

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



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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Устройство ограничения пускового тока для прибора коммутации питания УДК 621.316.91

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM41	Барило Алексей Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Огородников Д.Н.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заф. Каф. МЕН	Чистякова Н. О.	К.Э.Н		

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		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять глубокие специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в инновационной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной биомедицинской и экологической техники	Требования ФГОС (ОК-2, ОПК-2), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа и синтеза с использованием специальных знаний, современных аналитических методов и моделей	Требования ФГОС (ОПК-1, 3; ПК- 1 – 4), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Выбирать и использовать необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения инновационной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений	Требования ФГОС (ОК-9, ПК-10, 14, 18). Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.3, 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной биомедицинской и экологической техники конкурентоспособной на мировом рынке	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ПК-5 – 11, 14), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.3, 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением глубоких специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов в сложных и неопределенных условиях	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ОПК-5, ПК-1 – 4). Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнологических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.5, 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать глубокие знания в области проектного менеджмента для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-14, 15). Критерий 5 АИОР (п. 5.3.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем активно осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя команды, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении инновационных инженерных задач	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК-3; ПК-3, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности	Критерий 5 АИОР (п. 5.3.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Демонстрировать глубокие знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности	Критерий 5 АИОР (п. 5.3.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-2, 4; ОПК-4), Критерий 5 АИОР (п.5.3.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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 нанoeлектроника
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ПМЭ

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1AM41	Барило Алексею Евгеньевичу

Тема работы:

Устройство ограничения пускового тока для прибора коммутации питания
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	Номинальное напряжение питания – 50В Максимальное напряжение питания – 60В Минимальное напряжение питания – 25В Максимальный ток нагрузки – 15А Длительность заряда не более – 60мС Амплитуда ИКП не более -150В Длительность не более – 50мкС Нагрузка ёмкостная – 6000мкФ
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	• Обзор литературы • Выбор, обоснование и расчет принципиальной схемы • Моделирование принципиальной схемы в программе OrCAD • Исследование макета • Финансовый менеджмент • Социальная ответственность
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схема электрическая принципиальная

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Чистякова Н. О.
Социальная ответственность	Анищенко Ю.В.
Иностранный язык	Мыльникова Т.С.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Ведение	
Обзор литературы	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Огородников Д.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ41	Барило Алексей Евгеньевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 82 с., 23 рис., 8 табл., 24 источников, 3 прил.

Ключевые слова: ограничение, пусковой ток, заряд емкости, импульсные коммутационные перенапряжения.

Объектом исследования ограничитель пускового тока.

Цель работы – разработка устройства ограничения пускового тока для прибора коммутации питания.

В процессе исследования проводились работы по разработке устройства ограничения пускового тока для прибора коммутации питания

В результате исследования произведено описание процесса функционирования устройства ограничения пускового тока, настройки, работы устройства с изменением различных параметров, таких как напряжение питания и емкость конденсатора нагрузки.

Оглавление

Введение.....	6
1. Обзор литературы.....	9
2. Выбор, обоснование и расчет принципиальной схемы.....	18
2.1. Функциональная схема.....	18
2.2. Блок управления транзистором.....	20
2.3. Расчет силовых элементов.....	23
3. Моделирование принципиальной схемы в программе OrCAD.....	25
3.1. Исследование работы схемы.....	25
3.2. Исследование схемы при изменении параметров.....	35
4. Исследование макета.....	40
4.1. Исследование работы схемы.....	40
4.2. Исследование схемы при изменении параметров.....	45
5. Результаты.....	49
6. Финансовый менеджмент.....	51
7. Социальная ответственность.....	68
Заключение.....	78
Список публикаций.....	79
Список использованных источников.....	80
Приложение А	
Приложение Б	

Введение

Необходимо создать устройство ограничения пускового тока, которое будет использоваться как одна ячейка в устройстве для коммутации питания, таких ячеек предполагается по 2 на каждый коммутатор питания, коммутаторов питания, в свою очередь – девять, объединённых в единое устройство. Разрабатываемый ограничитель тока предназначен для оборонной промышленности России.

