

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

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
 Кафедра промышленной и медицинской электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка и исследование высокочастотного источника накачки CuVr-лазера
УДК 621.373.826

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM41	Мусоров Илья Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПМЭ ИНК	Торгаев Станислав Николаевич	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф. менеджмента	Чистякова Наталья Олеговна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

По техническому разделу

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ВЭСЭ ИФВТ	Тригуб Максим Викторович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Губарев Федор Александрович	к.ф.-м.н.		

Томск – 2016 г.

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

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
 Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой Губарев Ф.А.

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1АМ41	Мусорову Илье Сергеевичу

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 2819/с от 06.05.2015 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является высокочастотный источник накачки для лазеров на парах бромида меди.</p> <p>В качестве нагрузки используется ГРТ диаметром 0.7 см и длиной активной зоны 28 см. Излучение на двух длинах волн 510.6 нм и 578.2 нм.</p> <p>Частота следования импульсов источника накачки до 1 МГц.</p> <p>Амплитуда импульсов – до 4 кВ.</p> <p>Длительность импульсов накачки – до 150 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</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Литературный обзор (виды источников накачки). • Разработка высоковольтного источника питания (структурная и принципиальная схемы, изготовление макета, исследование характеристик). • Разработка генератора запускающих наносекундных импульсов (структурная и

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<p>принципиальная схемы, изготовление макета, исследование характеристик).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Разработка высокоомощного генератора наносекундных импульсов (структурная и принципиальная схемы, изготовление макета, исследование характеристик). • Проведение экспериментов (анализ характеристик источника накачки при работе на активную нагрузку и ГРТ) • Заключение по работе
--	---

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	нет
---	-----

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и реурсосбережение	Чистякова Наталья Олеговна
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Технический	Тригуб Максим Викторович
Иностранный язык	Мыльникова Татьяна Степановна

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

Разработка структурной и принципиальной схем высокочастотного источника накачки

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ПМЭ	Торгаев Станислав Николаевич	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ41	Мусоров Илья Сергеевич		

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

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
 Уровень образования магистратура
 Кафедра промышленной и медицинской электроники
 Период выполнения _____ осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.09.15	Обзор литературы по теме исследования	5
03.10.15	Разработка высоковольтного источника питания.	5
26.10.14	Разработка генератора запускающих наносекундных импульсов	10
20.11.15	Разработка высокоомощного генератора наносекундных импульсов	10
25.11.15	Проведение экспериментов на активную нагрузку	15
11.12.15	Доработка источника накачки	10
22.01.15	Проведение экспериментов на ГРТ	10
12.03.16	Доработка источника накачки	15
01.05.16	Анализ экспериментальных данных	15
05.06.16	Оформление расчетно-пояснительной записки	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Торгаев Станислав Николаевич	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 109 с., 46 рис., 26 табл., 19 источников, 4 прил.
Ключевые слова: источник накачки, лазер на парах металла, модуляторная лампа, высокая частота, пониженный энергозатрат.

В процессе исследования проводились: аналитический обзор литературных источников, исследование видов источников накачки с целью выявления их применимости в разрабатываемом устройстве, разработка программного кода для системы управления, разработка макета источника накачки для CuBr лазеров, тестирование и отладка изготовленного макета устройства, анализ полученных данных, анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения, социальная ответственность.

В результате исследования был разработан источник накачки, соответствующий техническому заданию, при работе на активную нагрузку. Так же при работе на ГРТ удалось получить генерацию на частоте следования импульсов накачки до 420 кГц.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: CuBr-лазер с внешним нагревом, диаметр активной зоны 0,7 см, длина 28 см, источник накачки с частотой следования импульсов 30 кГц – 1 МГц.

Степень внедрения: лабораторный макет

Область применения: научно-исследовательские организации и предприятия, области интересов которых, затрагивают исследование работы лазеров на парах металлов на нетипичных частотах.

Экономическая эффективность/значимость работы:

В будущем планируется исследование работы источника накачки на ГРТ с введением различных добавок.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов»
2. ГОСТ 12.1.006-84* «ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»
3. ГОСТ 12.1.003-99 «Шум. Общие требования безопасности»
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое.
5. ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление»
6. ГОСТ 12.2.032-78. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»
7. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (эми рч)»
8. СанПиН 5804-91 «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров»

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

«Обозначения и сокращения»:

СУ – система управления; МК – микроконтроллер; ГРТ – газоразрядная трубка;

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	11
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	14
1.1 Лазеры на парах металлов. Лазер на парах меди и бромида меди.	14
1.2 Высокочастотные лазеры на парах меди и бромида меди.	17
1.3 Традиционные источники накачки лазеров на парах бромида меди.	25
Глава 2. Разработка структурной и принципиальной схем высокочастотного источника накачки.	37
2.1 Разработка структурной схемы ВЧ источника.	37
2.2 Разработка принципиальной схемы силовой части ВЧ источника.	39
2.3 Разработка принципиальной схемы системы управления ВЧ источника	43
Глава 3. Экспериментальные исследования источника накачки	49
3.1 Система управления, основанная на логических элементах.	49
3.2 Система управления, основанная на микроконтроллере	50
3.3 Работа источника накачки на активную нагрузку	53
3.4 Работа источника накачки на ГРТ	54
Глава 4. Социальная ответственность	56
4.1 Производственная безопасность	56
4.1.1 Электромагнитное излучение (ЭМИ).	57
4.1.2 Освещенность рабочей зоны	59
4.1.3 Лазерное излучение	59
4.1.4 Производственный шум	60
4.1.5 Термические опасности	61
4.1.6 Электрический ток	62
4.1.7 Умственное перенапряжение. Статические перегрузки.	62
4.2 Экологическая безопасность	63
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	63
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	65
4.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.	65
4.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	65
Глава 5. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	68
5.1 Предпроектный анализ	68
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	68
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	69
5.1.3 SWOT-анализ	70
5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.	74
5.2 Инициация проекта	75
5.2.1 Цели и результаты проекта	75
5.2.2 Организационная структура проекта	76
5.2.3 Ограничения и допущения проекта	77
5.3 Планирование управления научно-техническим проектом	77
5.3.1 План проекта	77
5.3.2 Бюджет научно-технического исследования	81
5.3.2.1 Сырье, материалы, покупные изделия	81
5.3.2.2 Специальное оборудование для научных работ	81
5.3.2.3 Специальное оборудование для научных работ	82

5.3.2.4	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	83
5.3.2.5	Отчисления на социальные нужды	84
5.3.2.6	Научные и производственные командировки	84
5.3.2.7	Накладные расходы	84
5.3.3	Реестр рисков проекта	85
5.4	Оценка сравнительной эффективности исследования	86
	Заключение	88
	Список публикаций	89
	Список использованных источников	90
	Приложение П	92
	Приложение А	103
	Приложение Б	104
	Приложение В	105

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Одним из наиболее перспективных применений лазеров такого типа является применение их в качестве усилителей яркости в активных оптических системах (лазерный проекционный микроскоп и лазерный монитор). Активные оптические системы позволяют производить визуализацию процессов и объектов, скрытых от наблюдателя мощной фоновой засветкой. Временное разрешение активных оптических систем ограничено частотами работы видеорегистратора и усилителя яркости. На данный момент существуют видеорегистраторы, имеющие скорость съемки 10^6 и более кадров/сек. Следовательно, для визуализации быстропротекающих процессов необходимо создание усилителей яркости, работающих при высоких частотах следования импульсов накачки (до 1 МГц). Для получения высоких частот следования импульсов генерации CuVr-лазера необходимо реализовывать режим пониженного энерговклада в разряд. Работа в данном режиме позволяет исключить рост предимпульсных концентраций, как электронов, так и метастабильных атомов, с увеличением частоты следования импульсов накачки.

Обеспечение режима пониженного энерговклада возможно двумя способами: уменьшением амплитуды или уменьшением длительности импульсов накачки. Уменьшение амплитуды приводит к снижению эффективности возбуждения активной среды. Таким образом, наиболее эффективным способом реализации пониженного энерговклада в разряд является накачка CuVr-лазера короткими импульсами (до 100 нс).

Обеспечение такой накачки возможно при использовании модуляторных ламп в качестве силовых коммутационных элементов. Исходя из этого задача разработки высокочастотного генератора импульсов с наносекундными длительностями в качестве задающего является достаточно актуальной.

Цель работы

Целью настоящей работы является создание макета источника накачки для CuBr лазера с частотой следования импульсов накачки до 1 МГц.

Объект исследования и предмет

Объектом исследования является разработанный источник накачки, работающий на ГРТ малого объема.

Защищаемые положения

1. Уменьшение длительности импульсов накачки приводит к снижению вводимой в разряд энергии.
2. Получение высоких частот следования импульсов накачки возможно при использовании ГРТ малых размеров и работе источника в режиме пониженного энерговклада в разряд.

Научная новизна

1. Впервые разработан источник накачки CuBr-лазера, работающий на частоте до 1 МГц с возможностью плавной регулировки частоты и длительности импульсов.

Апробация результатов работы

Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих конференциях:

1. Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность».
2. Лазеры на парах металлов (ЛПМ - 2014): сборник трудов симпозиума, Верхнее Лоо, 22-26 Сентября 2014. - Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2014
3. Atomic and Molecular Pulsed Lasers: Abstracts of 12th International Conference , Tomsk, September 14-18, 2015. - Tomsk: Publishing House of IOA SB RAS, 2015
4. 15th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM-2014): proceedings.

Структура и краткое содержание работ

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка

литературы, состоящего из 19 ссылок.

Во введении обсуждается актуальность работы, сформулирована цель, задачи исследования, представлены защищаемые положения. Отмечаются научная новизна и практическая значимость, приводится краткое содержание работ.

В первой главе проведен литературный обзор по теме исследования. Кратко рассматриваются лазеры на парах меди и бромида меди. Проведен обзор традиционных источников накачки для данных лазеров. Также были рассмотрены высокочастотные лазеры на парах бромида меди.

Во второй главе было описано разработка структурной и принципиальной схем силовой части источника накачки, а так же описаны две разработанные системы управления.

В третьей главе были приведены основные характеристики разработанных систем управления. Так же в данной главе представлены осциллограммы напряжений и токов при работе источника накачки на активную нагрузку и ГРТ

В четвертой главе проводится анализ значимости работы, оценка коммерческого и инновационного потенциала разработки, разрабатывается план проекта и расчет бюджета научного исследования, оценивается сравнительная эффективность исследований.

В пятой главе проводится анализ решений по теме диссертации на предмет возникновения вредных и опасных проявлений факторов производственной среды, предложены средства защиты. При анализе было обнаружено, что прибор не оказывает негативное влияние на окружающую среду. Приводятся меры по предупреждению наиболее типичной чрезвычайной ситуации.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Глава 1. Обзор литературы.

1.1. Лазеры на парах металлов. Лазер на парах меди и бромида меди.

Лазеры на парах металлов используют в качестве активной среды пары металлов, возбуждённых и нагреваемых электрическим разрядом. Лазеры на парах меди и бромида меди относятся к классу газоразрядных лазеров на самоограниченных переходах. Генерация данных лазеров ограничена по времени (это обусловлено свойствами лазерных переходов), поэтому данные лазеры могут работать только в импульсном режиме. Инверсную населенность в данной среде можно обеспечить с помощью сильноточного импульсного разряда, но только на достаточно короткое время.

