

Тольятти 2017

ЗАДАНИЕ
на выполнение бакалаврской работы

Студент Кондулуков Илья Сергеевич, Элбз-1231

1. Тема Аккумуляторный источник бесперебойного питания для системного блока
2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 30.05.2017
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе _____

Источник питания: Сеть 220 В 50 Гц

Выходная мощность: 500Вт

Назначение источника: бесперебойное питание компьютерного системного блока

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов)

Аннотация

Введение

1. Состояние вопроса

1.1 Формулирование задач проекта

1.2 Анализ исходных данных и известных решений

2. Разработка и расчёт устройства

2.1 Разработка и расчёт силовой схемы

2.2 разработка и расчёт системы управления

3. Разработка конструкции устройства

Заключение

Список литературы

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

1. Обзор существующих решений

2. Обзор существующих решений

3. Схема функциональная

4. Схема электрическая принципиальная

5. Временные диаграммы

6. Плакат, иллюстрирующий работу устройства

6. Консультанты по разделам _____

7. Дата выдачи задания «26» января 2017 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы

(подпись)

А.В. Прядилов

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

И.С. Кондулуков

(И.О. Фамилия)

Аннотация

Объем 44 с., 12 рис., 3 табл., 22 источника

ИСТОЧНИК БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ, ИБП

Объектом исследования является источник бесперебойного питания для системного блока компьютера.

Цель работы: разработка упрощённого источника бесперебойного питания, избавленного от не нужного преобразования энергии

Задачи работы:

1. Обзор существующих решений
2. Разработка силовой части схемы.
3. Разработка системы управления
4. Расчет схем и выбор элементов

Работа состоит из трех глав, в которых решены упомянутые задачи.

Математические расчеты проводились с использованием пакета MathCad.

Степень внедрения: произведены теоретические расчеты.

Областью применения данной работы являются производства источников бесперебойного питания для системных блоков.

Содержание

Аннотация	3
Введение.....	5
1.Состояние вопроса	6
1.1 Формулирование задач проекта	6
1.2 Анализ исходных данных и известных решений	7
1.2.1 Описание ситуации и анализ актуальности.	7
1.2.2. Типы источников бесперебойного питания	9
1.2.3. Обзор существующих источников.....	18
2. Разработка и расчёт устройства.....	23
2.1 Разработка и расчёт силовой схемы.....	24
2.2 разработка и расчёт системы управления	31
3. Разработка конструкции устройства.....	39
Заключение	42
Список литературы	43

Введение

В настоящее время пользователи персональных компьютеров приобретают источники бесперебойного питания (ИБП), которые позволяют в случае отключения электроэнергии в сети проработать пользователю 10-15 минут, чтобы за это время успеть завершить все свои действия и благополучно выключить компьютер.

Но у этих устройств есть несколько недостатков. Первый это габариты и второй – дополнительные потери энергии, которые являются следствием двух лишних процессов преобразования энергии. Источник бесперебойного питания, включенный в сеть, преобразует переменный ток сети электропитания 220В в постоянный ток, который накапливает в своём аккумуляторе. Затем этот постоянный ток преобразуется обратно в переменный и подаётся на выход. Блок питания компьютера в свою очередь потребляет этот ток, преобразует его в постоянный и затем этот постоянный ток преобразует обратно в переменный, но уже меньшего напряжения – 12В.

В связи с этим было бы полезно сконструировать источник бесперебойного питания специально для персональных компьютеров, который сразу бы свой постоянный ток подавал в блок питания системного блока компьютера, тем самым можно избавиться от дополнительных потерь энергии в процессе преобразования и уменьшить габариты устройств.

Именно такое устройство будет разработано в данной работе.

Разрабатываемое устройство должно обладать следующими достоинствами:

1. Уменьшенные потери энергии
2. Дешевизна
3. Надёжность

1.Состояние вопроса

1.1 Формулирование задач проекта

Из задания следует, что разрабатываемое устройство должно обладать следующими характеристиками:

- питание от сети 220 В и частотой 50Гц;
- выходная мощность 500 Вт.

Исходя из этих условий, сконструируем источник бесперебойного питания, который будет состоять из следующих блоков:

- силовая схема;
- система управления.

Для выбора наиболее оптимальной конструкции и схемотехники, рассмотрим уже существующие источники бесперебойного питания. Проанализируем принципы их работы, достоинства и недостатки, и в результате выберем наиболее рациональное решение.

Цель работы: разработка упрощённого источника бесперебойного питания, избавленного от не нужного преобразования энергии

Задачи работы:

1. Обзор существующих решений
2. Разработка силовой части схемы.
3. Разработка системы управления
4. Расчет схем и выбор элементов

1.2 Анализ исходных данных и известных решений

1.2.1 Описание ситуации и анализ актуальности.

Чаще всего источники бесперебойного питания (ИБП) применяются в офисном оборудовании. Отметим, что применение ИБП в промышленных условиях требует особого подхода к разработке таких решений.

Сбои подачи воды, сломанные кондиционеры, остановка пригородных электричек и поездов метро, неработающие светофоры и гигантские автомобильные пробки. Сотни людей, заблокированных в лифтах и тоннелях под землей. Описанные выше ситуации стали если не обыденными, то весьма распространенными составляющими нашей жизни. В конце августа 2003 г. в системе энергоснабжения Канады и США произошла крупная авария, оставившая без света более 40 миллионов человек. Электричества не было в ряде городов: Оттаве, Торонто, Детройте, Нью-Йорке. Через две недели такая же ситуация повторилась в столице Великобритании. Чуть позже подобные аварии прокатились по западному побережью Швеции и островам Дании. Значительная территория Италии на сутки осталась без электроэнергии. Центральная часть Чили протяженностью около 1000 км к северу и югу от столицы была отключена от электричества.

В результате упомянутой выше аварии в одном только в штате Нью-Йорк были остановлены девять ядерных реакторов. Ещё одному реактору было остановлено в Нью-Джерси, Мичигане, и Огайо. Без электричества осталась штаб-квартира ООН, расположенная на Манхеттене в Центре Нью-Йорка. Во многих типографиях было поломано оборудование. Изданию The New York Times пришлось уменьшить количество полос и перевести в один номер свои региональные издания. Было на время остановлено авиасообщение с Нью-Йорком: все вылеты прекращены, а подлетающие

самолёты перенаправлены в аэропорты других городов. Фактически заблокированной оказалась обычная телефонная и мобильная связь. Одной из версий причин произошедшего в Америке и Канаде было попадание молнии в здание электростанции Ниагарского энергоузла, приведшее к необратимым нарушениям в работе автоматики, которые спровоцировали «эффект домино».

Разработано множество технологических решений и продуктов для того чтобы перебои в энергоснабжении не изменяли нормального течения жизни. Системы бесперебойного питания давно уже стали неотъемлемым компонентом средств защиты компьютерного оборудования — от настольных систем до промышленного оборудования. Применение электронных систем управления для промышленности и приложений по контролю за происходящими процессами открыло новые аспекты их применения. Перечень таких приложений довольно широк — от полностью распределенных систем управления до распределенного управления на базе контроллеров, предназначенных очередь для улучшения эффективности обработки информации. Зачастую они оказываются требовательными к обеспечению надежности по сравнению с системами обработки данных для офисных задач. В отличие от источников бесперебойного питания массового спроса, применяемых в коммерческих приложениях, системы промышленного класса остаются создаваемыми решениями ограниченного применения.

По предоставленным агентством Frost&Sullivan данным, объем продаж источников бесперебойного питания ежегодно увеличивается в примерно на 12%, при этом 80% производимых систем бесперебойного питания предназначены для массового применения в сфере информационных технологий.

Информационные технологии создали массовый рынок ИБП, с которыми начал ассоциироваться термин «коммерческие ИБП», ведь вместе

с компьютерным оборудованием часто приобретаются и ИБП. Широко распространённые области использования данных систем в области информационных технологий — страховые компании, банки, центры обработки данных. Перебои в системе подачи переменного тока наверняка могут негативным образом отразиться на обработке данных и функционировании систем связи.

ИБП офисов (которые используются в центрах обработки данных и банках) для увеличения надежности часто комплектуют 6- и 12-импульсными выпрямителями. Последний — гораздо дороже и сложнее, в нем задействовано больше плат управления. В ИБП промышленного назначения зачастую идут по пути упрощенных решений, применяя даже трёхимпульсный выпрямитель, имеющий более низкий КПД.