Основной проблемой таких систем является импульсные коммутационный перенапряжения (ИКП). Импульсное перенапряжение – это кратковременное напряжение длительностью от единиц наносекунд до десятков микросекунд, максимальное значение которого многократно превышает значение номинального напряжения электрической сети или линии связи. Импульсные перенапряжения носят вероятностный характер, их параметры определяются источниками возникновения и электрическими свойствами проводников, в которых они возникают.

Причины возникновения коммутационных перенапряжений:

- включение и отключение потребителей электроэнергии (электродвигатели, лампы накаливания и дневного света, компьютеры и др. аппаратура);
- включение и отключение цепей с большой индуктивностью (трансформаторы, пускатели и т. д.);
- аварийные короткие замыкания в сети низкого напряжения и их последующее отключение защитными устройствами;
- аварийные короткие замыкания в сети высокого напряжения и их последующее отключение защитными устройствами.

Перенапряжения нарушают работу оборудования и вызывают электромагнитное излучение. Более того, продолжительное перенапряжение вызывает всплеск энергии в электрических цепях, который может повредить оборудование. []

При разработке частотных преобразователей, драйверов управления электродвигателями, мощных выпрямителей и т.д. возникает проблема с ограничением зарядного тока сглаживающего конденсатора большой емкости, установленного на выходе сетевого выпрямителя или на шинах питания инвертора. Зачастую разработчиком этап заряда ёмкости фильтра недооценивается или попросту игнорируется. Причина такого отношения в устойчивости диодов и тиристоров к ударным токам, возникающим при заряде ёмкости. Частично, такой подход оправдан; даже диоды на несколько десятков ампер совершенно безболезненно переносят токи возникающие, например, при заряде конденсатора 470 мкФ непосредственно от сети 220 В. Но, тем не менее, рано или поздно такой преобразователь выйдет из строя: большие токи заряда неизбежно приводят к деградации конденсаторов и к разрушению диодов. Таким образом, не использование специальных средств ограничения зарядного тока может привести к выходу из строя элементов входных цепей, что, в свою очередь, практически наверняка влечёт за собой выход из строя всех силовых цепей преобразователя. В связи с этим и тем что, в нашем случае накладываться особые требования надежности к военной технике, вопрос о ограничении пускового тока стоит остро. []

1. Обзор литературы

Решению задачи ограничения зарядного тока посвящено немало работ, в которых описаны устройства так называемого «мягкого включения». В этом обилии схемных решений бывает трудно выбрать то, которое оптимально подходит для решения поставленной задачи.

Пусковой ток — это пиковый ток, возникающий в цепях источника питания при включении.

При разработке частотных преобразователей, драйверов управления электродвигателями, мощных выпрямителей и т.д. возникает проблема с ограничением зарядного тока сглаживающего конденсатора большой емкости, установленного на выходе сетевого выпрямителя или на шинах питания инвертора. Зачастую разработчиком этап заряда ёмкости фильтра недооценивается или попросту игнорируется. Причина такого отношения в устойчивости диодов и тиристоров к ударным токам, возникающим при заряде ёмкости. Частично, такой подход оправдан; даже диоды на несколько десятков Ампер совершенно безболезненно переносят токи возникающие, например, при заряде конденсатора 470 мкФ непосредственно от сети 220 В. Но тем не менее, рано или поздно такой преобразователь выйдет из строя: большие токи заряда неизбежно приводят к деградации конденсаторов и к разрушению диодов. Таким образом, не использование специальных средств ограничения зарядного тока может привести к выходу из строя элементов входных цепей, что, в свою очередь, практически наверняка влечёт за собой выход из строя всех силовых цепей преобразователя. В связи с этим и тем что, в нашем случае накладываться особые требования надежности к военной технике, вопрос о ограничении пускового тока стоит остро. []

В сущности, все методы «мягкого включения» сводятся к нескольким основным вариантам, а именно: заряд с помощью зарядного резистора, заряд с помощью термистора, заряд с помощью транзисторов и

заряд с помощью тиристоров. Все они имеют множество схемных вариаций и довольно широко используются на практике.