Для лазеров на парах металлов характерна малая длительность импульса генерации (от 10нс до 50нс), высокая частота следования импульсов (сотни кГц), большая средняя и импульсная мощности, а также высокий коэффициент полезного действия (КПД) $\geq 1\%$, что не характерно для газовых лазеров. У лазеров на парах металлов активная среда является газовой, в связи с этим, ширина линии излучения у данных лазеров – узкая, с высокой стабильностью ее положения на шкале частот. Также лазеры на парах металлов обладают хорошим качеством пучка, при этом коэффициент усиления достигает 10-100Дб/м [1-3].

В связи с этим лазеры данного типа нашли широкое применение во многих областях:

- разделение изотопов,
- накачка перестраиваемых лазеров,
- зондирование атмосферы,
- обработка материалов,
- фотолитография,
- активные оптические системы с усилителями яркости.

Из всех существующих лазеров на переходах атомов металлов наибольшая эффективность принадлежит лазерам на парах меди, ввиду того, что атом меди обладает наиболее близкой к идеальной, конфигурацией

энергетических уровней, необходимой для создания инверсной населённости. Упрощенная схема лазерных уровней атома меди представлена на рис.1.1. Инверсия на переходах ${}^2P_{3/2} - {}^2D_{5/2}$ ($\lambda_1 = 510.6\text{нм}$) и ${}^2P_{1/2} - {}^2D_{3/2}$ ($\lambda_2 = 578.2\text{нм}$) реализуется в условиях ионизационной неравновесности плазмы. В классическом представлении [1] в этот период константы скоростей возбуждения резонансных уровней больше, чем метастабильных. Скорость распада метастабильного уровня меньше чем резонансного, в связи с этим населенность на нем постепенно возрастает, и инверсия пропадает [5]. Длительность импульсов генерации лазера на парах меди составляет десятки наносекунд (типичные значения 30-50нс). В период между импульсов восстанавливаются основные компоненты и параметры плазмы, такие как температура и концентрация электронов (T_e, n_e), населенность основного, метастабильного и резонансного уровней атома меди (N_0, N_m, N_r). При достаточно больших частотах следования импульсов и вводимых мощностях в течение межимпульсного периода активная среда Cu-лазера не успевает полностью восстановиться. Поэтому для импульсно-периодического режима характерно наличие эффектов накопления, определяемых, частотой повторения импульсов накачки и их энергией. В импульсно-периодическом режиме, по сравнению с режимом сдвоенных импульсов, достигается более высокая средняя мощность и коэффициент полезного действия лазера, даже несмотря на то, что кумулятивные эффекты снижают удельную энергию генерации. Такой режим возбуждения позволяет реализовать работу активного элемента лазера в режиме саморазогрева [5].

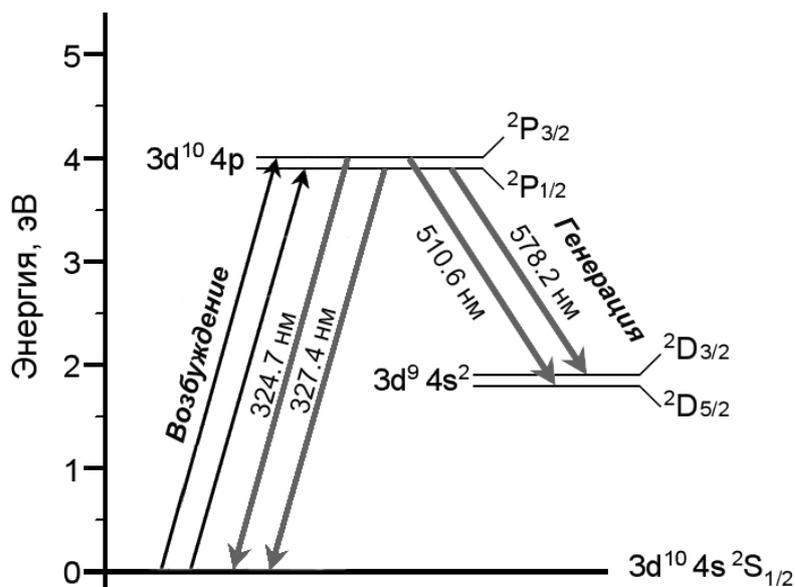


Рис. 1.1. Схема лазерных уровней атома меди

Именно на переходах атома меди на линиях 510 (зеленая) и 578 нм (желтая), с одного активного элемента получены наивысшие выходные мощности излучения (более 700 Вт [6]) и КПД – 3% [7].

На данный момент широкое распространение получили лазеры на парах галогенидов меди. Такой способ получения паров рабочего вещества заключается в диссоциации галогенидов меди с последующим возбуждением атомов меди. Первая генерация в парах галогенидов меди была получена в парах $CuCl$ при работе в режиме сдвоенных импульсов [8]. В дальнейшем было установлено, что самый эффективный из всех лазеров на галогенидах меди – $CuBr$ -лазеры (ЛПБМ) [9-11]. Лазеры на парах бромида меди обладают рядом достоинств в сравнении с обычными лазерами на парах меди. Температура стенок лазерной трубки существенно снижена (с 1600-1700 °С до 500-700 °С), время выхода лазера на рабочий режим значительно уменьшено, конструкции ГРТ упрощена, увеличена длительность импульса излучения, а частота следования импульсов излучения может быть значительно увеличена [12].

1.2. Высокочастотные лазеры на парах меди и бромида меди.

Первые работы, в которых получены частоты следования лазера на парах меди 100 и более кГц были проведены М.А. Алаевым, А.И. Барановым, Н.В. Верещагиным и др. [13] и Фаленом [14] с ГРТ малого диаметра. Исследования [13] проводились с саморазогревным активным элементом, имеющим длину разрядного канала 500 мм и диаметр 7 мм. В качестве буферного газа использовался неон при давлении 10–15 торр. Была получена генерация на переходах меди с ЧСИ 20, 50 и 100 кГц. Основные результаты приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Характеристики накачки и энергетические характеристики ЛПМ при различных ЧСИ

ЧСИ, кГц	p_{Ne} , торр	U_{CH} , кВ	C_{H} , пФ	$P_{\text{Г}}$, Вт	$P_{\text{и}}$, кВт	$t_{\text{и}}$, нс	$E_{\text{уд}}$, мДж/см ⁻³
20	15	11	2200	3.5	24	7	7
50	10	11,5	1100	1.5	6	5	3.8
100	10	12	670	1.0	1	5	2.5

Резкое падение импульсной мощности авторы связывают со следующими факторами: снижением энергии накачки вследствие снижения рабочей емкости с ростом ЧСИ; с возможным увеличением концентрации метастабильных атомов меди при высоких ЧСИ; с неоптимальными условиями генерации.

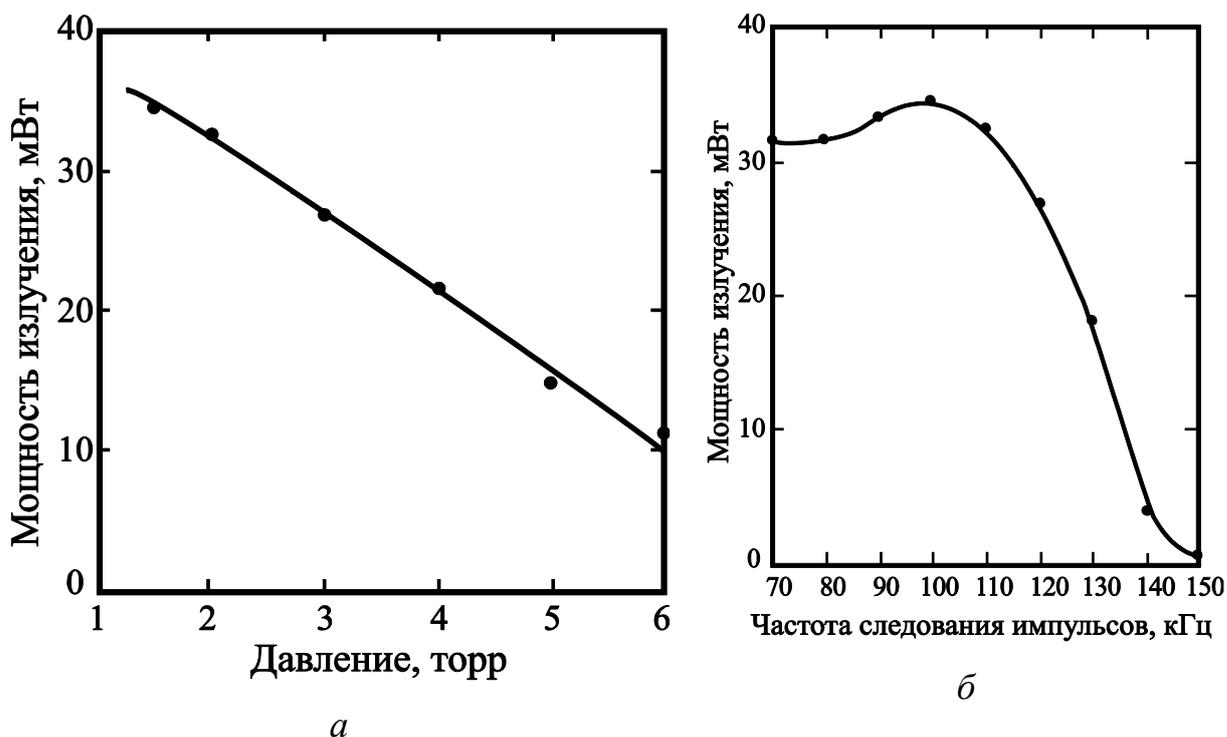


Рис. 1.2. Зависимости мощности излучения от давления буферного газа (а) и частоты следования импульсов (б)

Применение разряда в узкой трубке диаметром 1,6 мм при низком давлении буферного газа неона 1,5 торр повышает скорость диффузионного ухода метастабилей на стенку с последующим их тушением, что позволило авторам работы [14] получить генерацию на частоте 150 кГц. На рис. 1.2 показаны полученные в этой работе зависимости выходной мощности от давления буферного газа при ЧСИ 100 кГц и от ЧСИ при давлении неона 1,5 торр. К сожалению, автор не анализирует причины такого поведения выходной мощности, в частности, некоторое увеличение в диапазоне частот накачки 70 -110 кГц.

