

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

Институт Неразрушающего Контроля
Направление подготовки – Биотехнические системы и технологии
Кафедра промышленной и медицинской электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Мостовой преобразователь для системы автономного питания медицинской аппаратуры

УДК 621.314.5:616-79:621.311.61

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ДМ51	Киселёва Екатерина Ивановна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ПМЭ ИНК	Аристов А.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Баннова К.А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Цели основной образовательной программы

12.04.04 – «Биотехнические системы и технологии»

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
Ц1	Подготовка выпускников к научным исследованиям для решения задач, связанных с разработкой технологий и средств, предназначенных для медицинского приборостроения	Требования ФГОС ВПО. Потребности научно-исследовательских центров РАН и РАМН (СО РАМН, СО РАН), Роснауки, ОАО «ЭлеСи», ОАО «Медтехника», «Диагностика+», «МедКонтрастСинтез», ЗАО НПО «НИКОР» и др.
Ц2	Подготовка выпускников к проектно-конструкторской и производственно-технологической деятельности в области создания медицинских приборных комплексов, конкурентоспособных на мировом рынке медицинского приборостроения.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий медицинского приборостроения России (ОАО «ЭлеСи», ОАО «Медтехника», НКПФ «Медиком», ООО «Нейрософт»), Германии (Söring, Siemens, Roche) и других стран Европы, Азии и Америки.
Ц3	Подготовка выпускников к организационно-управленческой деятельности при выполнении междисциплинарных проектов в профессиональной области.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных, транснациональных и зарубежных работодателей
Ц4	Подготовка выпускников к научно-педагогической деятельности в образовательных организациях среднего профессионального и высшего образования по учебным дисциплинам предметной области данного направления	Требования ФГОС ВПО. Потребности российских ВУЗов, и образовательных организаций, осуществляющих подготовку и переподготовку специалистов по данному направлению
Ц5	Подготовка выпускников к самостоятельному обучению и непрерывному профессиональному самосовершенствованию.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных, транснациональных и зарубежных работодателей.

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии»
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Ф.А. Губарев
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ДМ51	Киселёвой Екатерине Ивановне

Тема работы:

Мостовой преобразователь для системы автономного питания медицинской аппаратуры	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 2943/с от 15.04.16

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>Блок для электропитания нагрузки постоянного напряжения при постоянном входном напряжении источника питания. Напряжение питающей батареи $U_{АБ}$ - 100 В</p> <p>Напряжение выходного U (постоянное) - 100 В</p> <p>Частота преобразования - 41-100 кГц</p> <p>питание от АБ;</p> <p>схема силового инвертора – мостовая;</p> <p>Мощность нагрузки - 1000 Вт</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Теоретические сведения о существующих источниках бесперебойного питания и видов преобразователей. Выполнить моделирование схем и сравнить их свойства и характеристики.</p> <p>Произвести расчет трансформатора и расчет Г-образного LC-фильтра.</p> <p>В качестве дополнительных разделов: -социальная ответственность; -финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</p>
<p>Перечень графического материала</p>	<p>Презентация в PowerPoint</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Баннова Кристина Алексеевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Ермакова Янина Викторовна</p>
<p></p>	<p></p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Литературный обзор</p>	
<p></p>	
<p></p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p></p>
--	---------

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент каф. ПМЭ ИНК</p>	<p>Аристов Александр Александрович</p>	<p>к.т.н.</p>	<p></p>	<p></p>

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>1ДМ51</p>	<p>Киселёва Екатерина Ивановна</p>	<p></p>	<p></p>

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 108 страниц, 23 рисунка, 20 таблиц, 26 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: моделирование мостового преобразователя, расчет трансформатора, расчет фильтров, анализ переходных процессов.

Объектом исследования является: мостовой резонансный преобразователь с синхронным выпрямителем.

Цель работы – разработка блока для электропитания нагрузки постоянного напряжения при постоянном входном напряжении источника питания, где нагрузка имеет мощность порядка 1000 Вт.

В процессе исследования проводились расчет трансформатора и расчет Г-образного LC-фильтра, моделирование моделей мостового преобразователя

В результате исследования было выявлено, что мостовой резонансный преобразователь с синхронным выпрямителем имеет большее КПД, чем остальные модели мостовых преобразователей

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:

- напряжение питающей батареи U_{AB} - 100 В;
- напряжение выходного U (постоянное) - 100 В;
- частота преобразования - 41-100 кГц;
- схема силового инвертора – мостовая;
- мощность нагрузки - 1000 В;

Степень внедрения: модель, смоделированная в программе Multisim

Область применения: медицинские учреждения

Экономическая эффективность/значимость работы увеличение коэффициента полезного действия и массоэнергетических характеристик.

В будущем планируется дальнейшее усовершенствование параметров и характеристик мостового преобразователя, создание макета

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В работе использованы следующие обозначения и сокращения:

ИБП – источник бесперебойного питания

УЗО – устройства защитного отключения

ИП – источник питания

БП – блок питания

ИРП – источник резервного питания

ПН – преобразователь напряжения

ПРУ- преобразователь разрядного устройства

ДТ – датчик тока

ВИП – вторичный источник питания

СУ – система управления

ПНРУ – преобразователь напряжения разрядного устройства

СЭ – силовые элементы

ОС – обратная связь

КПД – коэффициент полезного действия

ЗСНН – система защитного сверхнизкого напряжения

БСНН – система безопасного сверхнизкого напряжения

ПК – персональный компьютер

ПН1 – преобразователь напряжения первый

ПН2 – преобразователь напряжения второй

ТТЛ – транзисторно-транзисторная логика

ИИП – импульсный источник питания

АБ – аккумуляторная батарея

ИПН – импульсные преобразователи напряжения

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина

ТБО – твердые бытовые отходы

ОТ – охрана труда

Оглавление

Введение.....	10
1 Обзор литературы	11
1.1 Классификация медицинских помещений.....	12
1.2 Источники электроснабжения	16
1.3 Источники питания	20
2 Преобразователи с трансформаторной развязкой	32
Структурная схема	40
3 Мостовой преобразователь	43
4 Расчеты	54
4.1 Расчет трансформатора	54
4.2 Расчет Г-образного LC- фильтра.....	59
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	62
6 Социальная ответственность	85
Заключение	103
Публикации.....	104
Список использованных источников	105
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	109

Введение

Различные электронные устройства давно и прочно вошли в нашу жизнь. Приборы самой широкой сферы применения и степени сложности выводят нашу жизнь на совершенно новый уровень комфорта и возможностей. Однако для того, чтобы какое-либо оборудование функционировало, оно должно иметь доступ к электроэнергии. Для этого необходимы источники питания – устройства, отвечающие за подачу электропитания. Источники питания давно стали необходимо частью нашей жизни. Они востребованы как в промышленной сфере, так и бытовой, ведь именно на электричестве работает большая часть используемых человеком приборов. Безусловно, блоки питания, равно как и источники бесперебойного питания, являются одним из важнейших изобретений в истории человечества, решают многие проблемы, связанные с подачей электроэнергии. Важно при проектировании устройств помнить о надёжности разрабатываемого устройства и его выходных характеристиках, которые в свою очередь определяются характеристиками блока питания.

Целью данной работы является разработка блока для электропитания нагрузки постоянного напряжения при постоянном входном напряжении источника питания, где нагрузка имеет мощность порядка 1000 Вт . Для осуществления этой цели перед нами стоит множество задач, таких как, выбор оптимальных параметров для электрической схемы, моделирование схем мостового преобразователя, получение характеристик разработанного источника питания, а также обработка полученных результатов. Но основной задачей является необходимость разработки высоконадежного источника бесперебойного питания с высокими удельными характеристиками. При разработке такого источника необходимо оценить качество электросети: вероятность и частоту отключения напряжения, наличие колебаний напряжения и различных помех.