Заряд с помощью зарядного резистора.

Структурная схема такого способа изображена на рисунке 1.1.

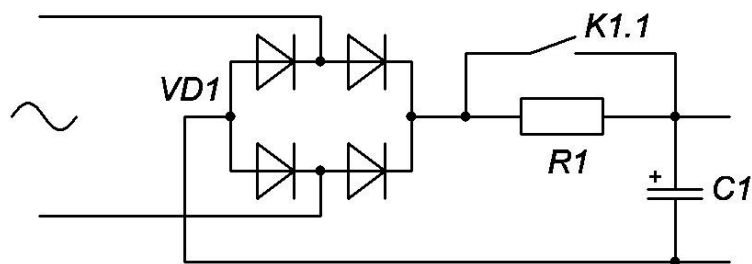


Рисунок 1.1. Структурная схема заряда с помощью зарядного резистора

При включении контакт реле K1.1 разомкнут и зарядный ток ограничивается резистором R1. По истечении определенного времени и/или по достижению напряжения на конденсаторе определённого порога замыкается контакт реле K1.1 шунтируя резистор R1. Существуют и более сложные вариации данной схемы: используется резистивная матрица и поочерёдно подключаются резисторы, таким образом можно зарядить большую ёмкость за относительно малое время с сохранением приемлемого среднего тока заряда. Однако, данный способ не нашёл широкого применения, т.к. его минусами является относительная сложность и большие габариты, а таких задач, где требуется быстрый заряд конденсатора большой ёмкости не так много. []

Заряд с помощью зарядного резистора, пожалуй, наиболее распространённый способ «мягкого включения». Популярность этого метода объясняется простотой и дешевизной реализации, очень высокой надёжностью (при правильно подобранной мощности резистора даже при КЗ в нагрузке схема из строя не выйдет), применимостью как в цепях

переменного, так и в цепях постоянного тока. Но имеются у данного метода и свои минусы. Основные из них следующие:

1. Даже при не включенном реле нагрузка находится под напряжением (через резистор). Чтобы обесточить нагрузку необходимо ставить дополнительное реле либо в силовой цепи, либо в цепи резистора, что, в свою очередь, значительно усложняет схему.

2. Резистор подбирается один раз под конкретную активную и емкостную нагрузку, если нагрузка изменяется, то при отсутствии соответствующих защит схема может выйти из строя. Например, не была отключена нагрузка, напряжение на нагрузке через 1 с достигло не 300В, а 5 В, включилось реле, далее большой ток заряд и выход из строя.

3. Если реле включается по пороговому напряжению на конденсаторе, то данная схема неустойчива к провалам напряжения на нагрузке, возникающих, например, при запуске двигателя от маломощной сети: напряжение просядет, реле отключится и питание нагрузки будет осуществляться через зарядный резистор, от чего он, вероятнее всего, сгорит.

Разумеется, все эти недостатки не так сложно обойти, установив дополнительное реле, схемы перезапуска, схемы контроля напряжений на входе и выходе резистора и т.д. Но тогда такой метод лишается основных преимуществ – простоты и дешевизны.

Таким образом, данный способ плавного заряда целесообразно использовать в схемах со стабильной нагрузкой и стабильным напряжением питания. В том случае, если используется сложная схема управления, зарядный резистор, имеет смысл, использовать при заряде очень больших емкостей в десятки и сотни тысяч мкФ, когда даже тиристоры могут выйти из строя, например, при недопустимо больших значениях di/dt . Если же требуется работа устройства заряда в различных режимах нагрузки и питания, то данный метод использовать

нецелесообразно; конечная схема будет сложнее, чем схема управления, тем же зарядным транзистором.