Исследование возможности дальнейшего увеличения ЧСИ лазера на парах меди за счет оптимизации импульса возбуждения позволило Солдатову А.Н. и Федорову В.Ф. получить генерацию на частоте 235 кГц. Эксперименты проводились с активными элементами с диаметром разрядного канала 8 и 10 мм, длиной от 185 до 360 мм. На рис. 1.4, а показано типичное временное распределение суммарного импульса генерации (1), а также генерации на длинах волн 510,6 (2) и 578,2 (3) нм. В данном случае на частоте 60 кГц

длительность импульса на линии 510,6 нм по уровню 0,5 составляла 8 нс. С повышением частоты f длительность импульса возбуждения уменьшалась. Величина энерговклада и скорость его ввода в активную среду регулировались напряжением на рабочей емкости. Поддержание одинаковой температуры активной среды при различных ЧСИ контролировалось выполнением равенства $P_{уд} = E_{уд} \cdot f = P_{н} / V = const$, где $P_{н}$ и $P_{уд}$ – соответственно полная и удельная средняя мощности, вкладываемые в среду с объемом V ; $E_{уд}$ – удельный энерговклад в ГРТ импульса накачки. Зависимости импульса тока (1) и импульса генерации (2) от ЧСИ представлены на рис. 1.3, б. Авторы отмечают, что рост ЧСИ наблюдается при уменьшении диаметра ГРТ. Это, по их мнению, вызвано увеличением скорости рекомбинации заряженных частиц на стенке ГРТ.

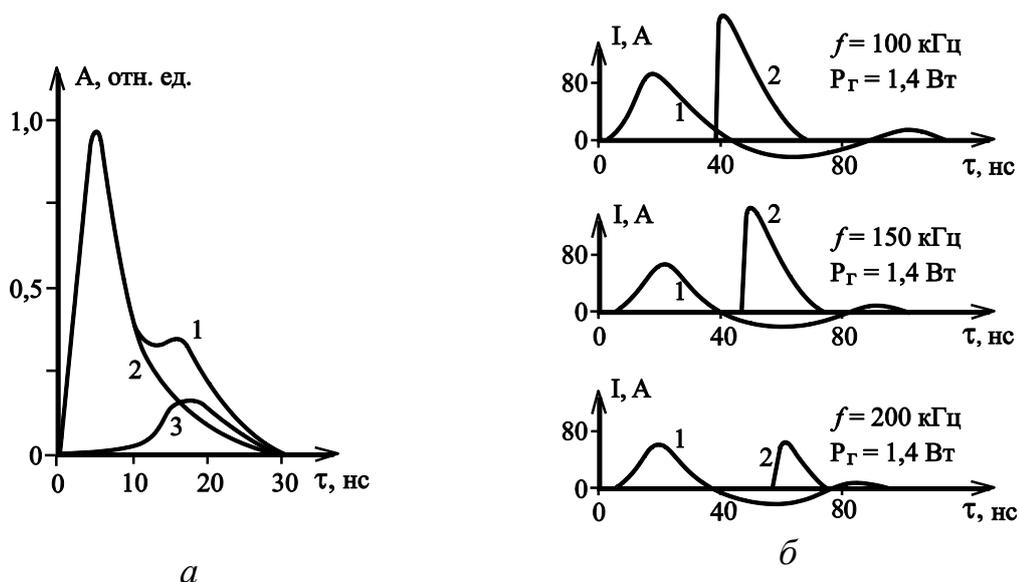


Рис. 1.3. Зависимости параметров генерации лазера на парах меди при высоких ЧСИ

Авторы отмечают, что рост ЧСИ наблюдается при уменьшении диаметра ГРТ (кривые 1, 2). Это, по их мнению, вызвано увеличением скорости рекомбинации заряженных частиц на стенке ГРТ. В табл. 1.2 представлены параметры разрядных условий. Из таблицы видно, что в области частот 100–200 кГц оптимальная величина удельной вводимой мощности составляет 20–30 Вт/см³, а энерговклада 0.2 – 0.4 мДж/см³. По мнению авторов, меньшие значения $P_{уд}$ обеспечивают более быстрое восстановление

параметров плазмы в межимпульсный период и ослабляют отрицательное проявление накопительных эффектов.

Таблица 1.2. Параметры разрядных условий. $E_{уд}$ – удельный энерговклад, $P_{уд}$ – удельная мощность накачки, рассчитанная по энергии, запасенной в рабочей емкости, P_v – мощность, потребляемая от выпрямителя. $P_{г_уд}$, - удельная мощность генерации.

f , кГц	C , пФ	p_{Ne} , торр	P_v , кВт	$P_{уд}$, Вт/см ³	$E_{уд}$, мДж/см ³	$P_{г_уд}$, мВт/см ³
20	750	20	0,74=3,7×0,2	14	0,7	77
60	750	10	1,15=2,9×0,4	29	0,48	38
100	750	2	1,55=2,6×0,6	42	0,42	3.8
100	500	10	0,9=2,5×0,36	35	0,35	139
100	500	40	1,35=2,9×0,46	46	0,46	122
100	220	10	0,9=3,0×0,3	22	0,22	122
150	220	10	1,2=3,0×0,4	33	0,22	78
150	220	10	0,78=2,1×0,37	16	0,11	111
210	220	10	1,54=2,3×0,67	27	0,13	2.8
235	220	10	0,95=1,9×0,5	21	0,09	1.1

При частоте 150 кГц и 210 кГц проводилась настройка лазера на максимальную выходную мощность в режиме саморазогрева. Затем понижением напряжения уменьшался энерговклад и, по мере естественного снижения температуры активной среды, регулировкой зарядного напряжения определялась максимальная мощность генерации на фиксированной частоте или предельная ЧСИ. Эти результаты показывают резервы увеличения КПД лазера в несколько раз при переходе от саморазогревного режима к режиму с независимым подогревом, а также демонстрируют возможность дальнейшего увеличения предельной ЧСИ в лазере на парах меди.

Таким образом, было наглядно продемонстрировано, что при уменьшении длительности импульса возбуждения и оптимизации энерговклада, предельная частота следования импульсов может быть значительно увеличена.

CuBr-лазер малого объема с частотой следования импульсов 400 кГц

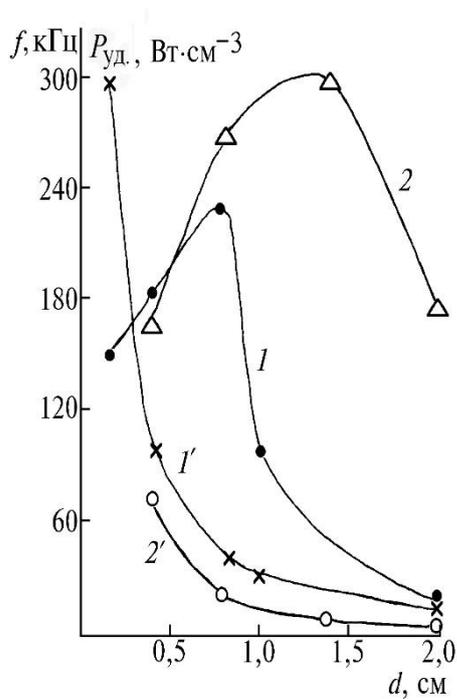
Эксперименты по получению высоких частот следования импульсов генерации проводились с ГРТ №1–5 (табл. 1.3) диаметром 0,4–2 см с независимым подогревом контейнеров с бромидом меди [12].

Таблица 1.3. Параметры исследуемых ГРТ

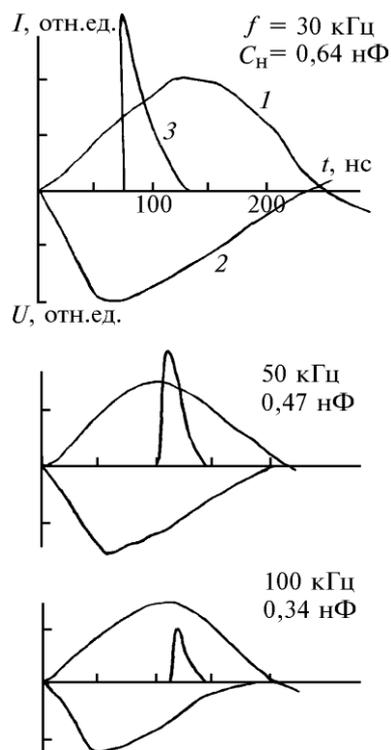
№ ГРТ	Диаметр канала, см	Длина активной зоны, см	Расстояние между электродами, см	Кол-во контейнеров с CuBr	Объем активной зоны, см ³
1	0,4	30	30	2	3,8
2	0,8	40	40	2	20,1
3	1,4	25	25	2	38,5
4	2	60	60	3	188,4
5	2	80	80	3	251,2

Давление буферного газа Ne изменялось от 10 до 200 торр, добавки водорода не вводились. Вместе с тем, водород как неконтролируемая примесь постоянно присутствовал в разряде, о чем свидетельствовал спектр спонтанного излучения, в котором хорошо высвечивались линии бальмеровской серии водорода. Для возбуждения разряда использовалась схема прямого разряда накопительной емкости через газоразрядную трубку и коммутатор ТГУ1-5/12, максимальная частота коммутации которого равна 300 кГц.

Чтобы обеспечить устойчивый температурный режим работы трубки в условиях разогрева при изменении частоты повторения импульсов накачки необходимо выполнить требование постоянства вводимой в разряд мощности: $P_{уд} = f \cdot E_{уд}$, где $P_{уд}$ – средняя удельная (вкладываемая в единицу объема) мощность накачки; f – частота; $E_{уд}$ – удельный энерговклад.



а



б

Рис. 1.4. Максимальные частоты повторения $f(d)$ (1, 2) и соответствующие им удельные вводимые в разряд мощности $P_{уд}(d)$ (1', 2') для Cu- (1, 1') и CuBr-лазера (2, 2') с трубками разных диаметров (а); временные характеристики CuBr-лазера (б): ток разряда (1), напряжение (2) и импульс генерации (3) для ГРТ №4 (диаметр 2 см) при разных ЧСИ и рабочих емкостях

Опираясь на то, что создание активной среды CuBr-лазера требует существенно меньшей рабочей температуры, чем для традиционного Cu-лазера, в работе [12] удалось получить устойчивую генерацию при снижении удельного энерговклада в разряд в 3–5 раз по сравнению с ЛПМ идентичного объема в широком диапазоне изменения частот повторения (рис. 1.5, 1.6).

Анализ полученных результатов в рамках данного эксперимента показывает, что максимальная частота следования импульсов 300 кГц для CuBr-лазера реализуется в трубке № 3 (табл. 1.3) диаметром 1,4 см при удельной мощности накачки $P_{уд} = 10 \text{ Вт/см}^3$ ($E_{уд} = 33 \text{ мкДж/см}^3$). Данное значение $P_{уд}$ является оценочным, так как для его расчета использована полная потребляемая мощность (ГРТ и элементами схемы), а за активный объем взят объем ГРТ, заключенный между электродами. При этом КПД

(также относительно полной потребляемой мощности) на оптимальной частоте (80–100 кГц) составляет 0,2%. При снижении $P_{уд}$ до 5 Вт/см³ КПД увеличивается до 1,4%, однако этот режим реализуем только в трубках большего диаметра (2 см), где максимальная ЧСИ не превышает 160 кГц.