1 Обзор литературы

Каждый год медицинская техника совершенствуется, а ее устройство становится сложнее и технологичнее. В основе современного медоборудования лежит точная электроника, и это обстоятельство требует наличия качественного и бесперебойного электроснабжения. В противном случае сбой в электропитании может не только стать причиной повреждения дорогостоящего оборудования, но и нанести непоправимый вред здоровью пациента и даже привести к его гибели. По этой причине в ходе строительства и реконструкции больниц особое место отводится обустройству системы бесперебойного электропитания для высокоточного медицинского оборудования.

Централизованная защита энергоснабжения лечебного учреждения, как правило, представляет собой трехфазную систему ИБП, оснащенную трансформаторным инвертором, который сглаживает пиковые потребления мощности. Дополнительная безопасность обеспечивается также благодаря наличию гальванической развязки выхода и входа в нормальном режиме.

Инвестиции в ИБП, несомненно, являются выгодным вложением денежных средств, поскольку в сравнении со стоимостью медоборудования — это гораздо меньшая сумма, а срок его эксплуатации при этом существенно увеличивается.

1.1 Классификация медицинских помещений

Классификация медицинских помещений по электробезопасности

Все медицинские помещения для целей электробезопасности разделяются по типу используемого медицинского оборудования и проводимых процедур:

Группа 0: Помещения, в которых не должны применяться медицинские аппараты с электрическими контактирующими частями.

Группа 1: Помещения, в которых контактирующие части будут применены наружно или внутренне, исключая случаи, относящихся к группе 2.

Группа 2: Помещения, в которых есть опасность микрошока для пациента при использовании медицинского аппарата с контактирующими частями при различных хирургических операциях. или когда сбой в электроснабжении представляет опасность для жизни пациента.

Классификация медицинских помещений по надежности электроснабжения

В таблице 1 мы видим пять классов безопасности, на которые подразделяются медицинские помещения группы 1 и 2 по допустимому времени перерыва электроснабжения.

Таблица 1 - Пять классов безопасности по допустимому времени перерыва электроснабжения

Класс безопасности	Характеристика переключения на резервный источник питания
Класс 0 (безобрывное переключение)	Автоматическое переключение на резервный источник без прерывания электроснабжения
Класс 0,15 (очень быстрое переключение)	Автоматическое переключение на резервный источник со временем переключения не более 0,15 с.
Класс 0,5 (быстрое переключение)	Автоматическое переключение на резервный источник со временем переключения не более 0,5 с.
Класс 15 (среднее время переключения)	Автоматическое переключение на резервный источник со временем переключения не более 15 с.
Класс > 15 (большое время переключения)	Автоматическое переключение на резервный источник со временем переключения более 15 с.

Надежность снабжения энергией систем противопожарной безопасности не может быть ниже надежности основного технологического оборудования, это должно быть учтено при построении схемы электроснабжения. [11]

Потребители энергии в медицинских организациях, по степени надежности электроснабжения, подразделяются на следующие категории:

«Особая» группа I категории, класса 0, с безотрывным переключением.

- медицинское электрооборудование, которое относится к системе обеспечения безопасности, при прерывании электроснабжения, представляет опасность для жизни пациента;

- аварийное освещение, которое предназначено для продолжения работ в помещениях группы 2.

«Особая» группа I категории, класса 0,5, с автоматическим переключением на резервный источник, со временем переключения не более 0,5 с.

- система оповещения и связи;
- аварийное (эвакуационное) освещение;
- системы пожарной сигнализации.
- системы автоматизации и диспетчеризации здания;

«Особая» группа I категории, Класса >15, с автоматическим переключением на резервный источник, со временем переключения более 15 с.

- лифты для передвижения пожарных подразделений;
- медицинское холодильное оборудование;
- оборудование для подачи медицинских газов;
- медицинское оборудование, обесточивание которого вызывает его поломку или аварию;

- лифты для эвакуации и транспортирования тяжелобольных;
- вентиляционные системы противодымной защиты и оборудование системы пожаротушения;

- вентиляционные системы, обслуживающие операционные блоки, палаты интенсивной терапии, реанимационные;

- аварийное (резервное) освещение.

Первая (I) категория – это когда происходит сбой электроснабжения, которое не представляет опасности для жизни пациента. Для электрооборудования помещений группы 1, которое не относится к системе обеспечения безопасности;

- лифты для посетителей и персонала.
- холодильное оборудование пищеблоков;
- ИТП, водоснабжение;

Вторая (II) категория – это все остальное электрооборудование.

Электропотребители медицинских организаций, где отсутствуют помещения группы 2, по степени надежности энергоснабжения, подразделяются на следующие категории:

Первая (I) категория, класса 0,5, с автоматическим переключением резервного источника, со временем переключения не более 0,5 с.

- лифты для эвакуации и транспортирования тяжелобольных;
- лифты для передвижения пожарных подразделений;
- электрооборудование помещений группы;
- аварийное освещение - система связи и оповещения;
- системы пожарной сигнализации;
- системы автоматизации и диспетчеризации здания;
- лифты для посетителей;
- вентиляционные системы противодымной защиты и оборудование системы пожаротушения;
- ИТП, водоснабжение;
- медицинское оборудование, обесточивание которого вызывает его поломку или аварию.

Вторая (II) категория, это где происходит ручное переключение на резервный источник.

- электрооборудование фельдшерско-акушерских пунктов (допускается применение, в качестве второго независимого источника автономного электрогенератора).

- все остальное электрооборудование.

К третьей (III) категории относится электрооборудование сельской врачебной амбулатории (офис врача общей практики).

1.2 Источники электроснабжения

Автономный электрогенератор, источник бесперебойного питания с аккумуляторными батареями (ИБП) и аккумуляторные батареи допускается применять в качестве третьего независимого источника. Для медицинских организаций с помещениями группы 2 обязательно наличие третьего независимого источника электроснабжения. [11]

Дополнительный автономный источник - это оборудование, которое обеспечивает требуемое время переключения на резервный источник (таблица1).

Для дополнительного автономного источника электроснабжения ИБП требуются следующие условия:

- должны использоваться ИБП с аккумуляторными батареями, рассчитанными на время работы и нужные для обеспечения гарантированного запуска и прогрева автономного электрогенератора или для завершения срочных лечебных процедур при отказе автономного электрогенератора, при использовании электропотребителей «особой» группы категории I (класса 0,5; 0,15 и 0).

- по плану на проектирование, для некоторых групп электропотребителей могут использоваться ИБП с аккумуляторными батареями, которые рассчитаны на время запуска и выведения двигателя

автономного электрогенератора в рабочее состояние, при использовании электропотребителей «особой» группы категории I (класса 15 и более).

Сохранять электропитание на время не менее 24 часов и начинать работу при понижении напряжения на одном из вводов распределительного устройства, который обслуживает помещения группы 2 на 10 % и более 3 секунд по времени должен третий независимый источник питания. Если специфика медицинской организации позволяет за это время закончить все необходимые процедуры и провести эвакуацию, то условие поддерживать электропитание в течение 24 часов можно уменьшить до минимального времени, равного 3 часам.

Задержка времени, которая достаточна для нормального срабатывания коммутационных аппаратов и предотвращения ложных срабатываний обязано происходить при переключении электропитания. [11]

Чтобы оповестить медицинский персонал операционных отделений, а также отделений интенсивной терапии и реанимации о том, что электроснабжение происходит от системы дополнительного автономного источника электроснабжения с ограниченным запасом времени (ИБП) должны быть предусмотрены оперативная громкоговорящая связь с диспетчерским пунктом. А также сигнализация о состоянии основного и аварийного источников питания, которая должна находиться под постоянным контролем медицинского персонала.

Требуемое число и конкретные места установки устройств контроля определяются заданием на проектирование.

Защитные меры электробезопасности.

Безопасные и заземленные системы сверхнизкого напряжения.