Заряд с помощью зарядного термистора.

Структурная схема заряда с помощью термистора изображена на рисунке 1.2.

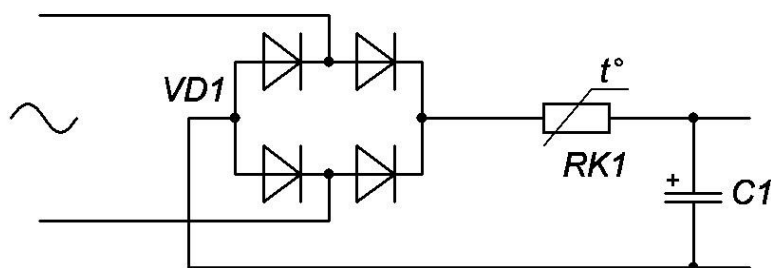


Рисунок 1.2. Структурная схема заряда с помощью термистора

При включении термистор RK1 обладает большим сопротивлением, ограничивая зарядный ток конденсатора C1. По мере разогрева сопротивление термистора уменьшается, в результате этого на нем уменьшается падение напряжения и уменьшается выделяемая мощность. В итоге, выход выпрямителя и нагрузка соединяются почти накоротко. []

Данный способ очень прост, надёжен, не требует никаких дополнительных схем, однако в мощных преобразователях он не нашёл широкого применения по следующим причинам:

1. Как и в предыдущем случае, без дополнительного реле нагрузка будет находиться под напряжением. Схема крайне плохо «переваривает» смену нагрузки. Например, на холостом ходу двигатель потребляет 1А, а под нагрузкой 10А. Если термистор выбран на минимальное сопротивление при 10А, то на 1А длительного тока его

сопротивление будет недопустимо высоко, а если на 1А, то на 10А он может сгореть.

2. Остаточное сопротивление термистора даже после разогрева оказывается недопустимо высоким при работе на большую нагрузку, что, во-первых, приводит к существенным тепловым потерям на самом термисторе, а во-вторых, ограничивает ток нагрузки, что может оказаться неприемлемым, например, если требуется запуск двигателя при сохранении номинального пускового момента.

Метод заряда с помощью термистора оптимален для преобразователей мощностью не более сотен Ватт; для более «серьёзных» преобразователей потери на термисторе оказываются слишком большими и, плюс к этому, недопустимо снижается надёжность устройства в целом.

Указанные методы, если не применять дополнительных схем, являются пассивными способами плавного заряда конденсаторов; далее речь пойдёт о заряде с помощью активных элементов: транзисторов и тиристоров.

Заряд с помощью транзисторов

Структурная схема этого способа показана на рисунок 1.3.

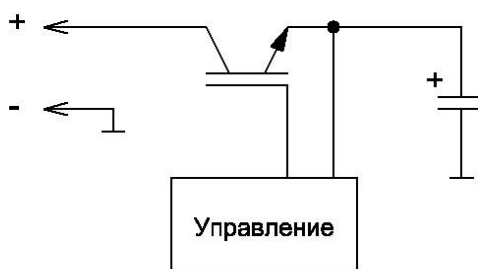


Рисунок 1.3. Структурная схема заряда с помощью зарядного транзистора

В зависимости от управления, для этой схемы существуют два основных режима: статический и динамический. Статический режим подразумевает работу транзистора на активном участке его ВАХ, таким образом, что сопротивление его канала оказывается достаточно большим,

чтобы ограничить ток заряда. Фактически, в таком режиме транзистор используется как переменный резистор. Такое управление используется не часто в виду больших тепловых потерь на кристалле транзистора в процессе заряда, изменении параметров транзистора, в частности, при изменении температуры и, в конечном итоге, из-за низкой надёжности такого способа в целом. Другой режим – динамический: накачка ёмкости кратковременными импульсами. Такой способ плавного заряда гораздо более. []

Достоинства заряда ёмкости указанным способом следующие:

1. Возможность работы от постоянного напряжения питания;
2. Не критичность к напряжению питания и к ёмкостному сопротивлению нагрузки;
3. Возможность реализации защиты нагрузки от КЗ в том числе и кратковременного;
4. Малые габариты в сравнении с резистивным (а тем более резистивно-транзисторном) способе заряда;
5. При закрытом транзисторе нагрузка не находится под напряжением.