1.2.2. Типы источников бесперебойного питания

Основное назначение ИБП - обеспечение электропитанием компьютерной системы и прочего оборудования тогда, когда в электрической сети пропадает или портится электрическое питание.

1. ИБП с двойным преобразованием энергии (англ. - Double conversion UPS)

Компьютер запитывается от сети. Получается, что на выходе ИБП должен выдавать переменное напряжение, и на входе ИБП должен потреблять переменный ток, так-как он питается от той же электрической сети. Но внутри ИБП необходим участок с постоянным напряжением, необходимым для заряда аккумуляторной батареи, накапливающей энергию. Структурная схема ИБП с двойным преобразованием энергии показан на рисунке 1.1.

Основное свойство этой схемы источника бесперебойного питания, которое можно считать недостатком или преимуществом. Речь о том, что наиболее важные части источника бесперебойного питания - это выпрямитель и инвертор работают даже в случае, если в сети имеется напряжение, от которого в обычных условиях мог бы питаться компьютер. Это приводит к уменьшению ресурса этих частей источника бесперебойного питания, усложнению схемы и нерациональному расходу энергии.

2. ИБП с переключением (англ. - standby UPS или off-line UPS)

В такой схеме компьютер допустимо напрямую питать от сети, не теряя энергию на не нужные преобразования, если в сети имеется напряжение. А инвертор включать в момент сбоя электрической сети, и тогда он будет работать, запитываясь от батареи.

Применяющая эту идею схема приведена на рисунке 1.2.

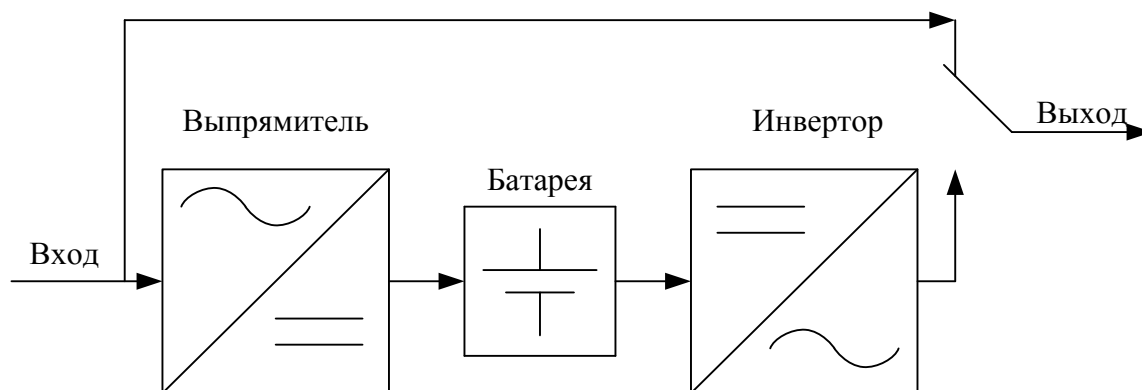


Рис. 1.2 – Структурная схема ИБП с переключением

Если в сети имеется напряжение, компьютер (или другая нагрузка источника бесперебойного питания) работает от сети. За это время выпрямитель заряжает батарею. Когда напряжение пропадает, изображенный на схеме переключатель переключается, включается инвертор, и источник бесперебойного питания начинает питать нагрузку от встроенной батареи.

ИБП с переключением имеет довольно высокий КПД, т.к. при нормальной работе потребляет малую энергию, необходимую для запитывания своей схемы и, когда батарея разряжена, то для её заряда.

Самым большим из недостатков является то обстоятельство, что при смене режима работы от батареи на работу от входной сети, на выходе ИБП зачастую возникают скачки или провалы напряжения. В некоторых случаях при неудачной фазе напряжения в момент переключения блок питания (БП) компьютера не сможет их компенсировать. При этом случае на электронных компонентах компьютера возникают импульсные перенапряжения. Это но в сочетании с другими помехами может быть причиной сбоя работы компьютера.

У такого скачкообразного изменения напряжения может быть несколько причин.

При работе от батареи, напряжение на выходе источника с переключением несинусоидальное (обычно оно имеет вид прямоугольным импульсов с паузами между ними).

В течении времени переключения (оно занимает от 2 до 20 миллисекунд у различных моделей ИБП) на выходе ИБП напряжение отсутствует. Поэтому, имеется разрыв в напряжении, поступающем на компьютер.

Практически единственная функция источников с переключением - поддержание работы ПК, когда в сети отсутствует напряжение. Но при этом он не может взаимодействовать с электрической сетью и наблюдать за искажениями сетевого напряжения, а также изменять напряжение, когда оно становится маленьким или чересчур большим.

Решением этой проблемы является следующая схема. Она называется: ИБП, взаимодействующий с сетью (англ. - Line Interactive UPS).

3. ИБП, взаимодействующий с сетью (англ. - Line Interactive UPS)

Упрощенная блок-схема источника бесперебойного питания, взаимодействующего с сетью, изображена на рисунке 1.3.

Она действительно очень похожа на предшествующую схему. Переключатель расположен ближе к входу, а инвертор этого ИБП оказывается постоянно подключен к нагрузке. Кроме этого, в схеме появился автотрансформатор. Он, обычно, есть и в ИБП с переключением, но для источника, взаимодействующего с сетью, его наличие принципиально необходимо.

У этого автотрансформатора имеются дополнительные отводы, к которым обычно подключена нагрузка при работе источника от сети. В результате этого напряжение на выходе источника иногда становится не таким, как на было входе. С помощью этого автотрансформатора с отводами ИБП изменяет напряжение (увеличивает выходное напряжение, когда напряжение на входе недостаточно и уменьшает напряжение, когда входное напряжение слишком высоко).

Взаимодействующий с сетью ИБП непрерывно следит за напряжением: его величиной и формой. При этом управление ИБП, взаимодействующего с сетью, осуществляется микропроцессором. Часто микропроцессор нагружают множеством дополнительных необязательных функций, не связанных непосредственно со слежением за сетью, и многие из этих ИБП становятся "умными": Они способны регистрировать напряжение в электрической сети, отслеживать время и частоту, запоминают аварийные сообщения, включаются/выключаются по расписанию и т.д.

Функционирует ИБП, взаимодействующий с сетью, так же, как и источник с переключением. Если в сети есть напряжение, то он питает нагрузку от сети. Когда напряжение отсутствует или имеет недопустимую форму, то инвертор тут же начинает питать нагрузку, используя энергию из батареи, а переключатель ИБП размыкается.

Когда напряжение в сети имеется, но меньше (или больше) нормы, то взаимодействующий с сетью ИБП автоматически переключает отводы автотрансформатора и регулирует напряжение, не используя батарею.

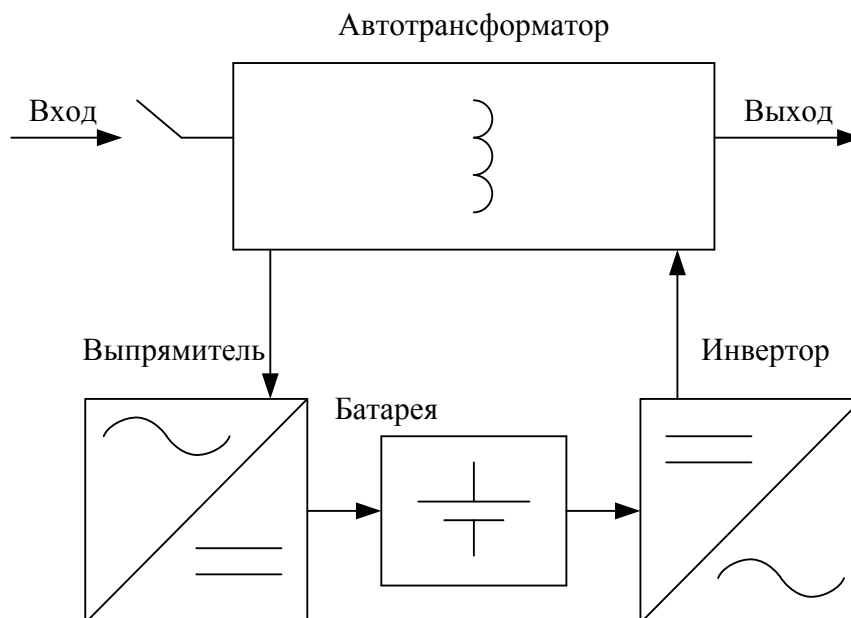


Рис. 1.3 - ИБП, взаимодействующий с сетью

Подобно ИБП с переключением, источник, взаимодействующий с сетью, имеет большой КПД и некоторые другие преимущества перед другими типами.