Если в медицинских помещениях групп 1 и 2 используется безопасная система сверхнизкого напряжения (БСНН) (SELV) или заземленная система сверхнизкого напряжения (ЗСНН) (PELV), то номинальное питающее напряжение электроприемников не может быть

больше 25 В переменного тока (среднеквадратичное значение) или 60 В постоянного тока (без пульсаций). А когда используются системы БСНН или ЗСНН, то защита посредством изоляции токоведущих частей и посредством ограждений или оболочек, в соответствии с ГОСТ Р 50571.3, является обязательной.

Так как в медицинских помещениях группы 2 есть открытые проводящие части оборудования (например, лампы в операционных помещениях), то они должны быть подключены к проводнику уравнивания потенциалов.

Защитой от прямого прикосновения может быть только защита посредством изоляции токоведущих частей. А защита с применением барьеров и путем размещения вне зоны досягаемости запрещается.

Защита от косвенного прикосновения основывается на автоматическом отключении питания, а значит, в медицинских помещениях групп 1 и 2 для систем типа IT и TN напряжение прикосновения U не может превышать 25 В. Максимальное время, на которое происходит отключение, следует определять по таблице 2.

Таблица 2 - Максимальное время отключения электропитания

Система TN		Система IT		
Номинальное напряжение установки $U^a, В$	Время отключения, с	Номинальное напряжение установки $U_0IU, В$	Время отключения, с	
			Сосредоточенная нейтраль	Распределенная нейтраль
120	0,35	120-240	0,4	1,0
230	0,2			
277	0,2			
400,480	0,05			
580	0,02 ^(b)			

Примечания:

1. U_0 – это фазное напряжение.

2. Для 2 группы медицинских помещений, когда значение времени отключения нельзя обеспечить, применяются другие меры защиты, такие как дополнительное уравнивание потенциалов.

3. Способами, предусмотренными в действующих правилах и инструкциях должно осуществляться отключение электропитания, возникшее при перегрузке или короткого замыкания.

4. На вторичной обмотке трансформатора номинальное линейное напряжение не должно превышать 250 В для 2 группы медицинских помещений.

Система защитного заземления TN-S.

В системах защитного заземления TN-S медицинских помещений группы 1 со значением тока не более 32 А, в качестве дополнительной защиты в цепях питания конечных потребителей, должны использоваться УЗО, где номинальный дифференциальный ток срабатывания составляет не более 30 мА.

В медицинских помещениях группы 2 устройства защитного отключения с обозначенным дифференциальным током срабатывания, не более 30 мА, обязаны применяться только в цепях, питающих конечных потребителей:

- операционные столы;
- оборудование с номинальной мощностью более 5 кВт;
- рентгеновские аппараты (преимущественно передвижные рентгеновские аппараты);
- электрические аппараты, не используемые для поддержания жизни пациентов.

В медицинских помещениях группы 1 и 2, где применяется УЗО в соответствии с требованиями настоящего подпункта в зависимости от

значения вероятного возникшего тока повреждения, должны применять УЗО типа А или В. [11]

Отключение УЗО не может быть вызвано одновременным подключением нескольких устройств к одной групповой линии.

1.3 Источники питания

Различные электронные устройства давно и прочно вошли в нашу жизнь. Приборы самой широкой сферы применения и степени сложности выводят нашу жизнь на совершенно новый уровень комфорта и возможностей. Однако для того, чтобы какое-либо оборудование функционировало, оно должно иметь доступ к электроэнергии. Для этого необходимы источники питания – устройства, отвечающие за подачу электропитания.[10]

При этом практически все виды источников питания отвечают за выполнение трех основных функций:

- преобразования электроэнергии
- стабилизации
- регулировки.

Виды источников питания

Все источники питания можно разделить на две группы: первичные и вторичные.

1) Первичные занимаются превращением разнообразных видов энергии в электрическую. К примеру, существуют аккумуляторы, которые химическую энергию преобразовывают в электричество.

2) Вторичные не отвечают за генерирование электроэнергии. Они занимаются лишь изменением ее характеристик, необходимых конкретному оборудованию. В частности, меняются показатели тока, напряжения, пульсации напряжения и пр.

Среди различных видов ИП, относящихся к категории вторичных, особенно востребованы блоки питания.



Рисунок 1 - Блок питания

Какие бывают блоки питания.

Обеспечением электроприборов необходимой им электрической энергией, при помощи преобразования энергии, полученной от других источников, занимаются блоки питания. [10] При этом энергия должна соответствовать ряду параметров, вроде тока, напряжения и пр.

Блоки питания могут быть:

- встроенными в общую схему
- использующиеся в виде модуля
- размещенными в отдельном помещении.

Конструкции источников питания подразделяются на два основных вида:

- импульсные
- трансформаторные (сетевые).

Достоинством импульсных блоков питания является высоким КПД и меньшим весом, наличие цепей защиты от форс-мажорных ситуаций,

надежность, широкий диапазон частоты и питающего напряжения, меньшей, чем у сетевых моделей стоимостью.

Преимуществом сетевых БП считается простота конструкции, доступная база элементов, отсутствие, в отличие от импульсных моделей, создаваемых радиопомех, надежность.

Среди разновидностей ИП особенного внимания заслуживают источники бесперебойного питания, пользующиеся огромной популярностью, как в промышленной, так и бытовой сфере.

Особенности источников бесперебойного питания.

Источники бесперебойного питания, они же ИБП, представляют собой электронное автоматическое устройство, оснащенное аккумулятором. ИБП обеспечивают бесперебойную подачу электрического питания для компьютера и его комплектующих, в течение короткого периода времени.

ИБП необходим для того, чтобы в случае внезапного падения или обрыва входного питающего напряжения, иметь возможность сохранить необходимые данные и корректно завершить работу ПК.

Следует помнить, что источники бесперебойного питания не подходят для постоянной, или хотя бы длительной подачи электроэнергии на потребитель. ИБП являются лишь вспомогательным оборудованием. Для того, чтобы обеспечить ПК долгосрочной подачей энергии, можно использовать устройства наподобие генераторов или источников резервного питания (ИРП).



Рисунок 2 - Источник бесперебойного питания

Виды источников бесперебойного питания

Среди разнообразия ИБП, представленных на рынке, лишь три типа устройств действительно являются разновидностями источников бесперебойного питания:

- ИБП Line-Interactive
- ИБП On-Line
- ИБП Off-Line.

Источники бесперебойного питания типа Line-Interactive

ИБП линейно-интерактивного типа (Line-Interactive) соединяют в себе преимущества типа On-line с надежностью и эффективностью резервных.

В ИБП этого типа включен в прямую цепь ступенчатый автоматический регулятор напряжения, который построен на основе автотрансформатора, а в некоторых моделях используется сетевой стабилизатор напряжения. [3]

Инвертор, соединенный с нагрузкой при работе питает нагрузку параллельно стабилизированному переменному напряжению сети, а нагрузка подключается полностью лишь в том случае, когда входное напряжение электросети пропадает.