Но есть у этой схемы и недостатки:

1. Относительно меньшая устойчивость к броскам тока в сравнении с тиристорами и тем более резисторами;
2. Длительный заряд больших емкостей (в течении секунд и даже десятков секунд), что обусловлено ОБР транзистора: т.к. скважность сигнала велика, эквивалентное сопротивление цепи заряда тоже велико, если же скважность уменьшить, то вероятность перегрева транзистора (и его выход из строя) может оказаться неприемлемо высока. Таким образом, применять такую схему для емкостей более нескольких тысяч мкФ нецелесообразно.
3. Сложность схемы управления, необходимость гальванической развязки цепей управления от цепей затвор-эмиттер транзистора.

Тем не менее, данный способ подкупает своею универсальностью, надёжностью работы в связке с транзисторным инвертором и способностью работать как на переменном, так и постоянном питающем напряжении. Фактически, данный способ является оптимальным для создания надёжных систем с непостоянными параметрами питания и нагрузки для мощностей от кВт до нескольких десятков кВт, если, конечно, габариты схемы управления позволяют создать адекватный алгоритм работы такого рода накачки ёмкости.

Заряд с помощью тиристоров.

Пожалуй, наиболее распространённый способ заряда в сетях переменного тока. Пример схемной реализации такого способа приведён на рисунке 1.4. []