Следует отметить, что при этом средняя мощность излучения на частоте 100 кГц хотя и оказывается значительно меньше максимальной, но остается довольно значительной – 4,8 Вт. Максимальные ЧСИ для трубок диаметром менее 1,4 см составили 270 кГц (для диаметра ГРТ 0,8 см и $P_{уд}=20$ Вт/см³, что соответствует энерговыкладу в ГРТ $E_{уд}=75$ мкДж/см³) и 160 кГц (0,4 см и $P_{уд}=80$ Вт/см³, $E_{уд}=0.5$ мДж/см³). Высокие $P_{уд}$ в трубках малого диаметра приводят к большим плотностям тока разряда. Так, для ГРТ диаметром 0,4 см амплитуда тока достигает 100 А, а плотность тока превышает 10 кА/см². При этом степень ионизации атомов меди достигает 50%, уменьшая число рабочих атомов, падает КПД.

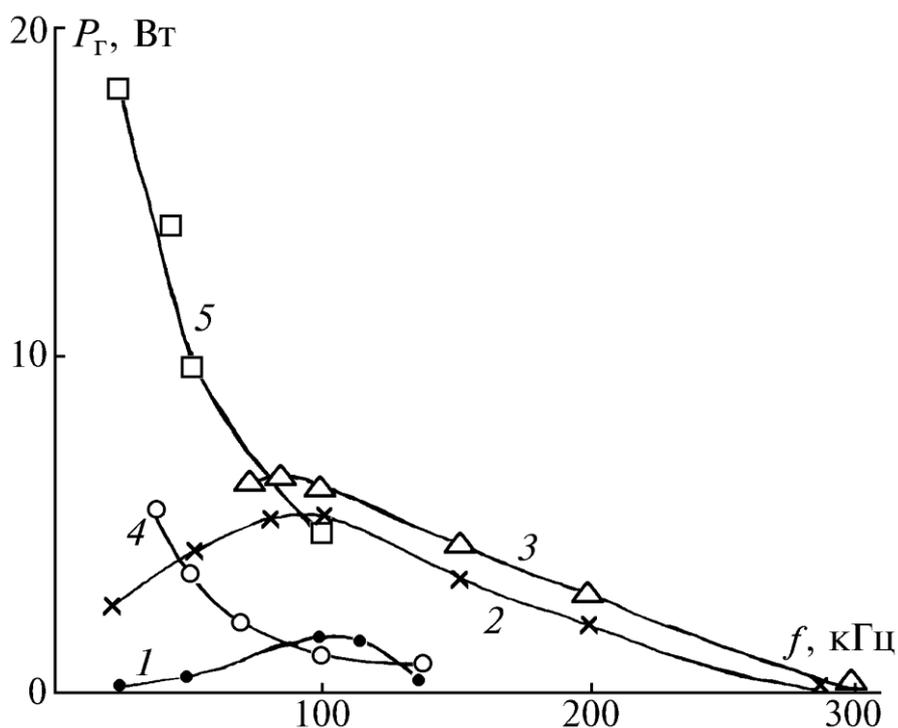


Рис. 1.5. Энергетические характеристики CuBr-лазера с ГРТ разного объема: диаметром 0,4 (1), 0,8 (2), 1,4 (3) и 2 см (4, 5), длиной 30 (1), 40 (2), 25 (3), 60 (4) и 80 см (5) (для наглядности мощности P_2 для кривых 1–3 увеличены на графике в 10 раз)

Достичь частот следования импульсов превышающих 300 кГц авторам работы [12] не позволили, главным образом, характеристики выбранного коммутатора. Использование в схеме накачки лампы ГМИ-32Б позволило в работе [15] реализовать максимальную на сегодня ЧСИ CuBr-лазера – 400 кГц. В этом случае использовалась ГРТ диаметром 0,5 см и длиной 24 см. Накопительная емкость составляла 1100 пФ. В работе специально не использовалась контролируемая примесь водорода, что говорит о потенциальной возможности дальнейшего повышения частоты. Однако сдвиг импульса тока и напряжения на ГРТ ~ 30 нс указывает на ее частичное присутствие, либо на наличие других примесей.

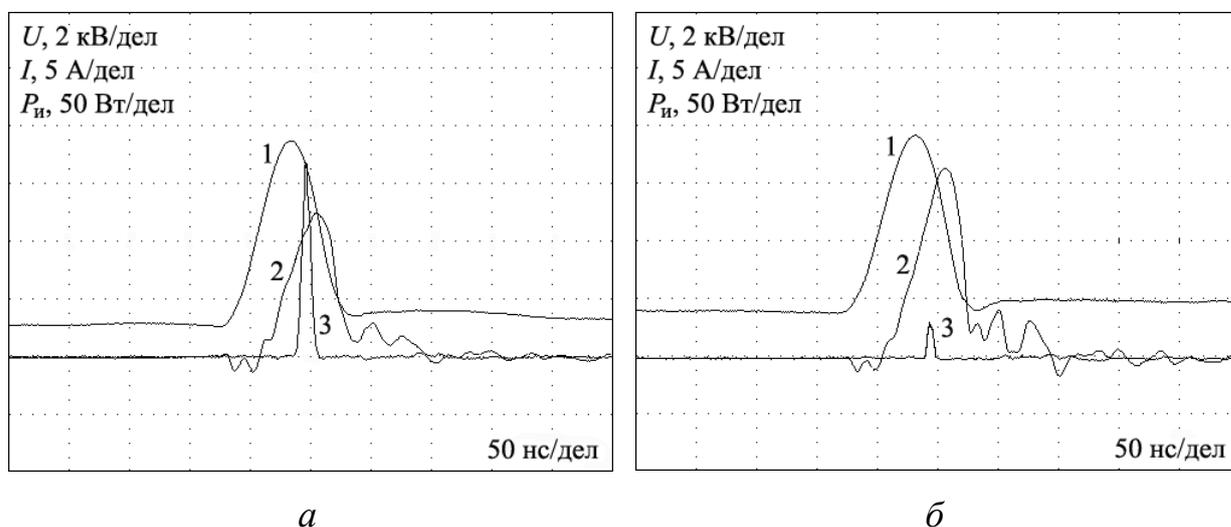


Рис. 1.6. Осциллограммы импульсов напряжения (1), тока (2) и генерации (3): а – ЧСИ 250 кГц, б – 400 кГц

На рис. 1.6 приведены осциллограммы импульсов тока, напряжения и генерации для ЧСИ 250 кГц и 400 кГц. Из осциллограмм видно, что импульс генерации формируется сразу после того как напряжение достигнет своего максимума, и соответствует максимуму энергии, вводимой в импульсе накачки. На рисунке показан суммарный импульс генерации по обеим линиям. С увеличением ЧСИ, снижается мощность генерации, причем на зеленой линии (510,6 нм) падение более значительно, чем на желтой линии (578,2 нм). Отметим, что на частоте 400 кГц удельный энерговклад в ГРТ был достаточно высок и составлял – 0.38 мДж/см³ (что соответствует удельной вкладываемой мощности 152 Вт/см³). Этим обусловлено увеличение амплитуды импульса

тока при повышении частоты от 250 до 400 кГц, что приводит к перегреву плазмы лазера.

1.3. Традиционные источники накачки лазеров на парах бромида меди.

При создании источников накачки для лазеров на парах металлов особое внимание принято уделять крутизне фронта импульса накачки. Так как только благодаря быстрым, обладающим большой энергией, электронам возможно заселение резонансного уровня и получение инверсии. Если же фронт будет затянут, то заселение, главным образом, будет осуществляться на метастабильный уровень. Что приведет к снижению генерации.

Коррекция формы импульса напряжения (увеличение крутизны переднего фронта) с помощью корректирующих (обостряющих) конденсаторов, подсоединяемых параллельно разрядному промежутку, широко применяется в мощных генераторах наносекундных импульсов, использующих в качестве коммутаторов разрядники различных типов [3]. В ряде работ по лазерам на парах меди также применялась коррекция формы импульса возбуждения путем подключения обостряющего конденсатора параллельно разрядному промежутку [4,5,6].

На рис. 1.7 представлена схема прямого разряда конденсатора [7].

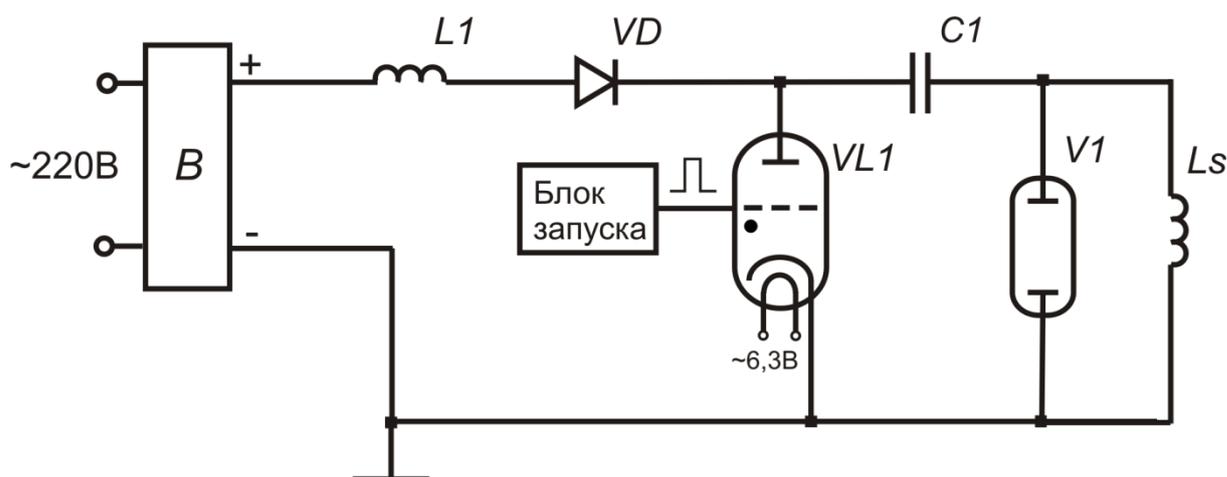


Рис. 1.7. Схема прямого разряда накопительного конденсатора

Когда коммутирующий элемент закрыт, происходит резонансное накопление энергии в конденсаторе через дроссель, открытый вентиль и

шунтирующую индуктивность. Когда значение на конденсаторе достигнет максимума, ток через него потечет в другую сторону и закроет клапан. В это же время, коммутирующий элемент открывается, и через открытый ключевой элемент заряженный конденсатор подключается параллельно газоразрядному промежутку. Далее все процессы повторяются с некоторой периодичностью.

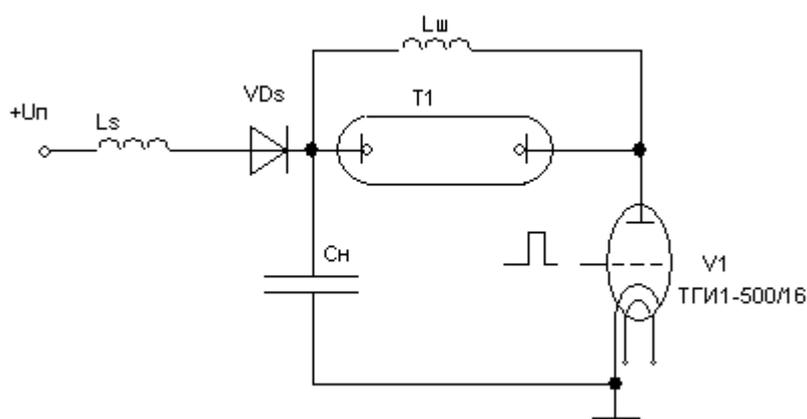


Рис. 1.8. Схема с шунтирующей индуктивностью

Схема с шунтирующей индуктивностью (рис. 1.8) позволяет избежать увеличения предимпульсной концентрации электронов перед следующим импульсом. В остальном эта схема аналогична классической. Эта схема несколько неудобна в конструктивном плане, так как оба электрода газоразрядной трубки находятся под потенциалом. Также в данной схеме затруднено измерение тока через газоразрядную трубку с помощью шунта.