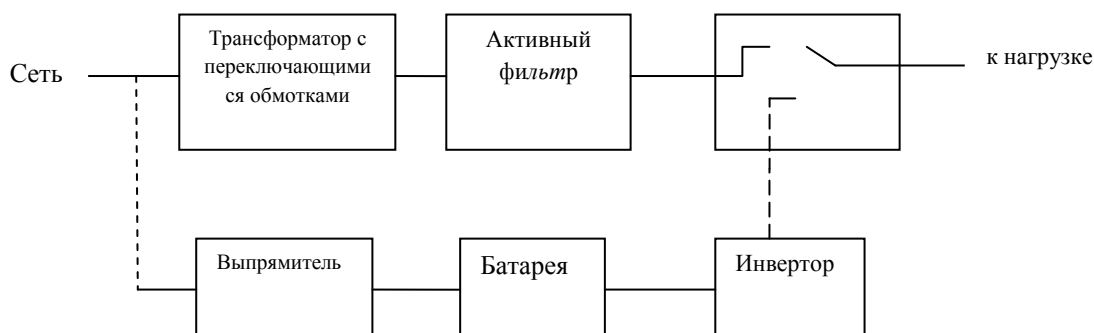


Рисунок 3 - Схема источника бесперебойного питания Line-Interactive типа

Данная архитектура имеет такое название из-за такого взаимодействия с входным сетевым напряжением. В установленном диапазоне изменения сетевого напряжения, выходное напряжение сохраняется в заданных границах, посредством переключения обмоток трансформатора либо стабилизатором. Работа инвертора происходит при низком напряжении. И пока не потребуется его включение для полного питания нагрузки при сбоях в электросети, он будет продолжать регулировать подзарядку аккумуляторов и выходное напряжение.

Линейно-интерактивные ИБП широко применяются в системах защиты компьютерных сетей.

Трансформатор в ИБП, сделанный по ferro-технологии, которая смягчает скачки напряжения, позволяет реже переключается на работу от аккумуляторной батареи, тем самым увеличивая срок службы батареи.

Как правило, эти источники бесперебойного питания состоят из совершенных фильтров, обеспечивающие защиту от помех различного происхождения. [3] Среднее время переключения в режим питания от аккумуляторов или обратно составляет 2 мс.

По конструкции трансформатор состоит из нескольких дополнительных отводов во вторичной обмотке. А контроллер, он же микропроцессор, управляет переключением отводов трансформатора при

изменениях входного напряжения, при этом сохраняя напряжение на выходе в заданном диапазоне.

Из всего этого следует, что ИБП Line-Interactive типа работает по принципу управляемого ЛАТРа и в этой схеме зарядное устройство результативно совмещено с преобразователем. А значит, реже переключается на батарейное питание, когда происходят скачки входного напряжения.

Достоинством источника бесперебойного питания данного типа является широкий диапазон допустимых входных напряжений.

Название шунтовые линейно-интерактивные ИБП источники получили, потому что в некоторых линейно-интерактивных моделях есть шунтовая цепь между входом первичной электросети и нагрузкой. В таких источниках питаемая нагрузка не защищается.

При работе с источниками на основе ferro-технологий надо иметь в виду:

- высокое выходное сопротивление источников может угрожать безопасной работе приборов;
- высокое выходное сопротивление источников препятствовать срабатыванию сетевых предохранителей;
- случаются паразитные колебания при использовании источников для питания приборов с корректорами коэффициента мощности.

Источники бесперебойного питания типа Off-Line

ИБП типа Off-Line являются пассивными, резервного действия. Штатным питанием нагрузки является отфильтрованное напряжение первичной сети с допустимыми отклонениями входного напряжения и частоты. [3]. Инвертор ИБП питается от аккумуляторов и обеспечивает непрерывность питания нагрузки. Включение инвертора происходит, когда параметры входного напряжения выходят за значения настроенных диапазонов.

На рисунке 3 представлены наиболее простой и самый дешевый ИБП.

ИБП состоит из двух параллельных ветвей:

- 1) выпрямитель-батарея-инвертор-нагрузка
- 2) фильтр-нагрузка;

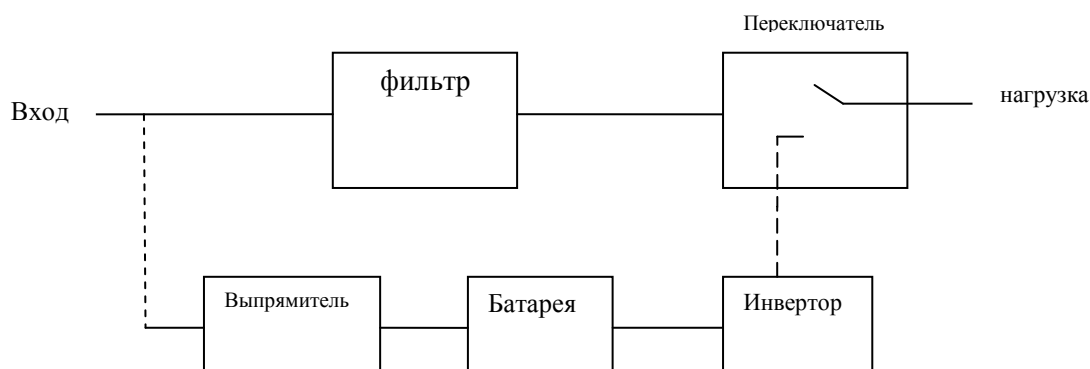


Рисунок 4 - Схема ИБП Stand-By типа

В ИБП данного типа напряжение в нагрузку поступает через фильтр-ограничитель или фильтр-стабилизатор, или статический переключатель, который фильтрует всевозможные помехи.

Через выпрямитель параллельно подзаряжаются и аккумуляторы аккумуляторной батареи. Когда происходит пропадание, завышение либо понижение входного напряжения, питание нагрузки электронным переключателем переключается на батарейное, через инвертор (инвертор преобразует постоянное напряжение в переменное). Переключатель гарантирует время переключения от 2 до 15 мс. Отметим, что пропадание электроэнергии в процессе этого времени не показывает заметного влияния на устройства, которые выдерживают отключение питания на 10-20мс. Почти вся современная аппаратура имеет импульсные блока питания, где переключение происходит незаметно для пользователя. А ИБП Off-Line типа могут поддержать работу устройства в работающем режиме 5-10 минут.

Основные недостатки ИБП Off-Line:

- плохая работа в сетях с низким качеством электрической сети
- слабая защита от провалов напряжения
- искажение частоты и формы входного напряжения
- превышение допустимого значения напряжения;
- неосуществимость своевременного восстановления емкости аккумуляторов при частых переключениях на батарейное питание;
- несинусоидальное выходное напряжение при питании от аккумуляторной батареи.

Рекомендуется использовать ИБП Off-line типа, как устройство защиты нагрузки с импульсным блоком питания с редкими сбоями электросети.

Источники бесперебойного питания On-Line типа

ИБП типа On-Line это самый надежный тип источника бесперебойного питания. На рисунке 3 мы видим, что напряжение сети поступает на преобразователь постоянного напряжения с выпрямителя (ПН1), а далее на преобразователь постоянного напряжения в переменное выходное напряжение (ПН2). Преобразователь ПН2 – это инвертор, который питается от аккумуляторов и от сети через выпрямитель-преобразователь напряжения ПН1, подключенных параллельно:

- инвертор ПН2 питается от выпрямителя при стандартном входном переменном напряжении;
- входное напряжение для ПН2 снимается с аккумуляторной батареи при отклонениях в электросети от нормы.

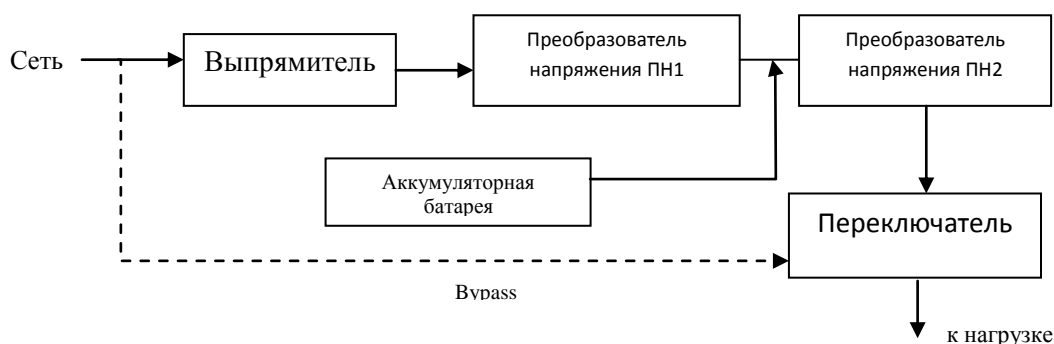


Рисунок 5 - Схема ИБП On-Line типа

В ИБП мощностью до 5 кВА вместо непрерывно подключенного аккумулятора, подключается резервный преобразователь постоянного тока, который включается при сбоях сети и дублирует шину постоянного тока от низковольтного аккумулятора [3].