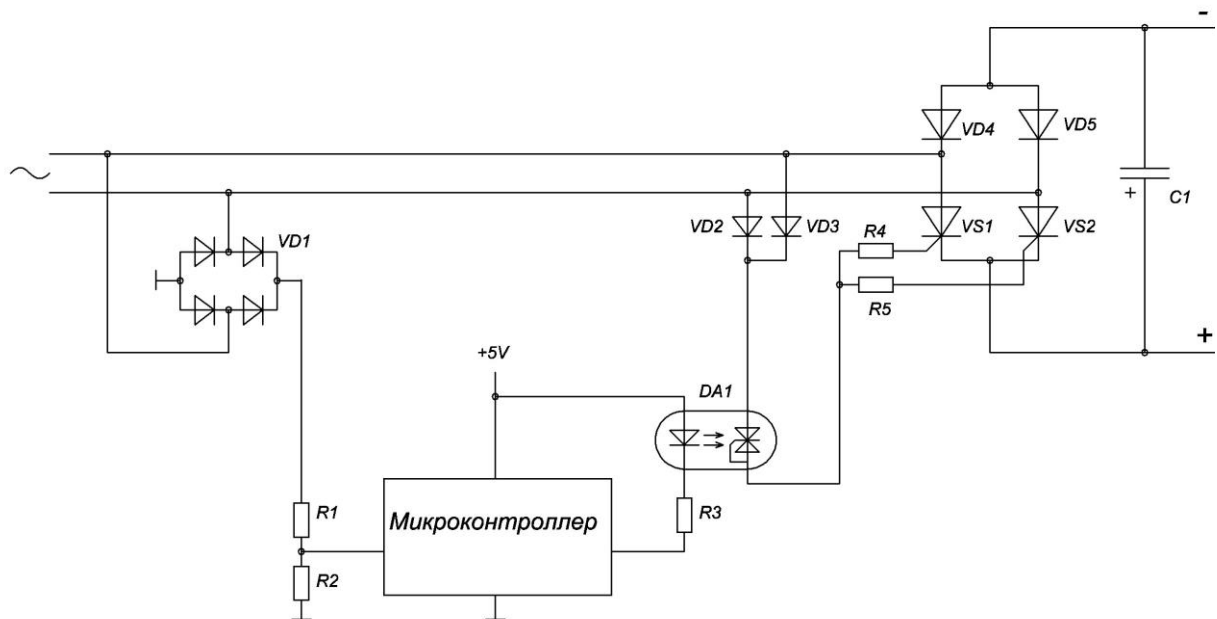


Рисунок 1.4. Схема заряда ёмкости с помощью тиристоров

Данная схема применена в устройстве плавного заряда ёмкости фильтра приборов типа М31 («Электрум АВ»).

Преимущества следующие:

1. Относительная простота реализации (в сравнении со схемой управления для транзистора), не требуется гальванической развязки, преобразователя питания и т.д.
2. Относительно меньшая критичность к изменению напряжения питания (минимальный порог обусловлен делителем на резисторах R1, R2);
3. Устойчивость к изменению нагрузки, к импульсным токам большой амплитуды;
4. Малые габариты, т.к. не требуется дополнительных устройств, помимо собственно выпрямительного моста.

Недостатки:

1. Возможность работы только от сети переменного напряжения;
2. Невозможность реализации быстрой защиты нагрузки от КЗ: например, для выхода из строя транзистора инвертора достаточно нескольких десятков мкс, в то время как тиристоры не закроются ранее, чем закончатся соответствующие полуволны, а это десятки мс.

В целом же, плавный заряд ёмкости на тиристорах в цепях переменного тока обладает явными преимуществами по части габаритов в сравнении с резистором, простотой в сравнении с транзистором и возможностью работы практически при любых мощностях. Применение же микроконтроллера в такой схеме ещё больше упрощает реализацию схемы управления. []

В итоге, можно составить таблицу (таблица 1.1) выбора способа заряда ёмкости.

Таблица 1.1. Выбор способов заряда ёмкости нагрузки

	Резистор	Термистор	Транзистор	Тиристор
Работоспособность на постоянном напряжении источника	+	+	+	-

Работоспособность при изменении напряжения питания и/или нагрузки	-	-	+	+
Работоспособность на больших мощностях	+	-	$\pm$	+
Отсутствие питания нагрузки в выключенном режиме	-	-	+	+
Простота схемы управления	+	+	-	$\pm$

Таким образом, зная требования к системе и исходя из предложенной таблицы, можно определиться с выбором оптимальной схемы «мягкого включения».

В отечественной литературе, как и в зарубежной, представлено большое количество схемных решений для ограничения пускового тока направленных в основном на небольшие токи, в основе которых лежат либо резисторы, либо термисторы. Для больших токов чаще всего предлагается использовать готовые модули, такие как TSG 2,2 230VAC, ESB101 или ESG 3, но главной проблемой таких блоков является то, что область их применения рассчитана на бытовое использование или промышленные установки. Также одним из недостатков, исходя из того, что разрабатываемое устройство будет использоваться в военной технике, является использование промышленной элементной базы, рабочее напряжение от 220В и больше, а также недостаточная степень надежности.

Область применения в военной технике накладывает особые требования к надежности, входным параметрам, элементной базе, что абсолютно исключает использование ограничителей тока представленных на рынке.

6.1 Пред проектный анализ

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

Проектируемое устройство ограничения пускового тока рассчитано на применение в высококачественных источниках питания для военной техники. За счет универсальности схемы проектируемое устройство может использоваться так же в гражданских высококачественных источниках питания. Еще одна область применения, это использование как часть устройства управления различными электродвигателями, которые могут использоваться как в быту, так и на крупных производствах.

Заказчиком данного устройства является АО «НПЦ Полюс», следовательно, основным потребителем будет являться военно-промышленный комплекс. Исходя из данных, представленных на карте сегментирования рынка производства и использования ограничителей пускового тока, можно сделать вывод, что также с потребителями могут являться научно-исследовательские центры, промышленные предприятия.