Как правило емкость накопительного конденсатора выбирается из диапазона сотни пикофард - единицы нанофард. Она напрямую зависит от ЧСИ, напряжения и требуемой мощности для разогрева трубки. В качестве коммутаторов используются тиратроны ТГИ1-500/16 и ТГИ1-1000/25. Их максимально допустимые импульсные токи соответственно 500 и 1000 ампер, напряжение в закрытом состоянии – 16 и 25 киловольт. При максимальном токе и напряжении рабочая частота – не более 400 Гц. При снижении нагрузки допустимая частота увеличивается до 20 кГц. Зарядная индуктивность составляет обычно 0,2-0,3 Гн, шунтирующая- единицы миллигенри. При

указанных значениях заряд конденсатора завершается за время 2-5 микросекунд, что намного меньше межимпульсного интервала.

Схема с двумя обостряющими конденсаторами [8] (Рис 1.9) включает в себя накопительный конденсатор. Две металлические пластины P1 и P2, расположенные между электродами вдоль ГРТ, и два обостряющих конденсатора C1 и C2, соединяющие металлические пластины с электродами ГРТ. Кроме того, в эту схему входят индуктивность Ls, уменьшающая скорость нарастания тока в разрядном контуре.

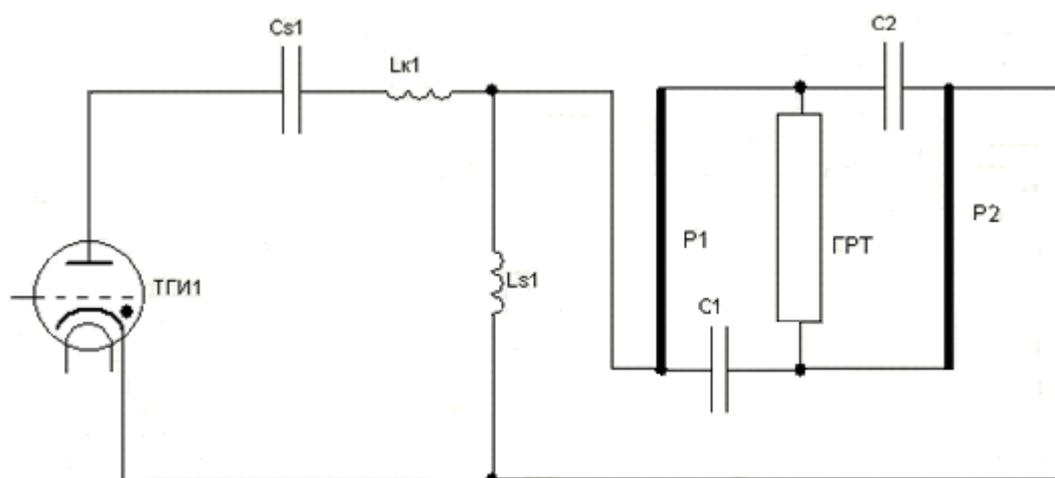


Рис. 1.9. Схема с обостряющими конденсаторами

В отличие от схемы с двумя конденсаторами, схема со взаимодействующими разрядными контурами [9] (Рис 1.10) состоит из двух разрядных контуров, образованных двумя пластинами P1 и P2, и двумя парами конденсаторов (соответственно C1, C2, C3, C4), соединяющими эти пластины с электродами ГРТ. Электрические емкости конденсаторов C2 и C3 существенно меньше емкостей C1 и C4. По данным [10] в лазере на парах бромида меди с ГРТ диаметром 2 см и длиной 50 см максимальный физический КПД реализуется при следующих величинах емкостей конденсаторов: C1=950 пФ, C2=C3=215 пФ, C4=3140 пФ.

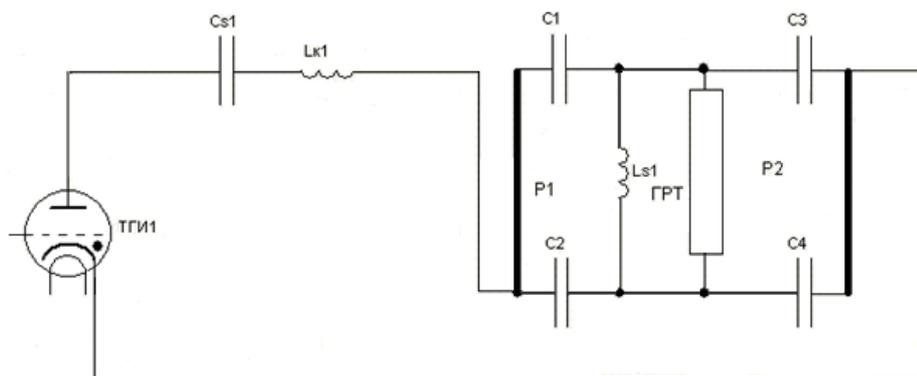


Рис. 1.10. Схема со взаимодействующими разрядными контурами

Важной особенностью схемы со взаимодействующими разрядными контурами является то, что в ней электроды ГРТ не заземлены и находятся под некоторым потенциалом относительно земли.

В обычных схемах с обостряющими конденсаторами или без них, а также в схеме с двумя обостряющими конденсаторами катод ГРТ значительно нагревается по сравнению с заземленным электродом (анодом). В схеме с взаимодействующими разрядными контурами электроды лазерной трубки нагреваются почти одинаково, поэтому использование такой схемы ведет к значительному увеличению средней мощности и эффективности лазера по сравнению с обычными схемами или схемой с двумя обостряющими конденсаторами.

Схемы с газоразрядными коммутаторами имеют следующие недостатки:

Ламповые коммутаторы, которые используют для осуществления накачки лазеров с высокой ЧСИ (до 100 кГц и выше), обладают следующими недостатками: срок службы данных коммутаторов ограничен (около 1000 ч), масса и габариты зачастую велики, а также данные устройства имеют большую цену на рынке.

В то время, как максимальная частота, на которой тиратроны способны обеспечить надежную работу составляет 20 кГц.

Полупроводниковые источники накачки.

В настоящее время на рынке появилось множество мощных полупроводниковых ключей (IGBT и MOSFET), в связи с этим стало возможно создавать твердотельные источники накачки, имеющие более широкий диапазон рабочих частот, высокую гибкость управления и большой ресурс, наработку, срок службы.

Существует два основных способа организации силовой части твердотельных источников накачки: последовательный и параллельный.

Схема с транзисторным коммутатором.

Значительно улучшить среднюю мощность излучения CuBr лазера, удалось после введение в состав источника накачки стабилизатора напряжения. Амплитуда напряжения 1000В не превышает максимального напряжения коллектор-эмиттер силовых транзисторов 1200 В, которые используются в генераторе высоковольтных импульсов [11].

Генератор высоковольтных импульсов является основным блоком источника накачки. Задающий генератор, с возможностью регулировки частоты, выполнен на микросхеме D1 (Рис. 1.11) типа КР1561ГГ1. Формирователь импульсов, задающий время открытого состояния для силовых транзисторов, выполнен на транзисторе VT1 типа КТ3142А. На микросхемах D2-D6 типа МС3415Р выполнены усилители согласования с силовыми ключами VT2-VT11. Генератор высоковольтных импульсов основан на десяти силовых биполярных транзисторах с изолированным затвором IRG4PH50U, которые включены параллельно. Конденсаторы С14-С23 типа К73-17,4,7 нФ-1600 В, выполняют роль накопительных конденсаторов. В результате резонансного заряда, данные конденсаторы заряжаются до 1000В, через индуктивность L1 номиналом 4 мГн. Это напряжение удерживается на накопительных конденсаторах, до момента отпираания силовых транзисторов, благодаря разделительным диодам. Все накопительные конденсаторы разряжаются на первичную обмотку своего импульсного трансформатора, через соответствующий силовой ключ.