Недостатком этой схемы (как и ИБП с переключением) является пропадание питания в момент переключения от сети на работу от батареи и обратно. Такой разрыв является следствием применения механических переключателей. Время их срабатывания мало (несколько миллисекунд), но должно быть учтено.

С целью поддержания напряжения на нагрузке, на время срабатывания переключателя, американец Солой Джозефом в 1938 году был изобрел феррорезонансный трансформатор.

4. Феррорезонансный ИБП (англ. - Ferroresonant UPS)

Феррорезонансный ИБП в некотором роде является подвидом ИБП, взаимодействующих с сетью. Однако его обычно выделяют в отдельную группу источников бесперебойного питания. Особенность том, что в схему этого ИБП добавлен элемент, кардинально меняющий его работу, и давший название этому типу.

Феррорезонансный трансформатор. Он включен в схему вместо автотрансформатора с отводами.

Его функции заключаются в следующем. Он стабилизирует напряжение на выходе. Это позволяет работать в большом диапазоне сетевых напряжений не используя переключение на батарею. Отсутствуют переключения внутри самого ИБП (феррорезонансный трансформатор способен регулировать напряжение, не применяя переключение отводов).

Реализующая данную идею схема приведена на рисунке 1.4.

Феррорезонансный трансформатор имеет большую индуктивность. При работе ИБП от сети в магнитном поле трансформатора запасается большая энергия, питающая нагрузку во время переключения на режим работы от батареи. В связи с этим выходное напряжение феррорезонансного источника не имеет разрыва при исчезновении напряжения в электро сети. Такое свойство дает возможность производителям феррорезонансных источников вполне обоснованно позиционировать их, как on-line ИБП.

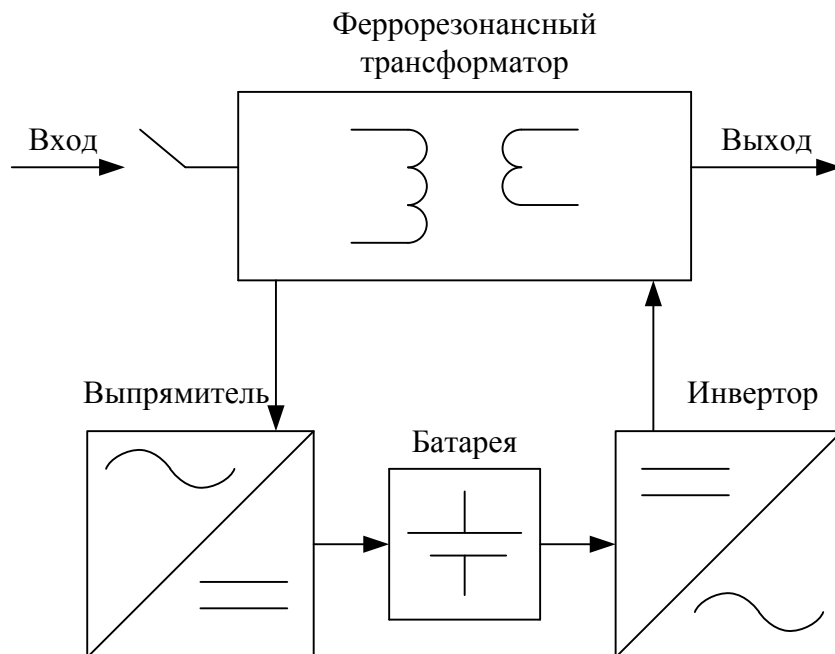


Рис. 1.4 - Феррорезонансный ИБП

Помимо отсутствия разрыва питающего напряжения и плавного регулирования выходного напряжения, феррорезонансный ИБП имеет и вторичные свойства, характерные для источников с двойным преобразованием энергии.

В последние годы широкое распространение получили ИБП с так называемым дельта-преобразованием.

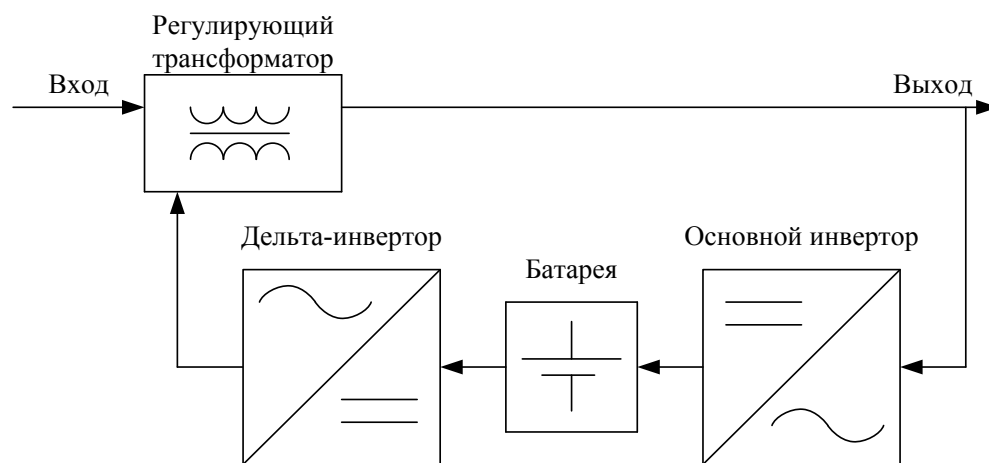
5. ИБП с дельта-преобразованием.

В устройствах с дельта-преобразованием трансформатор имеет дополнительную обмотку, на которую с дельта-инвертора подается корректирующее напряжение, пропорциональное отклонению входного напряжения от номинального значения, но противоположное по фазе. Таким образом за счет обратной связи восстанавливается уровень и форма напряжения на нагрузке и устраняется фазовый сдвиг между напряжением и током. Процесс имеет плавный, а не ступенчатый, характер и, поэтому, обеспечивает стабильное электропитание нагрузки. Однако прямая связь

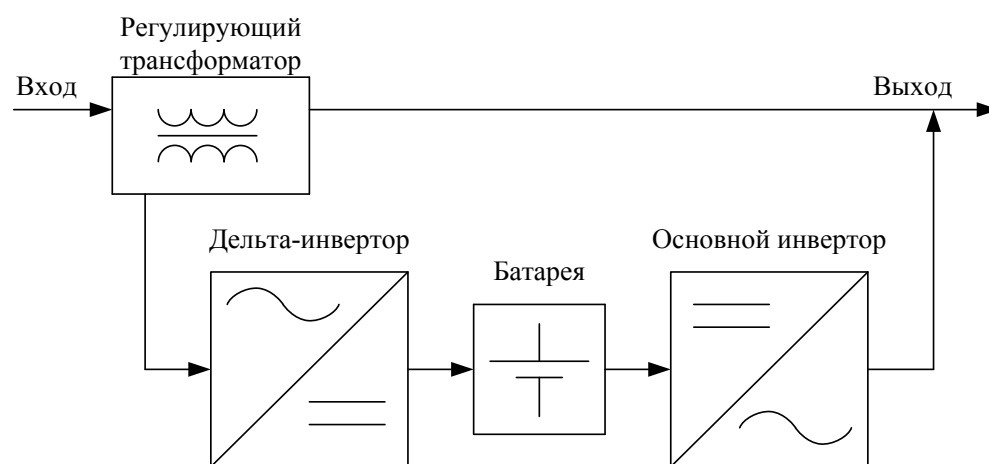
между сетью и нагрузкой (отсутствующая в ИБП с двойным преобразованием напряжения) не позволяет без дополнительных средств эффективно защитить нагрузку от сетевых помех и высоковольтных импульсов, а также избежать загрязнения электросети высокочастотными помехами, присутствующими в цепях питания компьютеров и компьютерных сетей. Кроме того, такой ИБП в нормальном режиме не способен компенсировать отклонения частоты сетевого напряжения.

