in high-power pulse generators is performed by switches - spark gaps, semiconductor switches, saturable inductors, etc., whose resistance (conductivity) varies from "off" state to "on" state under the influence of certain factors. With the help of switches, the energy stored in the drive is sent to the load or, if necessary, further amplification, into the next, intermediate energy store or drive-pulse driver with the specified parameters. With this in mind, the generalized block diagram of the generator can be represented in the form shown in Fig. 6.

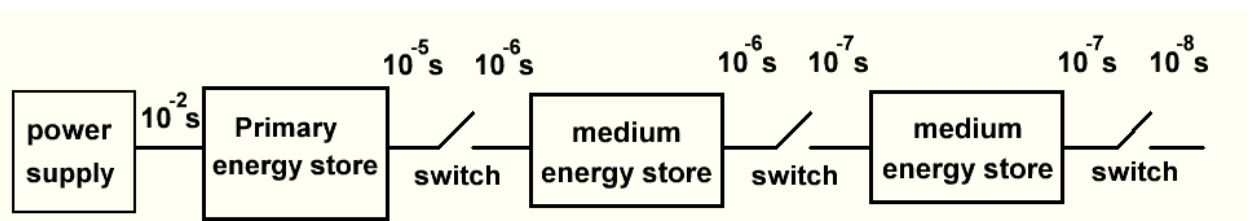


Fig. 6. Block diagram of a generator of high-voltage pulses of high power

The diagram shows the time parameters corresponding to typical values for generators of nanosecond pulses of the megavoltage range of voltages of high-current accelerators and installations for thermonuclear research. The number of intermediate compression links may be larger than that shown in the block diagram of Fig. 6, in particular, if it is necessary to compress pulses to subnanosecond durations. In installations of lower power or oriented to receive pulses of millisecond or microsecond duration, intermediate drives and associated switches may be absent. However, at least one link from the one shown in Fig. 6 sequence of power amplification stages will be present in any electromagnetic pulse generator.

The energy in the capacitive storage is stored in an electric field. The density of the stored energy is determined by the permissible (working) value of the electric field strength E_p and the permittivity of the insulation between the storage electrodes:

$$w_E = \frac{\epsilon\epsilon_0 E_p^2}{2}$$

Where ϵ is the relative permittivity of insulation, ϵ_0 is the dielectric constant.

A very important characteristic of the drive is the ratio of the maximum time of charge of the drive to the time for which it can be discharged, i.e. Time of transfer of stored energy to the load. This ratio characterizes the maximum possible power amplification or, in other words, determines the degree of energy compression in time. The charging time of the capacitive storage device is limited by its self-discharge due to leakage currents, the magnitude of which is determined by the conductivity (resistivity) of the insulation. Obviously, for the efficient operation of the drive, the charge time must be at least several times less than the self-discharge time. A comparative analysis of the characteristics of different energy storage devices shows that it is the capacitive storage devices that provide the greatest degree of energy compression, which reaches eight orders of magnitude.

PULSED VOLTAGE GENERATORS - FORMERS OF POWER HIGH VOLTAGE PULSES OF MICROSECOND DURATION

The generation of high-voltage high-voltage pulses of microsecond duration does not encounter any fundamental difficulties. The schemes of generators with capacitive energy storage devices developed to date are based, basically, on various modifications of Arkadev-Marx generators. They are widely used in experimental technology, in particular, for feeding diode accelerators of high-current electron beams of microsecond duration.

The main requirements for such generators are the following:

- the voltage pulse must have a steep front to ensure uniformity of the cathode explosion emission and a flat top to obtain a monoenergetic beam;

- the bulk of the energy stored in the PVG must be transmitted to the beam in a flat portion of the pulse;
- influence of a change in time of the diode impedance at the pulse shape should be minimized.

THE SIMPLEST VERSION ON THE BASIS OF PVGS

To obtain microsecond pulses, a conventional PVG can be used with virtually any circuit design that ensures its stable operation in the required voltage range.

We note that this variant of the solution of the problem was widely used at the initial stages of the development of the microsecond range of high-current electron beams. When operating at high current PVG magnetically insulated diode or a diode with a large anode-cathode gap for receiving the ribbon beam of large cross section, for which the condition $Z_d \gg Z_{PVG}$, where Z_d - diode impedance, Z_{PVG} - characteristic impedance (impedance) PVG, $Z_{PVG} = (L_{PVG} / C_{PVG})^{1/2}$, L_{PVG} - PVG total inductance discharge circuit, and $C = C_{PVG} \cdot \tau$ - PVG capacitance stroke, discharge is aperiodic in nature, and a voltage pulse across the diode has steep edge and a gentle exponential decline. To improve the pulse shape, bringing it to a rectangular, it is possible using the chopping gap cf. P , as shown in Fig. 7 (dotted line). The time of switching on of the cut-off arrester is regulated by the pulse duration and, accordingly, the voltage drop at the apex.