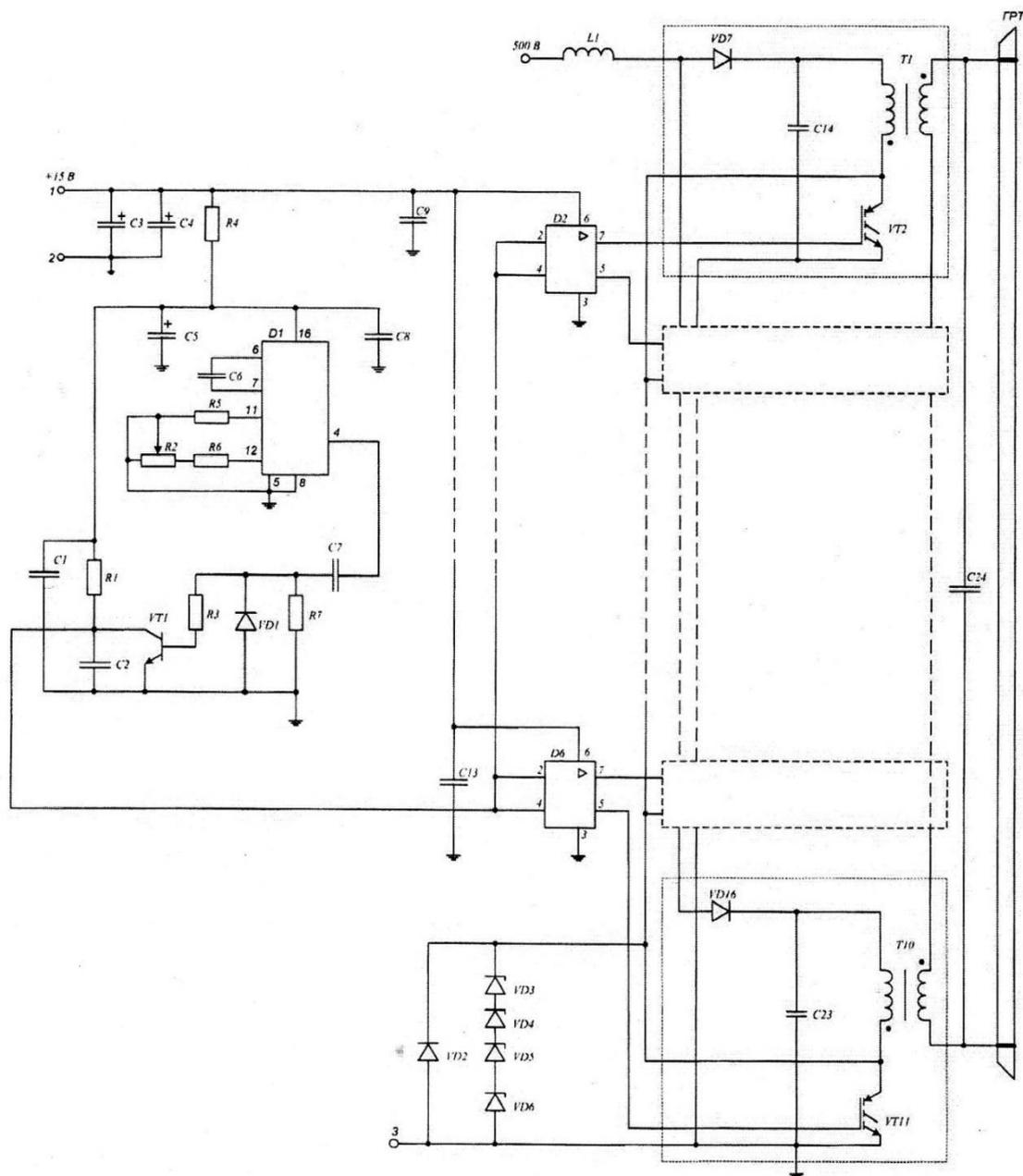


Рис. 1.11. Схема с транзисторным коммутатором

Все импульсные трансформаторы изготовлена на ферритовых кольцевых сердечника типа 2000НМ с типоразмерами К45х28х12. Первичные и вторичные обмотки трансформаторов имеют по 4 витка. Вторичные обмотки всех трансформаторов последовательно соединены и подключены к выводам газоразрядной трубки. Это позволяет иметь на электродах газоразрядной трубки импульсное напряжение амплитудой до 10 кВ. Параллельно газоразрядной трубке включен обостряющий конденсатор С24 типа КВИ-3-16кВ-330пФ±20%, который был подобран экспериментально.

Диод VD типа HFA08BT120 защищает силовые транзисторы от отрицательных выбросов напряжения. Диоды VD3-VD6 типа 1,5KE250 и 1,5KE300 защищают силовые ключи от превышения напряжения в случае разрыва в цепи высокого напряжения (режим холостого хода).

Максимальная частота генератора высоковольтных импульсов ограничена частотными характеристиками выбранных транзисторов. Также необходимо учитывать время заряда накопительных емкостей, которое превышает 1мкс. Потери на силовых ключах, которые возрастают с повышением частоты, должны быть учтены. С учетом выше описанного, ограничением для предложенного схемного решения является частота 250 кГц.

Применение импульсного трансформатора ведёт не только к уменьшению КПД источника из-за потерь в обмотках и сердечнике, но и к затягиванию фронта импульсов возбуждения, вследствие чего снижается мощность генерации CuVr-лазера. Использование трансформатора ограничивает как максимальную, так и минимальную длительность передаваемого в нагрузку импульса. В некоторых случаях необходимо принимать меры для рекуперации или диссипации энергии, запасаемой в индуктивности намагничивания.

Схемы с последовательным включением полупроводниковых коммутаторов.

Для увеличения обратного напряжения силовых IGBT и MOSFET транзисторов, они могут быть подключены последовательно.

Максимальное использование транзисторов в последовательном соединении может быть получено в случае идеальной статической и динамической симметрии одиночных ключей.

Следовательно, оптимальные условия симметрии являются основными для последовательного соединения на практике.

Причины статической асимметрии:

В выключенном состоянии условия симметрии определяются характеристикой запирающих транзисторов, подключенных последовательно.

Напряжение на транзисторе, включенном последовательно, обратно пропорционально току запирающего транзистора и прямо пропорционально сопротивлению в закрытом состоянии. Ток будет расти линейно с ростом температуры, так как температурный коэффициент тока в закрытом состоянии для IGBT/MOSFET транзисторов положительный.

Причины динамической асимметрии:

Динамическая асимметрия обуславливается следующими факторами: значения внутренних емкостей, выходной импеданс драйвера, общая индуктивность, индуктивность цепи драйвера, через которую проходит ток коллектора. Транзистор, выключившийся первым, и включившийся последним, будет подвергаться большему напряжению. Превышение максимально допустимого напряжения транзистора необходимо предотвращать.

Магнитотранзисторный генератор

Функциональная схема генератора представлена на рисунке 1.12 [12]. В генераторе используется схема с удвоением напряжения за счет частичного разряда накопительного конденсатора через дроссель на конденсатор схемы сжатия. Генератор содержит высоковольтный источник постоянного напряжения, коммутатор, блок управления коммутатором, зарядный дроссель L1, два звена магнитного сжатия импульсов C1, L2, и C2, L3. Активный элемент – лазерная трубка Kulon LT-10Cu.

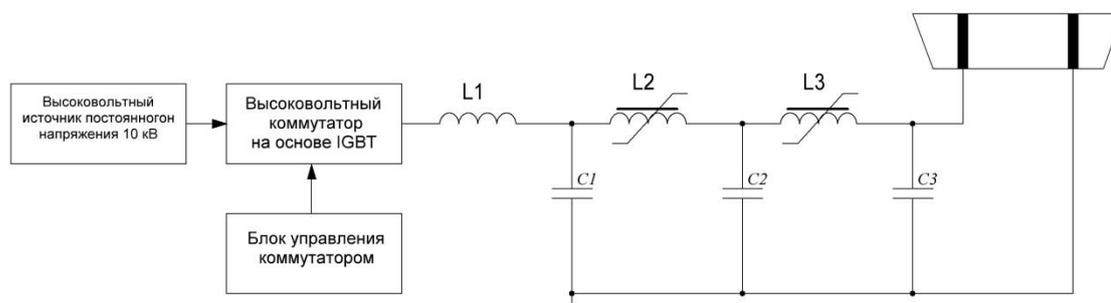


Рис. 1.12. Схема магнитотранзисторного генератора

Средняя мощность потребления для нее составляет 1,4 кВт. Оптимальная частота следования импульсов накачки находится в диапазоне 14-17 кГц, при

этом номинальная мощность излучения в режиме генератора составляет 10 Вт. Обостряющий конденсатор С3 позволяет улучшить крутизну фронта импульса на активном элементе.

Высоковольтный источник питания выполнен по схеме полного моста с последовательным резонансным контуром и работает на частоте 50 кГц. Он рассчитан на мощность 2 кВт и напряжение 10 кВ, имеет защиту от токов короткого замыкания и перенапряжения при холостом ходе.

Схема коммутатора представлена на рисунке 1.13. Коммутатор состоит из пяти плат, каждая из которых содержит две ячейки, накопительный конденсатор С0, диоды VD11, VD21, которые защищают коммутатор от превышения отрицательного напряжения на выходе. Каждая ячейка содержит IGBT транзистор, управляющий им одновитковый трансформатор, резистор, обеспечивающий выключение транзистора и диод для защиты транзистора от обратного напряжения.

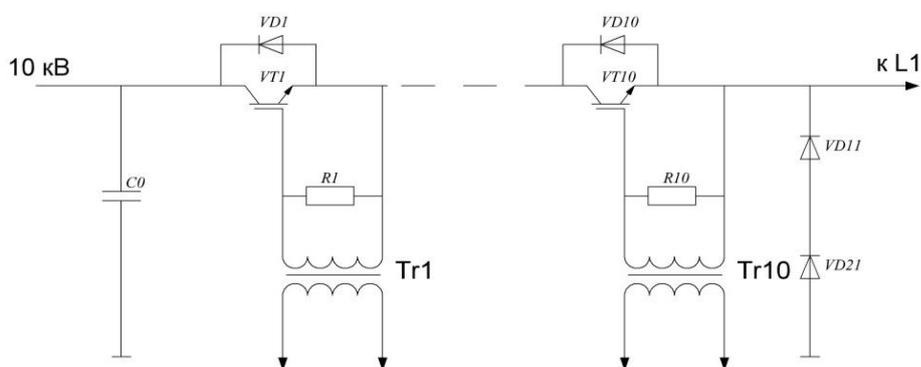


Рис. 1.13. Схема коммутатора

В состав блока управления входят схема формирования постоянного напряжения, генератор опорной частоты и схема формирования импульса управлением коммутатором.

Схема магнитной компрессии состоит из двух звеньев. В качестве материала дросселей магнитных звеньев использован феррит 2000НМ. Использование феррита в звеньях магнитного сжатия, работающих с высокой

частотой повторения, оправдано с точки зрения потерь, однако коэффициент сжатия меньше, чем для дросселей на основе пермаллоя.

Высоковольтный источник питания поддерживает на накопительном конденсаторе С0 напряжение 10 кВ. В блоке управлением коммутатором формируется управляющий импульс, который обеспечивает синхронный старт включения всех IGBT транзисторов коммутатора.

Все элементы генератора размещены в корпусе размерами 480x400x260 мм и имеют принудительное воздушное охлаждение. Мощность, потребляемая генератором при работе на активный элемент Kulon LT-10Cu, составляет 1,8 кВт, что с учетом мощности излучения говорит о практическом КПД порядка 0,7%.

Подобный способ построения источника накачки имеет свои особенности, связанные, в основном, с использованием магнитного компрессора: амплитуда импульса накачки определяется моментном насыщении магнитного ключа, а длительность импульса накачки – соотношением емкостей магнитного компрессора и индуктивностями дросселей в насыщенном состоянии. Таким образом, на практике крайне затруднительно регулировать режим ввода энергии в разряд.

К недостаткам данной схемы также можно отнести относительно низкую частоту следования импульсов, значительные потери в ключах и звеньях магнитного компрессора.

Общим недостатком схем с последовательным включением транзисторов является неоднородное распределение потенциала в структуре коммутатора, которое может быть обусловлено как несинхронностью моментов включения-выключения (несовершенством драйверной схемы), так и заводским разбросом параметров транзисторов, таких, как междуэлектродные ёмкости, пороговое напряжение, крутизна входной характеристики.

Транзисторный коммутатор с магнитными связями в цепях управления.

Известен способ синхронизации работы последовательно соединенных транзисторов путем введения в затворную цепь балансировочных трансформаторов. Схема представлена на рисунке 1.14[15].