Реализующая эту идею схема изображена на рисунке 1.5.

Основное достоинство ИБП с дельта-преобразованием — это высокий КПД. Достигается он при вполне конкретных условиях — если параметры сети соответствуют номинальным значениям, входной импеданс нагрузки обладает только активной составляющей, а сам ИБП включен на полную мощность. При невыполнении этих условий изменяется нагрузка на основной инвертор (ОИ) и дельта-инвертор (ДИ) и снижается эффективность использования входного трансформатора, что уменьшает КПД. К этому же эффекту приводит изменение диапазона входных напряжений для номинального режима работы. В итоге, имея плюс по КПД (2-3%) в идеальных условиях, ИБП с дельта-преобразованием отстаёт от систем типа On-Line в условиях реальных.



а) Нормальный режим



б) Автономный режим

Рис.1.5 - ИБП с дельта-преобразованием

По этой же самой причине иногда удастся получить обещаемый выигрыш при подборе генераторной установки. Рекомендуемый коэффициент запаса по мощности ДГУ 1.3 ... 1.5 допускается взять за основу лишь если нагрузка является линейной. Однако на практике это бывает редко и правильнее использовать в расчетах коэффициент 1.5 ... 1.8 —такой же как при использовании источников с двойным преобразованием, снабженных экономичным корректирующим THD-фильтром.

Необходимо также отметить, что ИБП с дельта-преобразованием характеризуются более высокой сложностью по сравнению с системами типа On-Line, т.к. для обеспечения работы основного инвертора у них применяются устройства так называемого четырех квадрантного типа. Это сказывается на надежности и стоимости агрегата. Помимо того, в нормальном режиме основной и дельта-инвертор обязаны работать синхронно с сетью. В связи с этим переход ИБП из автономного режима в рабочий происходит только после восстановления синхронизации обоих инверторов с сетевым напряжением. Сбой одного любого элемента системы в таком случае может стать причиной выхода из строя целой группы блоков. Поэтому процесс синхронизации усложняется при параллельной работе нескольких источников бесперебойного питания.

Подводя итог, можно заметить, что ИБП с дельта-преобразованием наиболее пригодны для использования в странах с хорошим качеством электросети.

В реальных условиях, характерных для большинства стран СНГ, они проигрывают системам с двойным преобразованием.

1.2.3. Обзор существующих источников

Приведём примеры реально существующих ИБП.

Dialog Plus 100. Такие источники создают модельный ряд ИБП Riello с двойным преобразованием (on-line). Эта модель предназначена для защиты нагрузок от любых проблем, связанных с ненормальным электропитанием. Сюда относятся и компьютерные сети, и DATA-центры, и сервера, и телекоммуникационное, производственное, медицинское оборудование, критичное параметрам напряжения и времени переключения ИБП на АКБ. Особенностью этой серии является высокий коэффициент мощности - 0,99, это позволяет при использовании ИБП не вносить помех в питающую сеть и

обеспечить эффективность потребления мощности. Все эти модели, начиная с 1000 ВА, обладают возможностью масштабирования системы с помощью внешних батарейных модулей, и это делает возможным защитить промышленные приборы от исчезновения напряжения на значительное время - от 15 минут - до часов. Такой ИБП приведен на рисунке 1.6.



Рис. 1.6 - Dialog Plus 100

Таблица 1.1 - Технические характеристики Dialog Plus 100

Класс	On-line
Номинальная мощность, ВА/Вт	1000/700
Вход	
Номинальное напряжение, В	220/230/240
Номинальная частота, Гц	50/60
Номинальный ток, А	5
Диапазон напряжений, В	180-264
Диапазон частот	50/60 +/-5%
Батареи	
Тип батареи	3 по 7,2 Ач
Напряжение батареи, В	12
Время перезарядки, ч	4 до 80%
Выход	
Номинальное напряжение, В	220/230/240
Форма выходного напряжения	синусоида
Номинальная частота, Гц	50-60 +/-0,2
Компьютерный интерфейс	RS232
КПД (режим on-line)	>88%
Рабочая температура, С	0-40
Влажность	<90% без конденсата
Уровень шума	<40 дБ
Вес, кг	14
Габариты ВхШхГ, мм	231x158x400

Средняя стоимость ИБП Dialog Plus 100 составляет - 13 370 руб.

Powerware 3105 350 ВА, 500 ВА.

ИБП Powerware 3105 350 и 500 ВА- это ИБП, защищающий ПК от основных неполадок с питанием: импульсов и провалов напряжения, исчезновений напряжения,

Корпуса Powerware 3105 идеально подходит для напольной, настольной и настенной установки. Индикаторы на панели прибора и звуковая сигнализация информируют пользователей о текущих режимах работы и состоянии ИБП. В Powerware 3105 предусмотрены специальные разъемы для защиты линий передачи данных (модем, телефон, подключение к спети Интернет и т.д.)

ИБП применяется в 2-х модификациях – с компьютерными (IEC) и евро-розетками (Schuko).

Модификация IEC включает четыре розетки, дающие защиту от отключения внешней электросети и сглаживающие импульсы напряжения и еще четыре розетки, дающие только сглаживание импульсов напряжения.

Модификация Schuko включает три розетки, дающие защиту от отключения внешней электросети и сглаживающие импульсы напряжения и еще три розетки, дающие только сглаживание импульсов напряжения.

Описанные ИБП изображены на рисунке 1.7.



Рис. 1.7 - Powerware 3105 350 ВА и 500 ВА

Таблица 1.2 - Технические характеристики Powerware 3105 350 ВА, 500 ВА.

Модель	3105 350 ВА	3105 500 ВА
Мощность	350 ВА	500 ВА
Номинальное входное напряжение	230 В	
Диапазон входных напряжений	184-265 В	
Частота	50/60 Гц	
Выходное напряжение	230 В	
Стабильность выходного напряжения	При работе от сети не регулируется и соответствует входному напряжению	
Перегрузочная способность	120%+/- 10%	
КПД	95% при работе от сети	
Светодиодные индикаторы	Работа от сети, работа от батарей, перегрузка, авария	
Коммуникационный порт	USB	
Рабочая температура	0°C - +40 °C	
Высота	< 3000 m	
Уровень акустического шума на расстоянии 1 м	< 40 dB	
Время автономной работы	От 4 до 40 мин	

В результате рассмотрения вышеперечисленных вариантов конструкций сделаем выбор в пользу ИБП с переключением, т.к. в этой схеме ПК можно питать от электрической сети, не тратя энергию на два не нужных преобразования, когда в сети есть напряжение. А инвертор задействовать только в момент сбоя электропитания, и он будет работать от АКБ. Так же ИБП с переключением имеет высокий КПД, т.к. при нормальной работе

потребляет исключительно энергию, необходимую для питания своей схемы и, когда батарея разряжена, то для ее заряда.

2. Разработка и расчёт устройства

Рассматриваемый в данной работе проекте источник бесперебойного питания должен удовлетворять следующим условиям:

- использовать в качестве источника питания однофазную бытовую сеть 220В, 50Гц;
- выходная мощность 500 Вт.

Исходя из этих условий, сконструируем источник бесперебойного питания, который будет состоять из следующих блоков:

- силовая схема;
- система управления.

ИБП работает следующим образом: при наличии напряжения нагрузка питается напрямую от сети, и в это время происходит заряд аккумуляторной батареи через выпрямитель. Выпрямитель преобразует переменный ток в постоянный ток и напряжением 15В. Этим напряжением заряжается аккумуляторная батарея. Когда напряжение в сети пропадает то нагрузка питается от аккумуляторной батареи. Также имеется обратная связь по напряжению, которая позволяет поддерживать выходное напряжение в нужном диапазоне. Система управления построена на двухтактном ШИМ-контроллере TL494CN.

Функциональная схема изображена на рисунке 2.1, электрическая принципиальная схема изображена на плакате А1.