Вывод: устройства типа On-Line гарантируют на выходе номинальное напряжение в области $\pm 1-3\%$ даже при малейших отклонениях параметров входного напряжения от нормы, а присутствие обходной цепи дает возможность подключать нагрузку прямо к силовой сети.

Надежность поставки электроэнергии и качество питания, предоставляемое устройствами данного типа, значительно выше, чем у предыдущих устройств.

Недостатками источников бесперебойного питания On-line типа можно назвать:

- небольшая высота, по сравнению с ранее рассмотренными типами;
- небольшой КПД (85-90%) из-за двойного преобразования;
- высокая цена;

Но, несмотря на это, уровень защиты нагрузки и стабильность выходных параметров ИБП - это разумный компромисс между безопасностью, КПД и ценой устройства. Потери в ИБП мощностью в 4000ВА не превышают 380Вт, и не идет ни в какое сравнение с той задачей, которую решает подобный источник питания.

Все прочие подобные устройства на самом деле являются только их производными.

Основные технические характеристики источников бесперебойного питания

Мощность

Полная или выходная мощность обозначается буквой S, единица измерения являются — VA или Вольт-амперы. Выходная мощность является

геометрической суммой активной и реактивной мощностей. Параметр рассчитывается как произведение действующих (среднеквадратических) значений тока и напряжения. Значение полной мощности указывается изготовителем источника питания.

Активная потребляемая нагрузкой мощность обозначается буквой P , единицей измерения является — ватт (Вт). В случае отсутствия реактивной составляющей в сети, совпадает с полной мощностью. Определяется как произведение полной мощности на косинус угла φ , где φ — это угол сдвига фаз векторов линейных напряжений и тока, то есть

$$P = S \times \cos \varphi \quad (1)$$

где P - активная потребляемая нагрузкой мощность

S - произведение полной мощности

Стандартное значение $\cos(\varphi)$ для устройств составляет около 0,6-0,7. Эта величина называется коэффициентом мощности. Несомненно, что для выбора требуемой мощности для источника бесперебойного питания, надо мощность нагрузки в ваттах разделить на величину $\cos(\varphi)$.

Реактивная мощность обозначается буквой Q и рассчитывается как произведение полной мощности S на синус угла φ .

$$Q = S \times \sin \varphi \quad (2)$$

где Q - реактивная мощность

S - произведение полной мощности

Единицей измерения является вольт-ампер реактивный (вар). Реактивная мощность характеризует потери в питающих проводах за счет нагружающего их реактивного тока. При $\cos(\varphi) = 1$ потерь нет, и вся мощность, вырабатываемая источником питания, поступает в нагрузку. Достигается это за счет использования пассивных компенсирующих устройств или же активной коррекцией коэффициента мощности.

Форма питающего напряжения

Большое значение для нагрузки имеет непосредственно эта характеристика источника бесперебойного питания. В режиме работы ИБП от аккумуляторных батарей на нагрузку возможно поступление выходного переменного напряжения близкого к прямоугольной форме (меандр), из-за сглаживающих свойств фильтров, аппроксимированная синусоида и чистая синусоида. Самая прилегающая к синусоиде форма выходного напряжения получается при применении широтно-импульсной модуляции. Получение синусоиды в качестве питающего напряжения характерно лишь для ИБП On-line типа и некоторых источников питания типа Line-Interactive. [8]

Частота входного напряжения

Частота входного напряжения характеризует диапазон отклонения частоты электросети. При соответствующих условиях эксплуатации смещение частоты от номинального значения в большинстве случаев не превосходит 1 Гц.

Диапазон входного питающего напряжения

Диапазон входного питающего напряжения определяет пределы допустимых значений напряжения в сети, при которых источник бесперебойного питания еще может поддерживать напряжение на выходе, не переключаясь на питание от аккумуляторов. Для определенных моделей этот диапазон зависит от нагрузки. На пример, при 100% нагрузке диапазон входных напряжений будет составлять 15-20% от номинального, при 50% нагрузке составляет 20-27% от номинального, а при 30% нагрузке составляет 40% номинального. От этого параметра зависит срок службы аккумуляторов, чем больше диапазон, тем дольше прослужат аккумуляторы при других равных условиях. [8]

Коэффициент искажения формы выходного напряжения

Коэффициент искажения формы выходного напряжения измеряется в процентах, а также характеризует смещение формы выходного напряжения

от синусоиды. Наименьшие значения коэффициента соответствуют форме выходного напряжения, приближающейся к синусоидальной.

Допустимая нагрузка

Допустимая нагрузка измеряется в процентах по отношению к номинальной мощности и характеризует устойчивость источника бесперебойного питания при перегрузках по мощности, а также определяет устойчивость ИБП к нестационарным перегрузкам.

Время переключения режимов

Время переключения режимов характеризует инерционность источника бесперебойного питания, для различных источников оно равно приблизительно до 2-15 мс.

Время автономной работы

Время автономной работы определяется емкостью аккумуляторной батареи и размером нагрузки. Для стандартных источников бесперебойного питания маленькой мощности, оно составляет 5-10 мин. Это время рассчитано на то, чтобы человек мог закончить свою работу. [8]

Срок службы аккумуляторной батареи

Срок службы аккумуляторных батарей составляет 4-5 лет, но реальный сильно зависит от условий эксплуатации: частоты переключений в автономный режим, условий зарядки, окружающей среды.

Наличие холодного старта

Наличие холодного старта — это возможность включения источника бесперебойного питания при отсутствии напряжения в питающей сети. Такая функция полезна, когда необходимо срочно выполнить какие-либо действия независимо от наличия напряжения в электросети.

2 Преобразователи с трансформаторной развязкой

Для гальванической развязки нагрузки от сети необходимо использовать трансформаторы в импульсных преобразователях, которые работают от сети переменного тока. В некоторых случаях такая развязка обеспечивает электробезопасность. Ряд особенностей импульсных преобразователей с гальванической развязкой:

1. Если включить в схему трансформатор, то это даст возможность получить высокий коэффициент преобразования.
2. А также появляется вероятность получить несколько выходных напряжений разной полярности и разного уровня.

Есть два типа преобразователей с гальванической развязкой:

- однотактные
- двухтактные.

Передача энергии на выход только в течение одного такта полного цикла преобразования происходит в однотактных преобразователях.

А использование обеих частей цикла преобразования происходит в двухтактных преобразователях.

Прямоходовым называют преобразователь, у которого энергия передается в нагрузку при замкнутом ключе. А обратноходовым называют преобразователь, когда энергия передается на выход при разомкнутом ключе.

Чтобы была гальваническая развязка нагрузки от сети в автономных источниках питания, предназначенных для работы непосредственно от сети переменного тока, необходимо использовать трансформаторы. В источниках питания для медицинского оборудования применяются трансформаторы, где подобная развязка необходима по другим причинам. В таблице 3 приведены диапазоны мощностей и сложность для каждого из типов преобразователей. Любой из них может также применяться и за пределами

указанных диапазонов, но в этом случае возрастают трудности при проектировании эффективного источника питания.

Таблица 3 - Диапазоны мощностей и сложность для каждого из типов преобразователей

Схема	Диапазон мощностей	Относительная сложность
Обратноходовая	1 Вт... 100 Вт	Низкая
Прямоходовая	1 Вт ... 200 Вт	Средняя
Двухтактная	200 Вт... 500 Вт	Средняя
Полумостовая	200 Вт ... 500 Вт	Высокая
Мостовая	500 Вт ... 2000 Вт	Очень высокая

Рассмотрим каждый тип преобразователя.