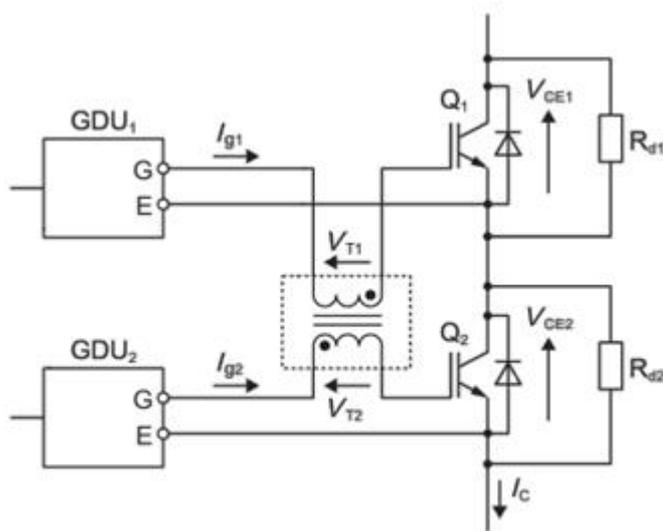
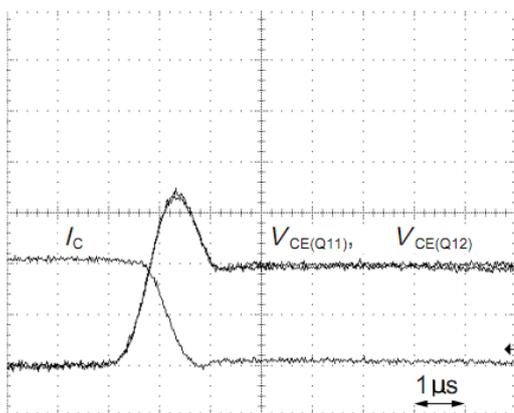
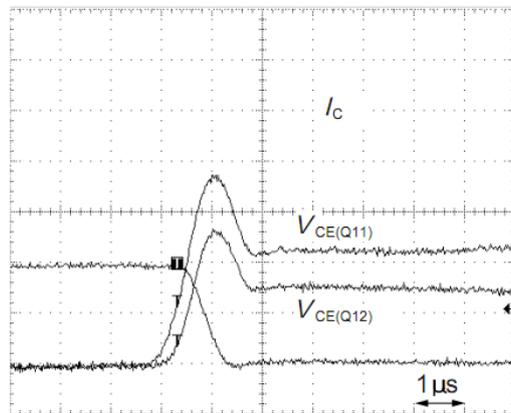


Рис. 1.14. Общий принцип динамической синхронизации работы транзисторов путём введения в цепь управления магнитных связей



а) с балансировочным трансформатором



б) без балансировочного трансформатора

Рис. 1.15. Диаграммы напряжений на транзисторах

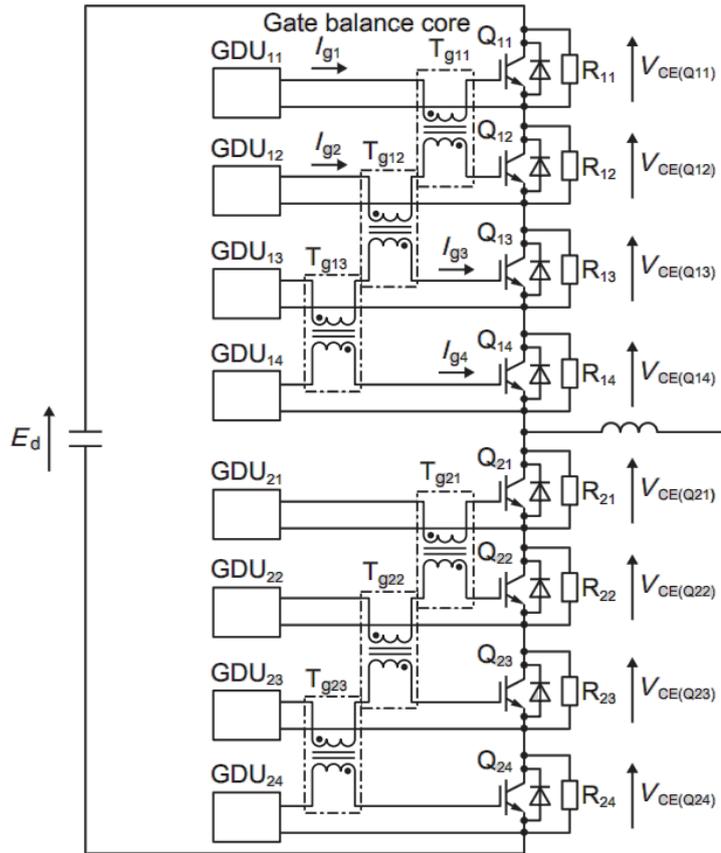


Рис. 1.16. Схема синхронизации для восьми транзисторов

Недостатками такого схемотехнического решения является затягивание фронтов формируемого импульса, возникающее по причине внесения дополнительных индуктивностей в затворную цепь, и сложности, связанные с гальванической развязкой драйверных схем.

Глава 5. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.

Сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Выполним сегментирование рынка источников накачки для лазеров на парах металлов с высокой частотой следования импульсов по следующим критериям: вид источника накачки, частота следования импульсов. На основании этих критериев построим карту сегментирования рынка.

	<i>Вид источника накачки</i>		
	На транзисторном коммутаторе	На таситронном коммутаторе	На ламповом коммутаторе
С частотой следования импульсов до 500 кГц			
С частотой следования импульсов до 1 МГц			

Рис. 5.1. Карта сегментирования рынка источника накачки:

■ - существует на рынке; □ - отсутствует на рынке.

Из карты сегментирования рынка видно, что в сфере источников накачки для лазеров на парах металлов на ламповом коммутаторе с частотой следования импульсов до 1 МГц будет низкая конкуренция. Подобная ситуация обстоит и с источниками, основанными на таситронном коммутаторе, с частотой

коммутации до 1 МГц. В виду того, что на высоких частотах таситрону необходимо очень стабильное напряжение накала и система управления, то целесообразно освоить рынок источников накачки, с частотой следования импульсов до 1 МГц, для лазеров на парах металлов, в основании которого лежит ламповый коммутатор.

5.1.2. Анализ конкурентных технических решений

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

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

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

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							

1. Простота изготовления	0,2	3	1	3	0,6	0,2	0,6
2. Надежность	0,2	4	3	2	0,8	0,6	0,4
3. Ремонтпригодность	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
4. Уровень шума	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
5. Долговечность коммутатора	0,1	3	2	5	0,3	0,2	0,5
6. Помехоустойчивость	0,1	4	2	3	0,4	0,2	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
7. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
8. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
9. Цена	0,1	3	2	4	0,2	0,15	0,2
Итого	1	31	22	31	3,3	2,25	3

Ф – источник накачки на ламповом коммутаторе, К1 – источник накачки на таситронном коммутаторе, К2 – источник накачки на транзисторном коммутаторе.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента,

B_i – вес показателя (в долях единицы), Б_i – балл i -го показателя.

Из таблицы 1 видно, что разрабатываемый продукт наиболее конкурентоспособен, по сравнению с конкурентной продукцией, за счет таких показателей, как простота изготовления, надежность и помехоустойчивость.

5.1.3. SWOT-анализ.

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

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

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

Рекомендуется результаты первого этапа SWOT-анализа представлять в табличной форме (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Матрица SWOT.

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Возможность проводить эксперименты с лазерами на парах металлов на частоте от 1Гц до 1 МГц и выше. С2. Относительная простота конструкции, по сравнению с возможными альтернативными решениями. С3. Более высокая надежность, по сравнению с возможными альтернативными решениями. С4. Наличие прототипа научной разработки. С5. Высокая помехоустойчивость.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Не большая функциональная мощность. Сл2. Сложность согласования с нагрузкой. Сл3. Высокая стоимость ключевых элементов схемы. Сл4. Высокий уровень ЭМ излучения. Сл5. Необходимость строгого контроля теплового режима.
Возможности: В1. Отсутствие аналогов В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Высокая стоимость конкурентных разработок, в случае их появления		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Совершенствование полупроводниковых ключей У3. Несвоевременное финансовое обеспечение		

научного исследования со стороны государства У4. Увеличение конкуренции		
--	--	--

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта (табл. 3). Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. В случае, когда две или более возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе.

Таблица 5.3. Интерактивная матрица проекта.

Сильные стороны проекта						
		С1	С2	С3	С4	С5
Возможности проекта	В1	+	+	+	+	+
	В2	+	+	+	+	+
	В3	-	+	+	-	-
Угрозы проекта	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	-	+	-	-
	У3	-	-	-	-	-
	У4	+	-	-	-	-
Слабые стороны проекта						
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	В1	-	-	-	-	-
	В2	-	-	-	-	-

	V3	-	-	0	-	+
Угрозы проекта	У1	0	+	0	+	-
	У2	+	+	-	+	-
	У3	-	-	+	-	-
	У4	0	-	+	-	-

Из интерактивной матрицы видно, что необходимо сделать упор на две сильные стороны проекта, а именно: «Относительная простота конструкции, по сравнению с возможными альтернативными решениями» и «Более высокая надежность, по сравнению с возможными альтернативными решениями», так как они соответствуют сразу всем возможностям. Что касается слабых сторон проекта, то необходимо приложить усилия, для устранения маленькой функциональной мощности. Ведь именно эта слабость соответствует большему числу угроз.

Таблица 5.4. SWOT - анализ.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Возможность проводить эксперименты с лазерами на парах металлов на частоте от 1Гц до 1 МГц и выше. С2. Относительная простота конструкции, по сравнению с возможными альтернативными решениями. С3. Более высокая надежность, по сравнению с возможными альтернативными решениями. С4. Наличие прототипа научной разработки. С5. Высокая помехоустойчивость.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Не большая функциональная мощность. Сл2. Сложность согласования с нагрузкой. Сл3. Высокая стоимость ключевых элементов схемы. Сл4. Высокий уровень ЭМ излучения. Сл5. Необходимость строгого контроля теплового режима.</p>
<p>Возможности: В1. Отсутствие аналогов В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Высокая стоимость конкурентных разработок, в случае их появления</p>	<p>V1V2C1C2C3C4C5+ V3C2C3 – Благодаря относительной простоте разработки и ее хорошим характеристикам высока вероятность спроса на новый продукт и высокую конкурентоспособность с возможными аналогами</p>	
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p>	<p>У2C3 – В случае совершенствования параметров изготавливаемых силовых транзисторов, последние могут превзойти</p>	<p>У1У2Сл2Сл4+ У3У4Сл3+У2У4Сл1 – высокая стоимость коммутирующего элемента и трудности по его закупке</p>

<p>У2. Совершенствование полупроводниковых ключей</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p> <p>У4. Увеличение конкуренции</p>	<p>ламповый коммутатор по параметрам</p>	<p>(выпуск ламп ГМИ 27-Б практически прекращен) приводит к удорожанию источника накачки, что в свою очередь может привести к снижению спроса на продукт. Так как производственные технологии не стоят на месте, однажды будет разработан полупроводниковый коммутирующий элемент, что приведет к полному отказу от лампового коммутатора.</p>
--	--	---

1.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации.

Одним из этапов разработки оборудования является оценка готовности проекта к коммерциализации, поскольку она позволяет выявить все недостатки проекта и оценить возможность самостоятельного ее завершения. В таблице 5.5 представлен перечень вопросов, по которым необходимо провести оценку.

Таблица 5.5 –Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	1	1
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	3

6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
	ИТОГО БАЛЛОВ	24	26

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; B_i – балл по i -му показателю.

Исходя из данных, представленных в Таблица 5, можно сделать вывод о том, что проект не готов к коммерциализации, поскольку прибор имеет серьезные технические недоработки, внимание научной группы сосредоточено на их устранении. При завершении доработки, необходимо будет привлечь специалистов разработки необходимой документации.

5.2. Инициация проекта

5.2.1 Цели и результаты проекта

В таблице 5.6 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта, которые могут быть затронуты в ходе исполнения или в результате завершения проекта.

Таблица 5.6 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 российских научных исследований и программ. Повышение уровня качества научных исследований в стране.