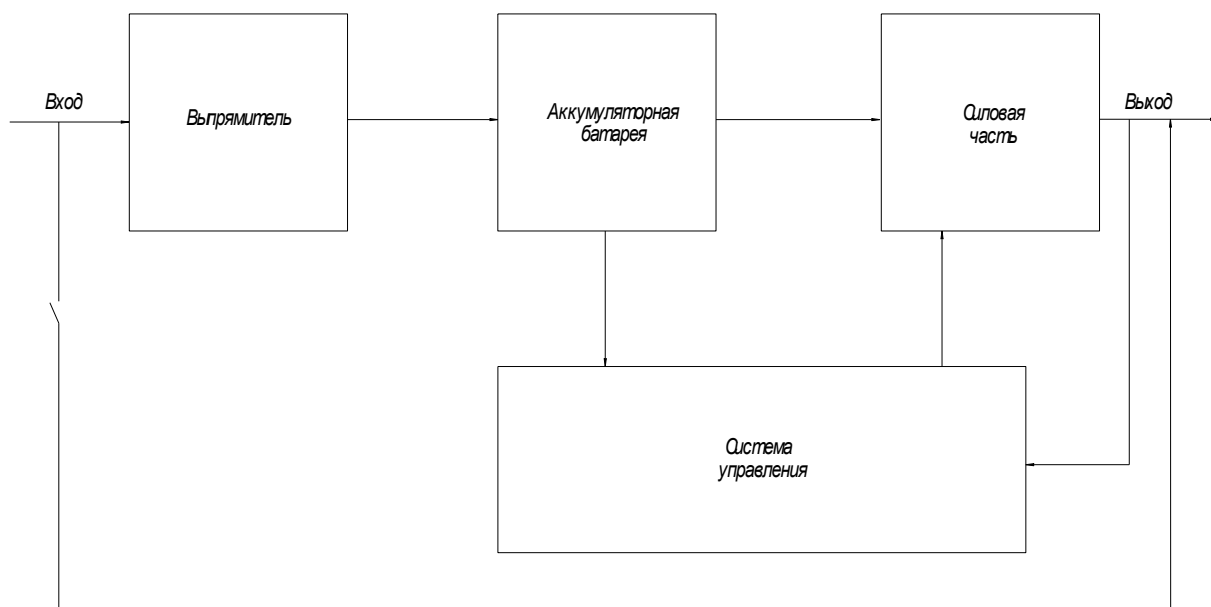


Рис. 2.1 - Функциональная схема ИБП

2.1 Разработка и расчёт силовой схемы

Силовая часть выполнена на диодах и транзисторах, которые работают в режиме электронных ключей. Силовая часть служит для преобразования постоянного тока батареи в постоянный ток на выходе ИБП. Принципиальная схема силовой части представлена на рис.2.2.

В качестве аккумуляторной батареи возьмём продукт компании DELTA марки HRL 12-7.2. Свинцово-кислотные аккумуляторы DELTA HRL 12-7.2 являются полностью герметизированными моноблоками с встроенной рекомбинацией газа, разработаны для использования в ИБП. Возможна эксплуатация, как в циклическом так и буферном режиме. Низкое выходное сопротивление позволяет осуществлять разряд аккумуляторов большими токами, что актуально при использовании в современных источниках бесперебойного питания. Основные характеристики аккумулятора DELTA HRL 12-7.2 сведены в таблице 2.1.

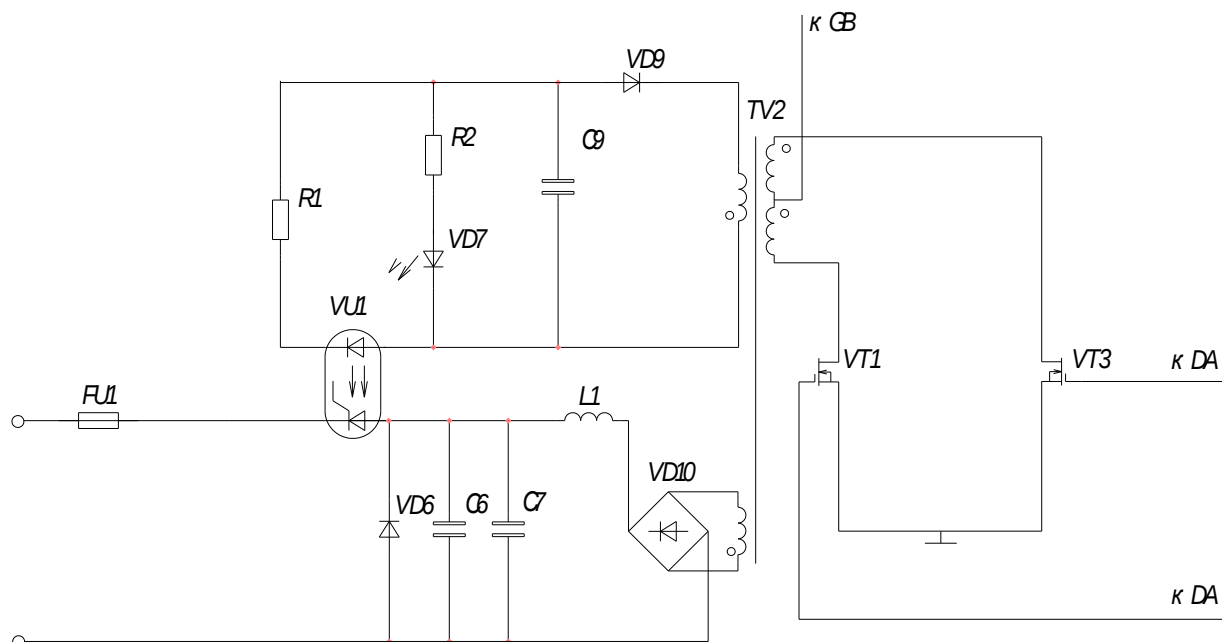


Рис. 2.2 - Принципиальная схема силовой части

Таблица 2.1 - Характеристики аккумулятора DELTA HRL 12-7.2

Номинальное напряжение	12 В
Срок службы	10 лет
Число элементов	6
Номинальная емкость (25°C)	
1 часовой разряд (4,8А, 9,6В)	4,8Ач
5 часовой разряд (1,16А, 10,5В)	5,8Ач
10 часовой разряд (0,72А, 10,5В).	7,2Ач
Саморазряд	3% емкости в месяц при 20°C
Внутреннее сопротивление	22мОм
Рабочий диапазон температур	
Заряд	-10~60°C
Разряд	-20~60°C

Хранение	-35~60°C
Ток короткого замыкания	360А
Макс, разрядный ток(25°C)	108А(5с)
Макс, зарядный ток	2,8А
Буферный режим	13.6-13.8В
Температурная компенсация	-20мВ/°С
Циклический режим	14,4-14,9В
Температурная компенсация	-30мВ/°С

Габариты:

- ширина – 65 мм;
- длина – 151 мм;
- высота – 94 мм;
- масса – 2,5 кг.

Особенности этой аккумуляторной батареи заключаются в следующем:

- технология AGM позволяет рекомбинировать 99% выделяемого газа;
- эксплуатация в любом положении;
- легированные кальцием свинцовые пластины обеспечивают высокую плотность энергии;
- большой срок службы;
- необслуживаемые, нет необходимости в доливке воды;
- низкий саморазряд.

Напряжение с батареи подаётся на повышающий трансформатор. В задании на работу сказано, что выходная мощность ИБП должна быть 500 Вт. Примем выходной ток ИБП равным 1,6А. Рассчитаем напряжение на вторичной обмотке трансформатора:

$$U_2 = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВЫХ}}} = \frac{500}{1,6} = 312,5 \text{ В}, \quad (2.1)$$

где $P_{\text{ВЫХ}}$ – выходная мощность ИБП, Вт.

Возьмем напряжение с запасом – 350 В.

Примем кпд трансформатора равны 0,8. Тогда мощность первичной обмотки найдем по следующей формуле:

$$P_1 = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{\eta} = \frac{500}{0,8} = 625 \text{ Вт}, \quad (2.2)$$

где η – кпд трансформации.

Рассчитаем мощность, которая приходится на каждую половину первичной обмотки:

$$P_{1\text{ПОЛ}} = \frac{P_1}{2} = \frac{625}{2} = 312,5 \text{ Вт}, \quad (2.3)$$

где P_1 – мощность первичной обмотки, Вт.