Обратноходовой преобразователь

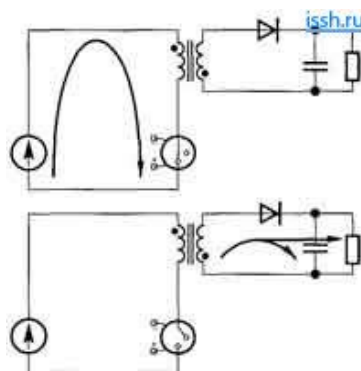


Рисунок 6 - Идеализированная модель однотактного обратноходового преобразователя

В данном источнике питания вместо трансформатора используется дроссель с двумя обмотками. Как в повышающем преобразователе для накопления электромагнитной энергии используется первичная обмотка дросселя. Но надо обратить внимание, что фазировка обмоток противоположна той, что имеется в обычном трансформаторе. Если ключ замкнуть, то происходит накопление энергии в сердечнике дросселя, а значит, во вторичной обмотке тока не будет. Когда ключ размыкается, энергия отдаётся в нагрузку и во вторичной обмотке начинает течь ток. Как и в трансформаторе, напряжение на выходе определяется соотношением витков. Единственным преобразователем, в котором используется дроссель, является обратноходовой преобразователь (работающий непосредственно от сети переменного тока), а во всех остальных преобразователях применяется трансформатор. Главным достоинством обратноходового преобразователя является то, что можно не применять дополнительный сглаживающий фильтр. А энергия, накопленная в дросселе, «сбрасывается» непосредственно в нагрузку и конденсатор. И в этом же заключается недостаток, так как в процессе накопления дросселем энергии, ток в нагрузку поступает только из конденсатора. Так как в обратноходовом

преобразователе напряжение пульсаций сравнительно велико, то требуется применения выходного конденсатора большой ёмкости.

Прямоходовой преобразователь

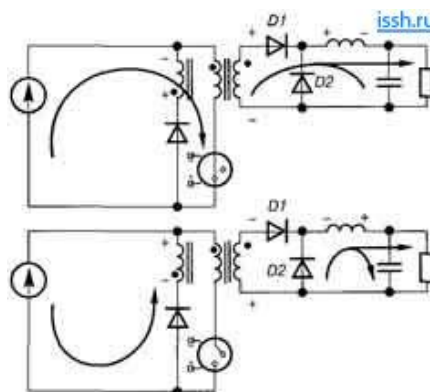


Рисунок 7 - Идеализированная модель однотактного прямоходового преобразователя

Когда ключ замкнут, ток будет течь и в первичной и во вторичной цепи обмотки. Как и в понижающем преобразователе, ток вторичной обмотки «заряжает» дроссель фильтра. При размыкании ключа, ток в дросселе, согласно уравнению 3 по-прежнему будет течь.

$$V = L * \frac{dI}{dt}, \quad (3)$$

где V - разность потенциалов

L - индуктивность

dI/dt - производная $I(t)$ по времени t

Что и в понижающем преобразователе этому будет способствовать коммутирующий диод D_2 во вторичной цепи, который играет ту же роль.

Паразитной индуктивностью, которую можно представить в виде дросселя, включенного последовательно с первичной обмоткой трансформатора, обладают и реальные трансформаторы. В соответствии с уравнением 3 первичный ток, текущий через эту паразитную катушку

индуктивности, при размыкании ключа должен продолжать течь. Но если ключ разомкнуть, то ток в первичной и вторичной обмотках прекращается. Когда в первичной и вторичной обмотках перестаёт течь ток и магнитный поток в сердечнике трансформатора уменьшается, то начинает течь ток в ограничительной обмотке, так как ограничительная обмотка включена противофазно этим обмоткам. Этот ток размагничивает сердечник до остаточного значения магнитной индукции и обеспечивает его готовность к отработке следующего импульса. Ограничительная обмотка прямоходового преобразователя и вторичная обмотка обратноходового преобразователя играют одну и такую же роль: она отдаёт энергию паразитной индуктивности обратно в первичный источник питания.

Достоинства схемы:

- простота силовой цепи
- простота системы управления
- дешевизна конструкции
- отсутствие режима сквозных токов.

Недостатки схемы:

- большие габариты сглаживающего фильтра
- одностороннее намагничивание сердечника трансформатора

При таких недостатках схема неработоспособна. А для ее работоспособности требуются цепи восстановления магнитного состояния сердечника (размагничивания).

Двухтактный преобразователь

На рисунке 8 изображён двухтактный преобразователь. Как и в двухтактном звуковом усилителе класса В, в двухтактном преобразователе ключи размыкаются и замыкаются со сдвигом по фазе в 180 градусов. Так как очень трудно контролировать поток магнитной индукции в трансформаторе и необходимо применять высоковольтные транзисторы двухтактные преобразователи редко используются в автономных сетевых

источниках питания. Поэтому современные ШИМ-преобразователи с управлением по току проектируются так, что двухтактные каскады используются в основном в низковольтных цепях.

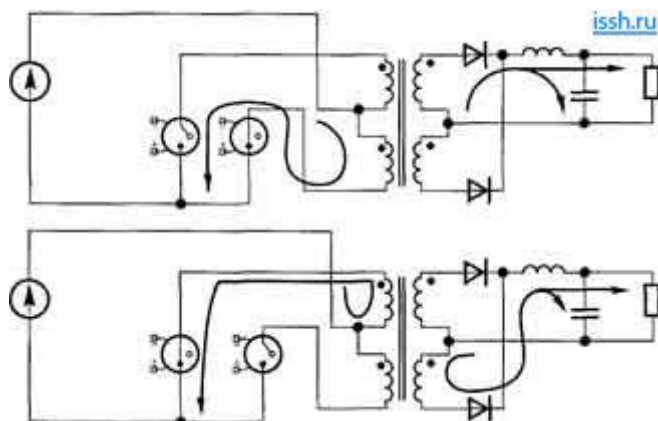


Рисунок 8 - Идеализированная модель двухтактного преобразователя

Полумостовой преобразователь

Схема полумостового преобразователя является высоковольтным аналогом двухтактного каскада транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ).

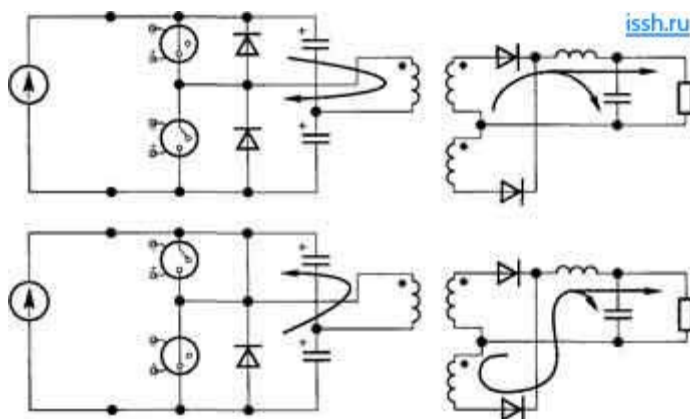


Рисунок 9 - Идеализированная модель полумостового преобразователя

На первичной обмотке трансформатора формируется двухполярное напряжение благодаря тому, что ключи замыкаются по очереди. Это определяет необходимость использования на выходе двухполупериодного выпрямителя. Так как протекание тока вторичной

обмотки обеспечивается наличием противофазно включённых выходных диодов, то ограничительная обмотка трансформатора не нужна. Делитель напряжения, задающий на одном из выводов первичной обмотки половину входного напряжения, образуют конденсаторы. Эти же конденсаторы будут составной частью первичного источника постоянного тока (DC), и они будут выступать в роли делителя напряжения и накопителя заряда.