В таблице 5.7 представлена информация о целях проекта и их иерархия.

Таблица 5.7 Цели и результат проекта

Цели проекта:	Создание макета высокочастотного источника накачки CuBr лазера.
Ожидаемые результаты проекта:	Источник накачки CuBr лазера с регулируемой частотой следования импульсов от 30 кГц до 1 МГц и возможностью регулировки времени импульса от 10 нс до 200 нс.
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособный макет устройства, параметры которого совпадают с ТЗ.
Требования к результату проекта:	Требование:

5.2.2. Организационная структура проекта

В таблице 8 показана рабочая группа проекта, определена роль каждого участника в этом проекте, а также прописаны функции, выполняемые участниками и их трудозатраты в проекте.

Таблица 5.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, день.
1	Руководитель проекта	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта в области электроники, проведение экспериментов с источником накачки, участие в обсуждениях по результатам работы	32
2	Исполнитель по проекту	Обзор классических источников накачки лазеров на парах металлов, разработка структурной и принципиальной схем источника, изготовление макета устройства, проведение экспериментов, доработка макета устройства участие в обсуждениях по результатам работы	186
ИТОГО:			218

5.2.3 Ограничения и допущения проекта

В таблице 5.9 представлена информация об ограничениях и допущениях проекта.

Таблица 5.9 Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	100000 р.
1.1. Источник финансирования	Грант РФФИ № 14-19-00175 (НИР ТПУ №5.1390.С.2014) "Скоростные усилители яркости на переходах в парах металлов"
2. Сроки проекта:	01.09.2015-1.09.2016
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	1.06.2015
2.2. Дата завершения проекта	17.06.2016
3. Прочие ограничения и допущения	Ограничение времени работы с установкой, связанное с вредным влиянием шума, лазерного излучения и ЭМ полей на организм человека

5.3. Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1. План проекта.

Планирование этапов работ по выполнению НИР включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по

всем видам работ. В таблице 5.10 приведены основные этапы и содержание работ с распределением ответственных исполнителей.

Иллюстрация календарного плана проекта осуществляется с помощью диаграммы Ганта, представленной на рис. 6.2.

График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени проведения работ. Длительность этапов переводится в календарные дни, и рассчитывается по формуле:

$$T_{ki} = \frac{T_{p1} * T_{кг}}{T_{рд}},$$

где T_{Ki} – продолжительность выполнения одной работы в календарных днях;

T_{ri} – продолжительность одной работы в рабочих днях;

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

$T_{рд}$ – количество рабочих дней в году;

Таблица 5.10. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, рабочие дни	Длительность, календарные дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания на НИР	7	10	01.09.2015	10.09.2015	руководитель
2	Анализ технического задания	7	10	11.09.2015	20.09.2015	исполнитель
3	Обзор литературы по теме исследования	31	42	21.09.2015	01.11.2015	исполнитель
4	Выбор структурной схемы устройства	3	5	02.11.2015	06.11.2015	исполнитель
5	Выбор принципиальной схемы устройства	14	20	07.11.2015	26.11.2015	исполнитель
6	Расчет принципиальной схемы устройства	10	14	27.11.2015	10.12.2015	исполнитель, руководитель
7	Разработка макета устройства	57	77	11.12.2015	25.02.2016	исполнитель
8	Проведение экспериментальных исследований	10	14	26.02.2016	10.03.2016	исполнитель,
9	Корректировка параметров принципиальной схемы	7	10	11.03.2016	20.03.2016	исполнитель, руководитель

	устройства					
10	Проведение экспериментальных исследований	47	64	21.03.2016	03.05.2016	исполнитель, руководитель
11	Оформление расчетно-пояснительной записки	29	39	04.05.2016	10.06.2016	исполнитель
12	Сдача разработки и отчета о работе	4	5	11.06.2016	15.06.2016	исполнитель, руководитель
Итого:		226	289			

5.3.2. Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

5.3.2.1. Сырье, материалы и покупные изделия.

Стоимость всех видов 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%). В том случае, если расходы, связанные с доставкой материальных ресурсов незначительны, то их можно опустить. Стоимость сырья, материалов, комплектующих изделий приведена в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Лампа ГМИ-27Б	1	30000	30000
Транзистор FDPF12N60NZ	1	100	100
Переменный резистор	6	100	600
Трансформатор	3	500	1500
Микроконтроллер	1	500	500
Канцелярские принадлежности	1	200	200
Всего за материалы			32900
Транспортно-заготовительные расходы (3%)			987
Итого по статье См			33887

5.3.2.2. Специальное оборудование для научных работ

К статье затрат на приобретение различного оборудования учитываются затраты на покупку и эксплуатацию специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов и устройств).

Поскольку при выполнении данного проекта использовалось оборудование, уже имеющееся в лаборатории, его стоимость будет учитываться в виде амортизационных отчислений.

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле:

$$C_A = \frac{\Phi_{\text{пер}} N_A}{100\%}$$

Где $\Phi_{\text{пер}}$ - первоначальная стоимость оборудования;

N_A - норма амортизации.

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$N_A = \frac{100\%}{T_{\text{сл}}}$$

Где $T_{\text{сл}}$ - срок службы оборудования, мес.

Таблица 5.13 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Фпер, тыс.руб.	Тсл, мес.	На, % в мес.	Са в месяц, тыс. руб	Период реализации, мес	Са за весь период, тыс.руб.
1.	Осциллограф	1	500	60	1,67	835	10	8350
2.	Высоковольтный щуп	1	200	48	2,08	416	10	4160
3	Токовое кольцо	1	200	48	2,08	416	10	4160
	Итого:							16670

5.3.2.3. Основная заработная плата

В данную статью включается заработная плата всех лиц, участвующих в выполнении проекта, а также премии доплаты и дополнительная заработная плата.

Зарботная плата определяется по формуле:

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

В свою очередь основная заработная плата рассчитывается как:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_{\text{раб}},$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (таблица 5.14).

Таблица 5.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	15	15
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	250	250

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} * k_{\text{р}}$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска). Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Зб, руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	Тр, раб.дн	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	23264,86	1,3	30244,318	1258,16	32	40261,12
Исполнитель	4365	1,3	5674,50	181,6	186	33777,6

5.3.2.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.

Данная статья включает выплаты, предусмотренные законодательством о труде, эти выплаты составляют 10-15% от суммы основной заработной платы персонала, занятого реализацией проекта:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}}$$

Где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб; $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 5.16 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.16– Заработная плата исполнителей НИИ

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зар. плата	40261,12	33777,6
Дополнительная зар. плата	6039,17	5066,64
Зар. плата исполнителя	46300,29	38844,24
Итого по статье Сзп	85144,53	

5.3.2.5. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп})$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

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

$$C_{внеб} = 0,3 * 85144,53 = 25543,36 \text{ руб}$$

5.3.2.6. Научные и производственные командировки

Данная статья расходов включает оплату командировок, связанных с выполнением проекта, в среднем эта сумма рассчитывается как 10% от основной и дополнительной заработных плат:

$$C_{ком} = k_{ком} * (Z_{осн} + Z_{доп}),$$

Где $k_{внеб}$ – коэффициент затрат на командировочные расходы.

$$C_{ком} = 0,1 * 85144,53 = 8514,453 \text{ руб}$$

5.3.2.7. Накладные расходы

Данная статья расходов включает затраты на хозяйственное обслуживание и управление, содержание, эксплуатацию и ремонт оборудования, а также инвентаря. Данные расходы рассчитываются как:

$$C_{накл} = k_{накл} * (Z_{осн} + Z_{доп})$$

Где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{накл} = 0,8 * 85144,53 = 68115,62 \text{ руб}$$

По отдельным статьям затрат вычисляется плановая себестоимость НИР (таблица 5.17)

Таблица 5.17 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Сырье, материалы, покупные изделия	33887
Специальное оборудование для научных работ	16670
Заработная плата	85144,53
Отчисления на социальные нужды	25543,36
Научно-производственные командировки	8514,453
Накладные расходы	68115,62
Итого себестоимость НИР	237875

5.3.3. Реестр рисков проекта

Реестр рисков проекта включает в себя события несущие негативные последствия для проекта. Информация о рисках представлена в таблице 5.18

Таблица 5.18 – Реестр рисков

	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска*	Способы смягчения	Условия наступления
1.	Прекращение бюджетного финансирования	Необходимость снижения затрат на доработку проекта	3	5	в	Поиск частных инвесторов	Ухудшение экономической обстановки в стране
2.	Не востребованность разработки со стороны потребителей	Длительная отсрочка реализации устройства	1	5	с	Изменение технических характеристик устройства	Ошибка в планировании проекта

3.	Устройство не прошло государственную сертификацию.	Длительная отсрочка реализации устройства	3	5	в	Доработка аппаратной части устройства	Недостаточная проработка аппаратной части устройства
----	--	---	---	---	---	---------------------------------------	--

5.4. Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где I_{Φ} – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

Где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i - весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p - бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен в форме таблицы 5.19.

Таблица 5.19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	На таситронном коммутаторе	На транзисторном коммутаторе
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4	5
3. Помехоустойчивость	0,15	5	4	5
4. Энергосбережение	0,10	3	4	5
5. Надежность	0,2	3	2	4
6. Материалоемкость	0,15	5	3	3
ИТОГО	1	26	21	26

$I_{\text{тп}} = 4.4$

Аналог 1=3.45

Аналог 2=4.25

Из таблицы 19 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов.

Таким образом, источник накачки для лазеров на парах металлов, с высокой частотой следования импульсов и короткими длительностями, является более ресурсоэффективным, ресурсосберегающим по отношению к аналогам.

Список публикаций:

1. Чертихина Д. С. , Мусоров И. С. Высокочастотный генератор наносекундных импульсов для накачки CuBr-лазера // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность". В 2 т., Томск, 26-30 Мая 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - Т. 1 - С. 393-396.
2. Чертихина Д. С. , Мусоров И. С. , Торгаев С. Н. Запускающий генератор наносекундных импульсов на лавинных транзисторах для накачки CuBr-лазера // Лазеры на парах металлов (ЛПМ - 2014): сборник трудов симпозиума, Верхнее Лоо, 22-26 Сентября 2014. - Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2014 - С. 90
3. Torgaev S. N. , Evtushenko G. S. , Musorov I. S. High pulse repetition frequency of metal vapor lasers // Atomic and Molecular Pulsed Lasers: Abstracts of 12th International Conference , Tomsk, September 14-18, 2015. - Tomsk: Publishing House of IOA SB RAS, 2015 - p. 31
4. Chertikhina D. S. , Musorov I. S. , Torgaev S. N. , Yaroslavtsev E. V. High Frequency Nanosecond Pulse Generator for CuBr-laser Pumping // 15th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM-2014): proceedings, Алтай, 30 June-4 July 2014. - Novosibirsk: NSTU, 2014 - p. 323-326
5. Gennadii Evtushenko, Maxim Trigub, Stanislav Torgaev, Ilya Musorov, Vitaly Drobchik, Anton Kulagin/ High PRF Metal Vapor Brightness Amplifiers: Research and Applications WSEAS/ transactions on systems and control (в печати)