Таблица 6.1 – Карта сегментирования рынка

	Для чего используется		
	Высококачественные источники питания Военного назначения	Высококачественные источники питания Гражданского назначения	Устройства управления Электро-двигателями
Научно – исследовательские центры			
Промышленные предприятия			
Физические лица			
Военно-промышленный комплекс			

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

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Поскольку рынок пребывает в постоянном движении, необходимо систематически производить детальный анализ конкурирующих разработок. Проведение анализа помогает вносить коррективы в научное исследование для успешного противостояния конкурентным разработкам. 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 (таблица 6.2). 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 6.2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Наиболее конкурентными разработками для источника питания на последовательном резонансном инверторе являются: тиристорные ограничители пускового тока, пассивные ограничители тока.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (6.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений(разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,04	5	3	3	0,2	0,12	0,12
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. Энергопотребление	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27

5. Надежность	0,09	5	2	3	0,45	0,18	0,27
6. Уровень шума	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
7. Безопасность	0,08	5	3	3	0,4	0,24	0,24
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
9. Простота эксплуатации	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,02	3	4	3	0,06	0,08	0,06
11.Массогабаритные параметры устройства	0,02	2	3	3	0,04	0,06	0,06
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	3	4	3	0,12	0,16	0,12
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
5. Послепродажное обслуживание	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
6. Срок выхода на рынок	0,02	2	3	3	0,04	0,06	0,06
7. Наличие сертификации разработки	0,09	2	5	5	0,18	0,45	0,45
Итого	1	68	65	58	4,01	3,66	3,37

Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод, что Устройство ограничения пускового тока, на данном этапе недостаточно конкурентоспособен, так как имеются недоработки в экономической части проекта. Разрабатываемый проект является перспективным, поскольку главными его преимуществами являются простота, малое энергопотребление, а также функция защиты от импульсных коммутационных перенапряжений.

6.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

При разработке оборудования полезно оценивать степень его готовности к коммерциализации и выявить возможность ее самостоятельного проведения или завершения. Для проведения оценки необходимо заполнить специальную форму оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации. В таблице 6.3 представлен перечень вопросов, по которым необходимо произвести оценку.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации определяется по формуле;

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (6.2)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Таблица 6.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3.Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынок	2	2
4.Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	2
5.Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	1

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	1
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	27	26

На основе данных, представленных в таблице 6.3, можно говорить о том, что проект не готов к коммерциализации, так как имеет ряд недоработок, устраняемых научной группой.

6.2 Инициация проекта

6.2.1 Цели и результаты проекта

В таблице 6.4 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 6.4 – 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 применения разработки в производстве

В таблице 6.5 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 6.5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка, создание и исследование устройства ограничения пускового тока для прибора коммутации питания
Ожидаемые результаты проекта:	Получение готового устройства ограничения пускового тока для прибора коммутации питания
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособное устройство, технические характеристики которого соответствуют техническому заданию
Требования к результату проекта:	Требования:
	Ограничения тока заряда емкостей порядка 6000 мкФ
	Ток заряда 12А
	Время заряда не более 60мС
	Защита от импульсных коммутационных перенапряжений

6.2.2 Организационная структура проекта

В таблице 6.6 приведена информация о рабочей группе проекта, ролях, функциях и трудозатратах каждого.

Таблица 6.6 – Рабочая группа проекта

Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, день
1. Научный руководитель	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта в области электроники, проведение экспериментов с макетом разработки, участие в обсуждениях по результатам работы	20
2. Инженер	Обзор литературы о схемотехнических решениях резонансных инверторов, оценка их недостатков и преимуществ, исследование моделей схем резонансных инверторов, разработка и сборка макета устройства, проведение экспериментов на макете, участие в обсуждениях по результатам работы	75
ИТОГО:	75	

6.2.3 Ограничения и допущения проекта

Данные об ограничениях и допущениях проекта представлены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
1. Бюджет проекта	50000 р.
1.1. Источник финансирования	АО «НПЦ Полюс»
2. Сроки проекта	01.03.2015-17.06.2016
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.03.2016
2.2. Дата завершения проекта	17.06.2016
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

6.3 Планирование управления научно-техническим проектом

6.3.1 План проекта

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

Планирование этапов работ по выполнению НИР включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ. В таблице 6.8 приведены основные этапы и содержание работ с распределением ответственных исполнителей.