Достоинствами схемы инвертора являются:

- малые потери в силовой цепи за счет коммутации одного ключа на каждом такте работы схемы;
- поддержание баланса токов в схеме за период работы, за счет конденсаторов, что исключает возникновение асимметричного режима намагничивания трансформатора;
- малый уровень обратного напряжения на ключах, который позволяет использовать схему при высоких входных напряжениях.

Мостовой преобразователь

По сравнению с полумостовой схемой, мостовой преобразователь позволяет снизить токи в первичной цепи в два раза, и поэтому применяется в мощных схемах от единиц до десятков киловатт. При использовании четырех ключей в мостовом преобразователе можно изменить направление тока через обмотки и магнитного потока в сердечнике.

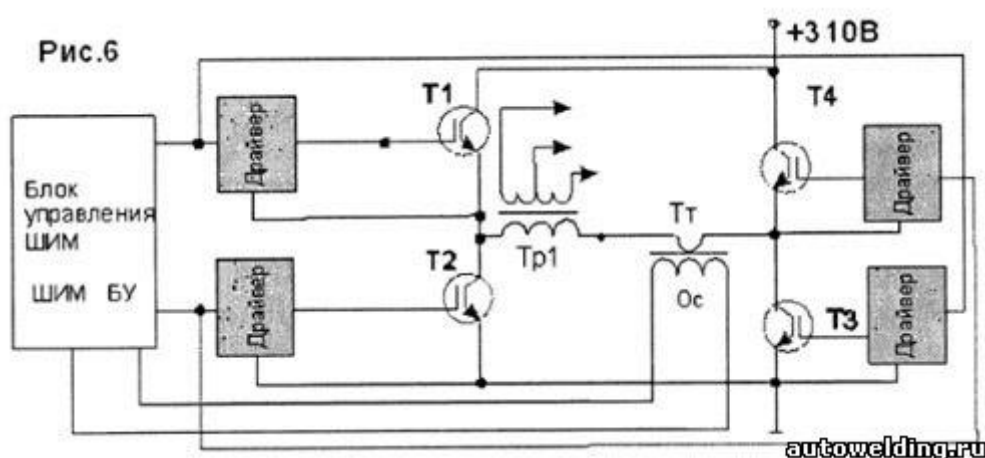


Рисунок 10 - Блок схема полного моста

При тех же величинах токов и потерь на переключение мостовая схема даёт возможность получить мощность в 2 раза больше, чем полумост. Это объясняется тем, что "раскачка" напряжения первичной обмотки силового трансформатора, равна напряжению питания.

Например, с полумостом (в котором напряжение раскачки равно $0,5U$ пит.), потребуется ток через транзисторы в 2 раза меньше, чтобы получить одинаковые мощности. Транзисторы полного моста работают по диагонали, когда T1 - T3 открыты, T2 - T4 закрыты, и наоборот. Амплитудное значение тока, протекающего через включенную диагональ, отслеживает трансформатор тока. Для регулировки выходного тока такого преобразователя используют два способа:

1) изменяют длительность управляющего импульса, а напряжение отсечки оставляют неизменным;

2) изменяют уровень напряжения отсечки приходящего с токового трансформатора, но длительность управляющих импульсов оставляют также неизменными.

Достоинствами мостового преобразователя являются:

- высокий КПД;
- возможность функционировать при очень большой мощности нагрузки;

- к закрытым ключевым транзисторам прилагается обратное напряжение, которое равно постоянному напряжению питания каскада преобразователя;

Недостаткам мостового преобразователя являются:

- наличие четырех ключевых транзисторов;
- выход из строя компонентов ИИП при коротком замыкании нагрузки, если отсутствует система защиты от перегрузки;

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Предпроектный анализ

Потенциальные потребители результатов исследования

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

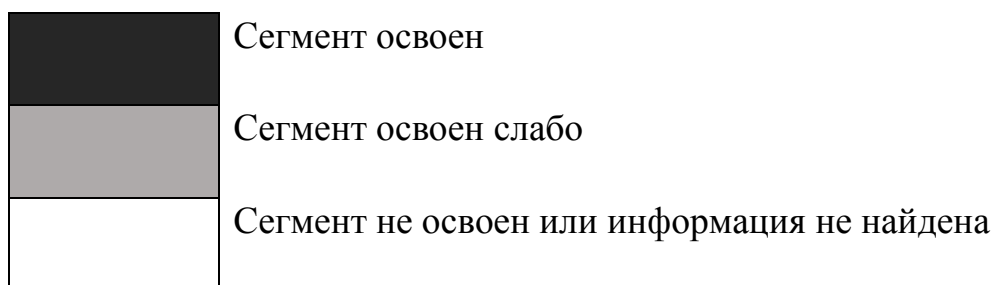
Целью данной работы является разработка блока для электропитания нагрузки постоянного напряжения при постоянном входном напряжении источника питания, нагрузка имеет мощность порядка 1000 Вт. Этот блок часть источника бесперебойного питания (ИБП), который предназначен для обеспечения непрерывной работы электрооборудования в случае внезапного падения (скачка) напряжения в электрической сети до критического значения, при котором становится невозможным корректное завершение работы техники в период перехода на резервный источник питания. Таким образом, целевым рынком для разработанного мостового преобразователя для системы автономного питания, в основном, являются медицинские учреждения, научно-исследовательские центры и промышленные предприятия.

Выполним сегментирование рынка преобразователей с различными выпрямителями: применение резонансного преобразователя с диодным выпрямителем; применение преобразователя с трансформаторной развязкой

и диодным выпрямителем; применение резонансного преобразователя с выходным синхронным выпрямителем.

Таблица 4 -Карты сегментирования рынка

	Типы преобразователей		
	Применение резонансного преобразователя с диодным выпрямителем	Применение преобразователя с трансформаторной развязкой и диодным выпрямителем	Применение резонансного преобразователя с выходным синхронным выпрямителем
Промышленные предприятия			
Научно – исследовательские центры			
Медицинские учреждения			



Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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 конкурентным разработкам и определить направления ее будущего повышения. С позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения его удобно проводить с помощью оценочной карты (таблица 4).

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Подобный анализ осуществляется с помощью анализа конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (26)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес	Баллы			Конкуренто- способность		
		критерия	Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
3. Помехоустойчивость	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
4. Энергоэкономичность	0,09	4	3	4	0,36	0,27	0,36
5. Надежность	0,09	4	3	4	0,36	0,27	0,36
6. Уровень шума	0,03	5	5	4	0,15	0,15	0,12
7. Безопасность	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
8. Функциональная	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21

мощность (предоставляемые возможности)							
9. Простота эксплуатации	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,03	4	4	3	0,12	0,12	0,09
11.Массогабаритные параметры устройства	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	3	3	4	0,15	0,15	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
3. Цена	0,04	3	4	3	0,12	0,16	0,12
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
5. Послепродажное обслуживание	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
6. Срок выхода на рынок	0,05	3	4	3	0,15	0,20	0,15
7. Наличие сертификации разработки	0,09	3	5	5	0,27	0,45	0,45
Итого	1	72	70	67	4,4	4,28	4,19

Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод, что разработанный мостовой преобразователь для системы автономного питания на данном этапе достаточно конкурентоспособны. Таким образом, разрабатываемый проект является перспективным, поскольку обладает рядом уникальных свойств, лучшими массоэнергетическими характеристиками, а также высоким коэффициентом полезного действия.

Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

Для проведения оценки необходимо заполнить специальную форму оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации. В таблице 6 представлен перечень вопросов, по которым необходимо произвести оценку.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (27)$$

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

B_i – балл по i -му показателю.

Таблица 6 – 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	4	3
3.Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
4.Определена товарная форма научно- технического задела для представления на рынок	2	2
5.Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2
6.Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
7.Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8.Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1

9.Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10.Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11.Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13.Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	2
14.Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
ИТОГО БАЛЛОВ	35	34

На основе данных, представленных в таблице 6, можно говорить о том, что проект пока не готов к коммерциализации, так как имеет ряд недоработок, устраняемых научной группой.