Транзисторы VT1 и VT3 работают в ключевых режимах. Размыкая и замыкая цепи, они формируют полуволны на первичной обмотке трансформатора, тем самым на вторичной обмотке мы получаем переменный ток, который после выпрямления поступает на нагрузку.

Рассчитаем ток, протекающий через VT1 и VT3:

$$I_{\text{VT1}} = I_{\text{VT3}} = \frac{P_{1\text{ПОЛ}}}{U_{\text{АКБ}}} = \frac{312,5}{12} = 26,04 \text{ А}, \quad (2.4)$$

где $P_{1\text{ПОЛ}}$ – мощность, которая приходится на каждую половину первичной обмотки, Вт;

$U_{\text{АКБ}}$ – напряжение аккумуляторной батареи, В.

Возьмём транзисторы VT1 и VT3 с запасом и выберем их из [2]. Выбрали транзисторы IRFZ44E со следующими параметрами:

- максимальное напряжение сток-исток $U_{\text{СИ}}$ - 60В;
- максимальный ток сток-исток $I_{\text{СИ}}$ - 48А;
- сопротивление канала $R_{\text{СИ}}$ – 23 мОм.

Расчёт трансформатора провели с помощью специальной программы. В результате были получены следующие параметры трансформатора TV2:

- напряжение первичных обмоток $U_{\text{ПЕРВИЧ}} - 12 \text{ В}$;
- напряжения вторичных полуобмоток $U_{\text{ВТОРИЧ1}} - 12 \text{ В}$ и $U_{\text{ВТОРИЧ2}} - 315 \text{ В}$;

- ток первичных полуобмоток $I_{\text{ПЕРВИЧ}} - 26 \text{ А}$;
- токи вторичных полуобмоток $I_{\text{ВТОРИЧ1}} - 0,2 \text{ А}$ и $I_{\text{ВТОРИЧ2}} - 1,6 \text{ А}$.
- количество витков первичной обмотки – 5;
- диаметр провода первичной обмотки – 3,67 мм;
- длина провода первичной обмотки – 0,22 м;
- количество витков первой вторичной полуобмотки – 5;
- диаметр провода первой вторичной полуобмотки – 0,253 мм;
- длина провода первой вторичной полуобмотки – 0,255 м;
- количество витков второй вторичной полуобмотки – 120;
- диаметр провода второй вторичной полуобмотки – 0,715 мм;
- длина провода первой вторичной полуобмотки – 6,7 м;

Сердечник трансформатора тороидальной формы и выполнен из феррита марки - M2000HM1-17. Сердечник обладает следующими размерами:

- внешний диаметр – 60 мм;
- внутренний диаметр – 40 мм;
- высота – 10 мм.

Для выпрямления тока требуется диодный мост. Т.к. выходной ток приняли равным 1,6А, то диодный мост VD10 должен выдерживать этот ток. Поэтому выберем из [2] диодный мост 4GBU04 со следующими параметрами:

- максимальное постоянное обратное напряжение – 400В;
- максимальный прямой (выпрямленный за полупериод) ток - 4А.

При работе ИБП от аккумуляторной батареи в цепи, где находится VU1, протекает ток в результате чего открывается оптотиристор. VU1 служит для предотвращения попадания тока в силовую схему, при наличии напряжения в сети. Выберем из [2] оптотиристор VU1 – TO125-12,5-4 со следующими параметрами:

- повторяющееся имп. обр. напряжение и повторяющееся имп. напряжение в закрытом состоянии - 400 В;
- максимально допустимый средний ток в открытом состоянии – 12,5 А;
- отпирающий ток управления - 200 мА.

Для защиты силовой цепи от перегрузок на выходе установили предохранитель FU1, в качестве него из [2] выбрали ВП4 -4 на ток 2 А и напряжение 350 В.

Так же для защиты установим диод VD6. В качестве него из [2] выбрали 1N5404 со следующими параметрами:

- максимальное постоянное обратное напряжение - 400В;
- прямой ток - 3А.

Выберем конденсатор С6 из [2]. В качестве него выбрали К50-35 на 100мкФ и напряжение 350 В, электролитический.

Рассчитаем индуктивность дросселя L1. Для этого нужно знать активное сопротивление нагрузки, поэтому сначала рассчитаем R_d :

$$R_d = \frac{U_d}{I_d} = \frac{315}{1,6} = 196,875 \text{ Ом}, \quad (2.5)$$

где U_d – напряжение нагрузки, В;

I_d – ток нагрузки, А.

$$L_1 = \frac{2 \cdot R_d}{\omega \cdot m \cdot (m^2 - 1)} \cdot \frac{I_d}{\Delta I} = \frac{2 \cdot 196,875}{314 \cdot 2 \cdot (4 - 1)} = \frac{393,75}{1884} = 0,2 \text{ Гн}, \quad (2.6)$$

где R_d - активное сопротивление нагрузки, Ом;

ω – угловая частота питающей сети;

m – число пульсаций выпрямленного напряжения.

$\Delta I/I_d$ - относительное значение пульсаций тока, обычно принимается в диапазоне (0,1...0,25).

Выберем из [2] в качестве L1 - B82111-E-C22.

Рассчитаем ёмкость конденсатора C7:

$$L_7 = \frac{1+q}{\omega^2 \cdot m^2 \cdot L_1} \cdot \frac{U_d}{\Delta U} = \frac{1+0,057}{314^2 \cdot 4 \cdot 0,2 \cdot 0,3} = 44 \text{ мкФ}, \quad (2.7)$$

где q - коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения;

L – индуктивность дросселя L1.

Выберем из [2] в качестве C7 – K10 – 17Б – 47 мкФ.

Для индикации работы ИБП в режиме от аккумуляторной батареи используется светодиод VD7. В качестве светодиода VD7 из [2] выбрали КА-3020ЕС, со следующими параметрами:

- цвет свечения – красный;
- ток $I_{пр}$ – 20мА;
- максимальное обратное напряжение - 5В.

Для ограничения тока протекающего через светодиод VD7 используем резистор R2. Рассчитаем резистор R2:

$$R_2 = \frac{12 - U_{MAX}}{I_{пр}} = \frac{12 - 5}{20 \cdot 10^{-3}} = 350 \text{ Ом}, \quad (2.8)$$

где U_{MAX} - максимальное обратное напряжение диода VD7, В;
 $I_{пр}$ – максимальный ток диода, А.

Резистор R2 выбрали из [1] - SQP на 5 Вт и 1 кОм.

Выберем конденсатор C9 из [1]. В качестве него выбрали K50-35 на 1000мкФ и напряжение 16 В.

В качестве диода VD9 возьмем из [2] - 1N4148, со следующими параметрами:

- максимальный прямой (выпрямленный за полупериод) ток – 150мА;
- максимальное постоянное обратное напряжение - 200В.

Рассчитаем сопротивление резистора R1:

$$R_1 = \frac{12 - U_{VU1}}{I_1} = \frac{12 - 2,5}{0,15} = 63,3 \text{ Ом}, \quad (2.9)$$

где U_{VU1} – отпирающее напряжение, В;

I_1 – ток в контуре, А.

2.2 разработка и расчёт системы управления

Система управления построена на двухтактном ШИМ-контроллере 1114EУ4 (TL494CN). Особенности данного контроллера:

- выходной ток каждого из выходов - 200мА;
- разнообразный набор функций ШИМ-управления;
- допустимые режимы работы: двухтактный или однотактный;
- большой диапазон регулировки;
- имеется специальная схема подавления сдвоенных импульсов;
- источник опорного напряжения - 5В +0,5%;
- функционально возможная организуемая синхронизация.

Внутренняя схема ШИМ-контроллера 1114EУ4 (TL494CN) представлена на рисунке 2.3.

Общее описание - 1114EУ4 – TL494:

Специально созданные для построение ИВП, микросхема TL494 дает возможность разработчику использовать ее при конструировании схем управления.

Возможность работы выходного каскада по схеме с общим эмиттером обеспечивается независимыми выходными формирователями на усилительных транзисторах.

Выходной каскад микросхем TL494 стандартно работает в однотактном или двухтактном режиме. Выбор режима происходит с помощью специального входа. Имеющаяся схема контролирует каждый выход и предотвращает выдачу сдвоенного импульса при работе в двухтактном режиме.

Цоколёвка корпуса представлена на рисунке 2.4.