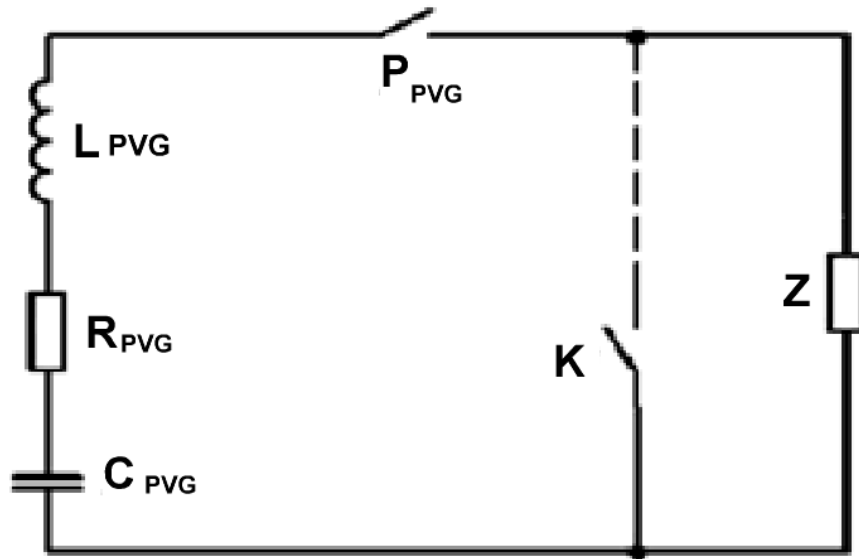


Fig. 7. Diagram of the formation of a quasi-rectangular pulse with the aid of "Normal" PVG and chopping gap P cf.

However, such a decision sharply reduces the efficiency of the use of energy stored in the PVG. For example, when forming this way a pulse duration $t \sim 5-10$ microseconds and a rise time of the voltage (front) $t_p \leq 1,5$ microseconds and allowable decay vertices $\Delta U / U \leq 15\%$, the load is transmitted less than 30% is stored in PVG Energy, i.e. generator efficiency $\eta = W_n / W_{PVG} < 0.3$. Nevertheless, this method is used in practice.

PVG with corrective *LC*-chains

In linear modulators are widely used scheme of forming a rectangular pulse with a capacitor and corrective *LC* -link. The theory and practice of using such systems for a voltage ≤ 50 kV and $P \leq 10^7$ W is well developed and are summarized in a number of books and monographs dedicated system RF generators pulsed supply. Similar circuits in a number of laboratories were used in conjunction with the PVG to generate pulses of an accelerating voltage of megavolt level for high-current diodes of a microsecond range of durations.

In Fig. 8 shows the circuit of the generator with a two-link correction circuit at the output of the PVG.