Инициация проекта

Цели и результаты проекта

В таблице 7 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 7 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны	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, реализация нового технического продукта
Спонсор проекта	Развитие российских научных исследований и программ. Повышение уровня качества научных исследований в стране.

В таблице 8 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 8 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	разработка блока для электропитания нагрузки постоянного напряжения при постоянном входном напряжении источника питания, нагрузка
Ожидаемые результаты проекта:	Готовое смоделированное устройство и изученные его характеристики
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособное смоделированное устройство, с высокими удельными характеристиками
Требования к результату проекта:	Требование:
	Расчет трансформатора и Г-образного LC-фильтра
	Несколько моделей мостового преобразователя для сравнения характеристик на выходе
	Анализ переходных процессов мостового преобразователя
	Работоспособность устройства

На основе данных, представленных в таблице 7 и 8, можно говорить о том, что разработка блока для электропитания нагрузки постоянного напряжения при постоянном входном напряжении источника питания поможет предприятию повысить конкурентоспособность в реализации нового технического продукта. Так как мостовой преобразователь обладает высокими удельными характеристиками и высоким коэффициентом полезного действия.

Организационная структура проекта

В таблице 9 приведена информация о рабочей группе проекта, ролях, функциях и трудозатратах каждого.

Таблица 9 – Рабочая группа проекта

Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, день
1. Научный руководитель проекта	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта, участие в обсуждениях по результатам работы, промежуточная проверка достигнутых результатов	26
2. Исполнитель по проекту	Обзор литературы о схмотехнических решениях преобразователях; оценка их недостатков и преимуществ; исследование моделей различных схем мостовых преобразователей; анализ переходных процессов резонансного преобразователя ; участие в обсуждениях по результатам работы	130
ИТОГО:		156

В данной таблице можно увидеть, какие функции в проекте выполняют научный руководитель и исполнитель, и какое количество дней было потрачено на выполнение проекта

Планирование управления научно-техническим проектом

План проекта

Планирование этапов работ по выполнению НИР включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ (Таблица 10).

Таблица 10 – 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, И	09.01.2017	1	-	-
2	Анализ технического задания (ТЗ), сбор информации о предметной области	НР, И	12.02.2017	5	12.02.2017	3
3	Подбор и изучение литературы по теме исследования	И	-	-	20.02.2017	12
4	Расчет трансформатора и	И	5.03.2017-	5	5.03.2017	5

	Г-образного LC-фильтра					
5	Разработка нескольких моделей мостового преобразователя для сравнения характеристик на выходе	И	-	-	10.03.2017	35
6	Снятие характеристик с данных моделей	И	14.04.2017	3	14.04.2017	4
7	Анализ переходных процессов мостового преобразователя	НР, И	12.02.2017	1	18.04.2017	30
8	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	-	-	22.05.2017	3
9	Сдача разработки и отчета о работе	НР, И	04.06.2017	11	04.06.2017	13

Целесообразно применять линейное планирование с построением диаграммы Гантта, представленной в таблице 11. График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 11 – Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе

Этап	НР	И	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Постановка задачи	1	-	■													
Анализ технического задания (ТЗ), сбор информации о предметной области	3	3		■	■											
Подбор и изучение литературы по теме исследования	-	12			■	■										
Расчет трансформатора и Г-образного LC-фильтра	-	5				■	■									
Разработка нескольких моделей мостового преобразователя для сравнения характеристик на выходе	-	35					■	■	■	■						
Снятие характеристик с данных моделей	-	4								■	■					
Анализ переходных процессов мостового преобразователя	1	30								■	■	■	■	■		
Оформление расчетно-пояснительной записки		3													■	■
Сдача разработки и отчета о работе	11	13													■	■

Из данной диаграммы Грантта хорошо видна длительность этапов работ научного руководителя и исполнителя за период времени выполнения научного проекта на каждом этапе.

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 материалов, необходимых для выполнения работ, формируется исходя из стоимости приобретения и платы за транспортировку (в данной работе 3%) (Таблица 12).

Таблица 12 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Принтер	1	2000	2000
Расходные материалы	1	1000	1000
Печатная бумага	1	250	250
Канцелярские товары	1	100	100
USB-flash накопитель, 8 Гб	1	450	450
Тонер для лазерного принтера	1	500	500
Компьютер на базе процессора Intel Core i5 4200U	1	25000	25000
Всего за материалы			29300
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			879
Итого по статье С _м			30179

Основная заработная плата

В статью включается основная заработная плата работников, непосредственно участвующих в выполнении работ, включая премии, доплаты и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (28)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (29)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}, \quad (30)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (примем $M = 10,4$ месяца, 5-дневная неделя)

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (примем для научного руководителя $F_{д} = 87$, для инженера $F_{д} = 75$)

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (31)$$

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

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 13.

Таблица 13 – 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	17240	1,3	22412	2679,1	26	69657,5
Инженер	5028,57	1,3	6537,1	906,4	130	117842,8

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:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (32)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты.

В таблице 14 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 14 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Научный руководитель	Инженер
Основная зарплата	69657,5	117842,8
Дополнительная зарплата	6965,75	11784,2,73
Зарплата исполнителей	76623,25	129627,08
Итого по статье С _{зп}	206250,3	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{ВНЕБ}} = k_{\text{ВНЕБ}} \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}}), \quad (33)$$

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

Итого 27,1% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР:

$$C_{\text{ВНЕБ}} = 0,271 \cdot 206250,3 = 55893,8 \text{ руб}, \quad (34)$$

Накладные расходы

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

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{\text{НАКЛ}} = k_{\text{НАКЛ}} \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}}), \quad (35)$$

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

$$C_{\text{НАКЛ}} = 0,8 \cdot 206250,3 = 165000,2 \text{ руб.}, \quad (36)$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы (таблица 15).

Таблица 15 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	30179
Основная заработная плата	206250,3
Дополнительная заработная плата	20625
Отчисления на социальные нужды	55893,8
Накладные расходы	165000,2
Итого себестоимость НИР	477948,3

Таким образом, на основании полученных данных по отдельным статьям затрат, себестоимость научно-исследовательской работы составила 477948,3 рублей.

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:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (37)$$

где I_{Φ}^p – 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:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (38)$$

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 16

Таблица 16– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2	Итп	Иан 1	Иан 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
3. Помехоустойчивость	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
4. Энергосбережение	0,25	4	4	3	1	1	0,75
5. Надежность	0,3	5	4	3	1,5	1,2	0,9
6. Материалоемкость	0,1	3	4	4	0,2	0,4	0,4
ИТОГО	1	25	21	23	4,25	3,8	3

Из таблицы 16 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых

аналогов. Таким образом, мостовой преобразователь для системы автономного питания аппаратуры является более ресурсоэффективной разработкой, относительно имеющихся на рынке аналогов.

Вывод

Эффективность данного проекта заключается в том, что блок для электропитания нагрузки постоянного напряжения при постоянном входном напряжении источника питания, где нагрузка имеет мощность порядка 1000 Вт, обладает наилучшими массоэнергетическими характеристиками и высоким коэффициентом полезного действия, а значит, свои функции будет выполнять результативнее, чем аналоги.

Исходя из расчетов выше (затраты на проект, оценка сравнительной эффективности), данная разработка является дешевле и эффективней на сегодняшний момент. Используемые устройства достаточно надежны для долгой эксплуатации.

Публикации

Щербаков Е.С., Киселева Е.И., Лейман В.В., Развитие силовых преобразовательных устройств для комплексов автоматики и стабилизации систем электропитания космических аппаратов// V Международный молодежный форум «Инженерия для освоения космоса» ПМЭ ТПУ, 19.04.2017,(в печати).