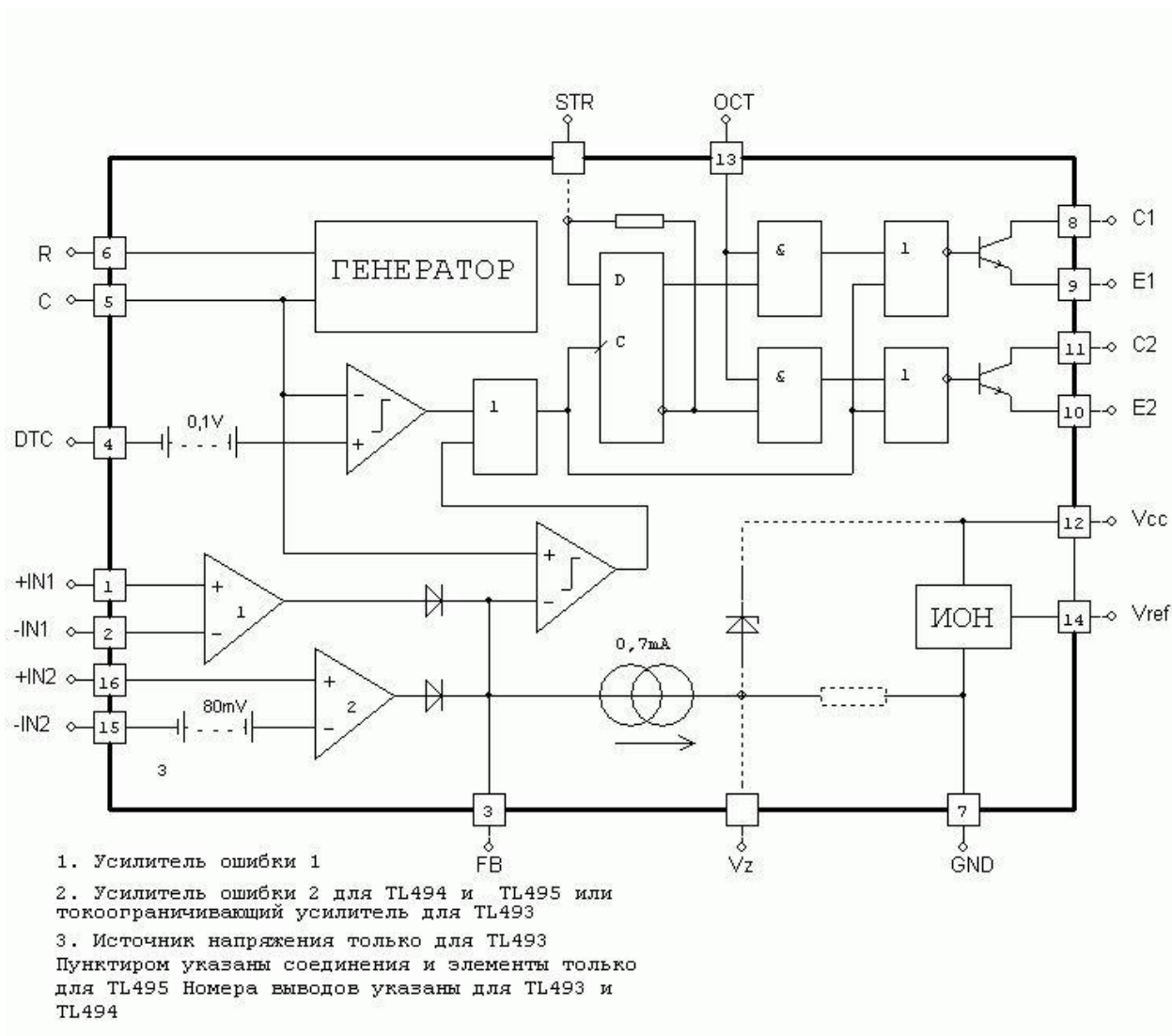


Рис. 2.3 - Внутренняя схема ШИМ-контроллера 1114EY4 (TL494CN)

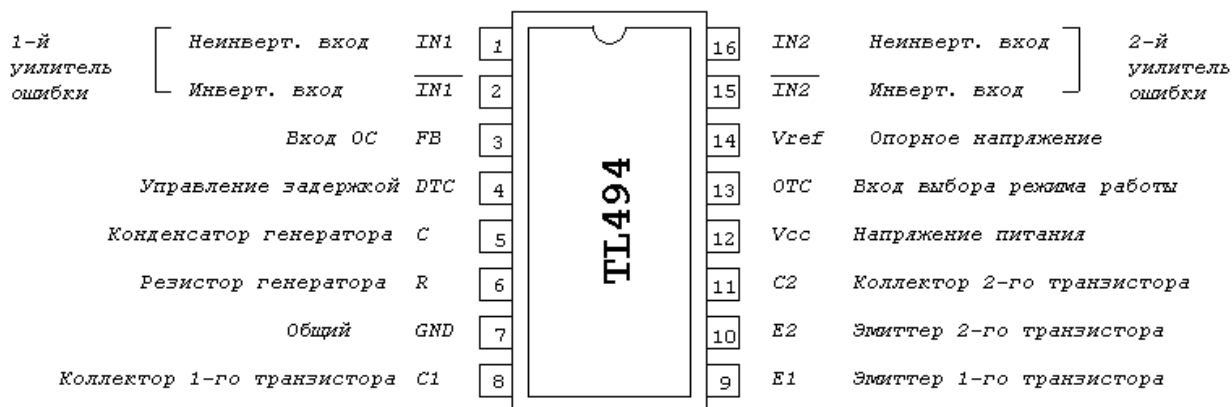


Рис. 2.4 - Цоколёвка корпуса ШИМ-контроллера 1114EУ4 (TL494CN)

В качестве оптопары VU3 из [2] выберем PC817 со следующими параметрами:

- максимальный входной ток $I_{ВХ.МАКС.}$ - 50мА;
- входное напряжение $U_{ВХ}$ – 1,2В;
- максимальный выходной ток $I_{ВЫХ.МАКС.}$ - 50мА;
- максимальное выходное коммутируемое напряжение $U_{ВЫХ.КОМ.НАПР}$ - 35В.

В качестве помехозащищающего резистора будем использовать R11. Из [2] выберем SQP на 1 кОм.

Зададимся током оптопары PC817 равным 10 мА.

Рассчитаем сопротивление резистора R10:

$$R_{10} = \frac{U_{ВЫХ}}{I_{ВХ/VU3}} = \frac{315}{10 \cdot 10^{-3}} = 31,5 \text{ кОм}, \quad (2.10)$$

где $U_{ВЫХ}$ – выходное напряжение ИБП, В;
 $I_{ВХ.VU3}$ – входной ток оптопары VU3, А.

Разработанную на основе TL494CN изобразили на рис. 2.5.

Резистор R10 выбрали из [2] - SQP на 50 кОм.

В качестве VD14 из [2] выберем TL431. Для открытия VD14 необходимо чтобы на его управляющий электрод было подано 2,5 В, следовательно на резисторе R9 должно падать два с половиной вольта. Исходя из этого, рассчитаем сопротивление резистора R8, который обеспечит необходимый уровень напряжения на резисторе R9.


$$R_8 = \frac{U_{BbIX} - U_{R9}}{I_{R8}} = \frac{315 - 2,5}{1 \cdot 10^{-3}} = 312,5 \text{ } \kappa OM, \quad (2.11)$$

I_{R8} – ток через резистор R8, А;

В качестве R8 из [2] выберем – PVZ3A334.

$$R_9 = \frac{U_{R9} \cdot R8}{U_{BbLX} - U_{R9}} = \frac{2,5 \cdot 312,5 \cdot 10^3}{315 - 2,5} = 2,5 \text{ } \kappa OM, \quad (2.12)$$

В качестве R9 из [2] выберем – SQP на 3 кОм.

В качестве C11 возьмём керамический конденсатор и выберем из [2] – K10-17A-H90-0,1мкФ.