Целесообразно применять линейное планирование с построением диаграммы Ганта, представленной в таблице 6.9. График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 6.8 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Вид работы	Исполнители	Период работы научного руководителя		Период работы инженера	
			Начало, дата	Длительность, дни	Начало, дата	Длительность, дни
1	Постановка задачи	НР	01.01.2016	1	-	-
2	Анализ технического задания (ТЗ)	НР, И	02.03.2016	1	02.03.2016	3
3	Подбор и изучение литературы по теме исследования	И	-	-	05.03.2016	10
4	Разработка методики исследований	И	-	-	15.03.2016	3
5	Проектирование и расчет схемы	И	-	-	18.03.2016	8
6	Исследование схемы ограничителя пускового тока в программе PSpice	И	-	-	25.03.2016	3
7	Сборка одного модуля ограничителя пускового тока	НР, И	10.04.2016	3	28.03.2016	12
8	Проведение экспериментов и исследование модуля, его доработка	НР, И	13.04.2016	1	13.04.2016	1
9	Дальнейшая сборка прибора и его испытание	НР, И	14.05.2016	10	14.04.2016	41
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	-	-	25.05.2016	10
11	Сдача разработки и отчета о работе	НР, И	04.06.2016	11	04.06.2016	11

В таблице 6.9, которая представляет собой диаграмму Ганта, приведена длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 6.9. – Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе

Этап	НР	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	1	-											
2	1	3	 										
3	-	10											
4	-	3											
5	-	8											
6	-	3											
7	3	12											
8	1	1					 						
9	10	41											
10	-	10											
11	11	11										 	

6.3.2 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%). В том случае, если расходы, связанные с доставкой материальных ресурсов незначительны, то их можно опустить. Стоимость сырья, материалов, специального оборудования, комплектующих изделий приведена в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Принтер	1	1500	1500
Электронные компоненты	1	10000	10000
Расходные материалы	1	1000	1000
Печатная бумага	1	250	250
Канцелярские товары	1	100	100
Осциллограф	1	25000	25000
Источник питания	1	1000	1000
Мультиметр	2	2000	4000
Персональный компьютер	1	15000	15000
Паяльная станция	1	1500	1500
Всего за материалы			86078
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			3443,12
Итого по статье С _м			89521,12

Основная заработная плата

В статью включается основная заработная плата работников, непосредственно участвующих в выполнении работ. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, включая премии, доплаты и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6.3)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (6.4)$$

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:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}, \quad (6.5)$$

Где Z_M – 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_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней.

Таблица 6.11 – 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:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (6.6)$$

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

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.12.

Таблица 6.12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{б}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб.дн.	$З_{\text{осн}}$, 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:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (6.7)$$

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

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

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

В таблице 6.13 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 6.13 – 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 $C_{\text{зп}}$	58752,4	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (6.8)$$

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:

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

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 6.14).

Таблица 6.14 – 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

6.4 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:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (6.10)$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (6.11)$$

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 6.15

Таблица 6.15– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1.Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	3	3
2.Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	3	4
3.Помехоустойчивость	0,2	4	4	3
4.Энергопотребление	0,15	4	4	5
5.Надежность	0,3	5	4	3
6.Материалоемкость	0,1	2	3	5
ИТОГО	1	26	21	23

$I_{тп}=4,25$; Аналог 1=2,57; Аналог 2=3,65

Из таблицы 6.16 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов. Таким образом, устройство ограничения пускового тока является более ресурсоэффективной разработкой, относительно аналогов.