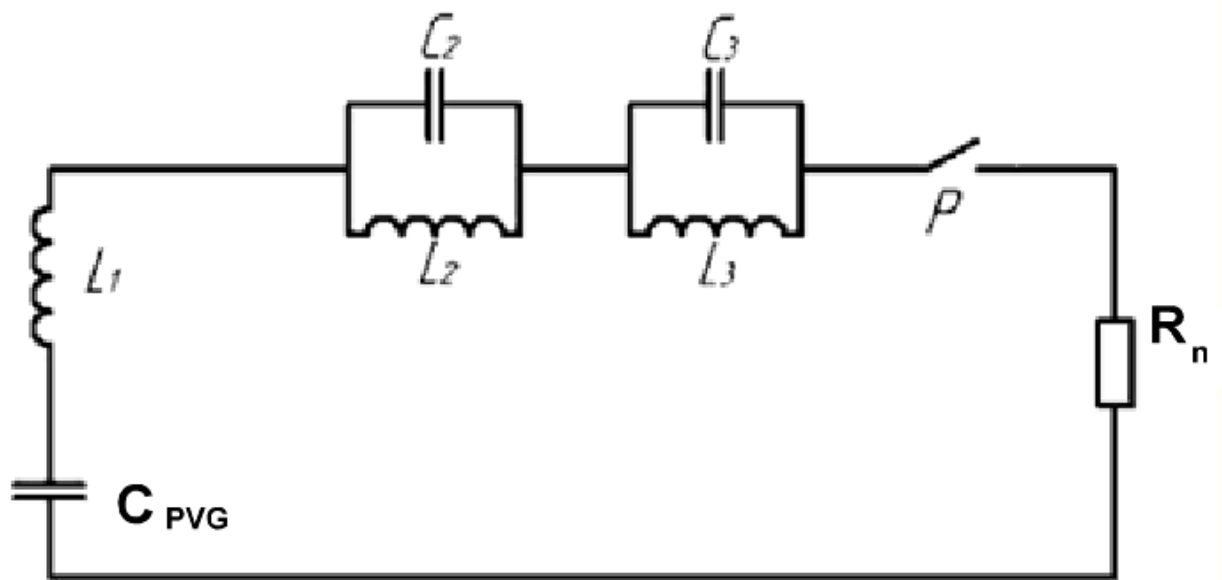


Fig. 8. Scheme of formation of quasi-rectangular pulses with the help of the correction links at the output of the PVG

The optimal parameters of the circuit elements (see Figure 8) are determined by the following relationships:

$$C_1 = 0,4 t / R_n; L_1 = 0,135 R_n t;$$

$$C_2 / C_1 = 0,54; L_2 = 0,57 L_1;$$

$$C_3 = 0,89 C_1; L_3 = 0,09 L_1.$$

Such a system makes it possible to obtain pulses with the relation $t_{\text{and}} / t \sim 5-8$ unevenness at the vertices $\Delta U / U \sim 0,1$. However, it has two serious drawbacks:

- corrective elements are structurally separate, residual complex and large elements;
- The voltage at the output of the PVG is approximately 30% higher than the voltage on the load.

In addition, the correcting elements have an energy intensity of $\sim 20\%$ of the energy intensity of the PVG, but are not used as energy storage devices.

In Fig.9 is a diagram of another embodiment of the generator, with a corrective LC-chain at full voltage, connected in parallel PVG, and additional inductance in the load circuit.

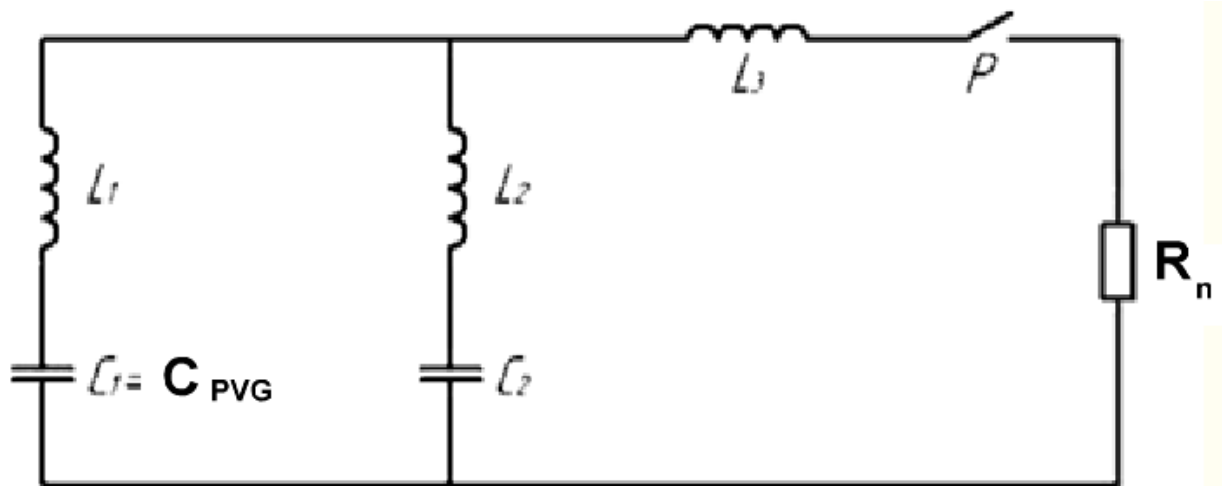


Fig. 9. The oscillator circuit with the correcting circuits

The optimal parameters for the circuit in Fig. 9 can be determined from the following relationships:

$$C_1 0.4 = t / R_n ; L_1 0.253 = R_n t ;$$

$$C_2 0.042 = t / R_n ; L_2 0.27 = R_n t .$$

This scheme has disadvantages, characteristic for the circuit of Fig. 8. As the inductances L_1 (in the circuits with the main energy storage - capacitors C_1) can use their own inductances and capacitors PVG interstage connections. A significant drawback is the difficulty of matching circuit capacitances C_1 and C_2 from the available range of high-energy-capacitors, as well as in an alternating nature of the discharge current of the capacitor C_2 and a relatively small against $t / t_f \sim 5$ when $\Delta U / U \leq 10\%$.