Рассчитаем сопротивления элементов делителя напряжения – R12 и R13. Для выключения DA2 на вход 4 надо подать 5В, следовательно на резисторе R13 должно быть 5В. Примем сопротивление резистора R13 равным 3 кОм. Из [2] выберем – SQP на 3 кОм.

$$R_{12} = \frac{R_{13} \cdot (U_{AKB} - U_{R13})}{U_{R13}} = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot (15 - 5)}{5} = 6 \text{ кОм}, \quad (2.13)$$

где R13 – сопротивление резистора, Ом;

U_{AKB} – напряжение аккумуляторной батареи, В;

U_{R13} – напряжение на резисторе R13, В.

В качестве R12 из [2] выберем – SQP на 6 кОм.

В ШИМ-контроллер встроен генератор пилообразного напряжения, который требует для установки частоты только двух внешних компонентов R и C. Этим элементами являются C12 и R16. Зададимся частотой генератора – 100 кГц и сопротивлением R16 равным 10 кОм. Из [2] выберем – SQP на 10 кОм.

Рассчитаем емкость конденсатора C12:

$$C_{12} = \frac{1,1}{f \cdot R_{16}} = \frac{1,1}{100 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3} = 1,1 \text{ нФ}, \quad (2.14)$$

где f – частота генератора, Гц;

R16 – сопротивление резистора.

Рассчитаем сопротивление резистора R14:

$$R_{14} = \frac{U_{AKB}}{I_{ВЫХ.VU3}} = \frac{12}{50 \cdot 10^{-3}} = 240 \text{ Ом}, \quad (2.15)$$

где $I_{ВЫХ.VU3}$ – выходной ток оптопары VU3, А.

В контроллере DA2 имеется ОУ построенный на резисторах R15 и R17. Примем сопротивление R17 равным 10 кОм. Рассчитаем сопротивление резистора R15:

$$R_{15} = R_{17} \cdot K = 10 \cdot 10^3 \cdot 20 = 200 \text{ кОм}, \quad (2.16)$$

где K – коэффициент усиления ОУ;

R_{17} – сопротивление резистора R_{17} , Ом.

Транзисторы VT_4 , VT_5 , VT_6 , VT_7 используют для построения эмиттерных повторителей. Эмиттерные повторители усиливают сигналы с выходов контроллера для открытия транзисторов VT_1 и VT_3 . В качестве транзисторов возьмём комплементарные пары VT_4 и VT_6 – КТ3102 БМ, а VT_5 и VT_7 – КТ3107Г. В качестве резисторов R_{18} и R_{20} взяты резисторы номиналом 1 кОм, а в качестве R_{19} и R_{20} номиналом 8 кОм. Все номиналы выбрали из [22].

Выбранная нами батарея имеет ток зарядки, равный 2,8А. Примем сопротивление резистора R_7 равным 0,5 Ом. На этом резисторе будет падать напряжение в 1,4 В.

Рассчитаем суммарное напряжение базы-эмиттера и R_4 :

$$U_{БЭ+R_4} = U_{R_4} + U_{БЭ} = 1,4 + 0,7 = 2,1 \text{ В}, \quad (2.17)$$

где U_{R_4} – напряжение на резисторе R_4 , В;

$U_{БЭ}$ – напряжение база-эмиттер транзистора VT_2 , В.

Исходя из этих расчётов возьмём стабилитрон VD_{12} на 2,4 В. Из [2] выберем стабилитрон – В7Х55С2.

Рассчитаем сопротивление резистора R_6 :

$$R_6 = \frac{U_{ЗАР} - U_{VD_{12}}}{0,2} = \frac{15 - 2,4}{0,2} = 63 \text{ Ом}, \quad (2.18)$$

где $U_{ЗАР}$ – напряжение зарядки аккумуляторной батареи, В;

$U_{VD_{12}}$ – напряжение стабилитрона VD_{12} , В.

В качестве диода VD_{13} выбрали из [2] диод марки 1N5400.

Диод VD_{11} служит для индикации режима работы источника бесперебойного питания от сети. В качестве него используем зеленый светодиод выбранный из [2] – 204G4.

Рассчитаем сопротивление резистора R_5 :

$$R_5 = \frac{U_{ЗАР} - U_{VD_{11}}}{I_{VD_{11}}} = \frac{15 - 1,2}{0,01} = 1380 \text{ Ом}, \quad (2.19)$$

где $U_{\text{ЗАР}}$ – напряжение зарядки аккумуляторной батареи, В;

U_{VD11} – напряжение светодиода VD11, В.

I_{VD11} – ток светодиода VD11, А.

В качестве R5 из [2] выбрали – KNP-200-2-1,5.

Остальную часть схемы была заранее рассчитана разработчиками и опубликована в [7]. Приведем список номиналов элементов:

- C1, C5 – K10-17Б-0,1мкФ;
- VD1 – 4GBU04;
- C2 – K50-35-33мкФ, электролитический;
- DA1 – TOP224YAI;
- VD2 – P6KE150;
- VD3 – UF4005;
- C3 – K50-29-47мкФ, электролитический;
- VD4 – UG8BT;
- VD5 – 1N4148;
- C4 – K50-35-680мкФ, электролитический;
- R3 – C1-4-1-39;
- VU2 – PC817;
- R4 – C1-4-1-68;
- VD8 – 1N4742A;
- C8 – K10-17Б-1нФ;
- C10 – K50-29-220мкФ.

Электрическая принципиальная схема изображена на рис. 2.6.

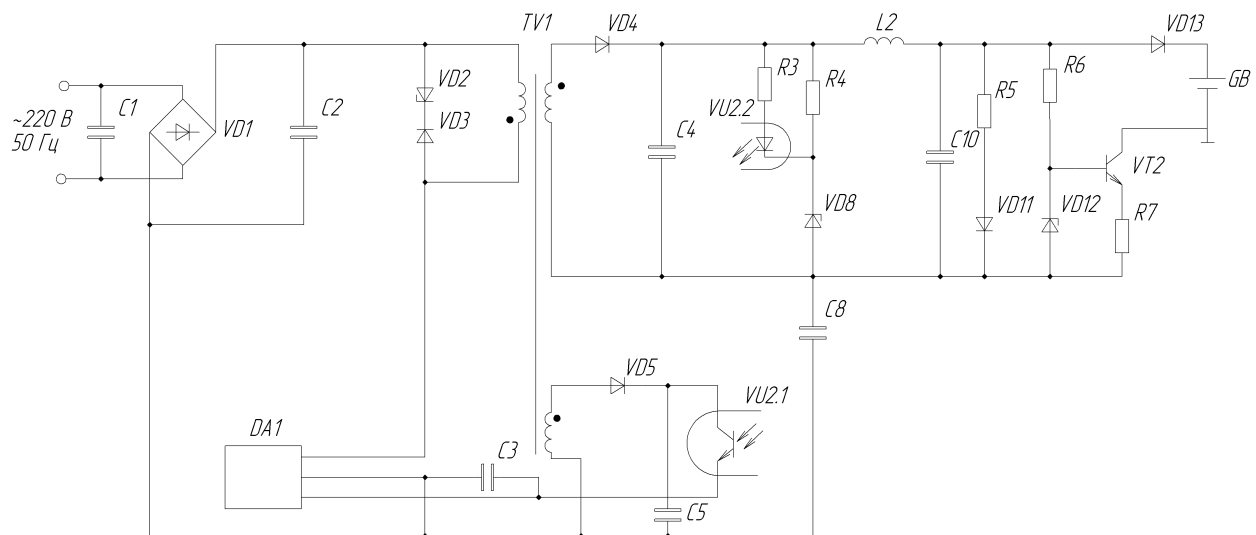


Рис. 2.6. – Электрическая принципиальная схема включения батареи и организации обратной связи.

3. Разработка конструкции устройства

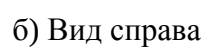
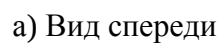
ИБП малой мощности обычно выполняются в едином конструктиве. Когда нужны дополнительные аккумуляторные батареи, они могут быть помещены в аналогичный корпус. Конструкция моделей ИБП небольшой мощности позволяет производить замену АКБ без отключения нагрузки («горячая» замена — hot swap). Кроме того, ИБП небольшой мощности также выпускаются в специальных корпусах, предназначенных для установки в стандартные шкафы шириной 19“, разработанных для серверов и активного сетевого оборудования.

Для нашего ИБП разработаем следующую конструкцию корпуса. В процессе разработки нами была выбрана аккумуляторная батарея DELTA HR 12-7,2 которая обладает такими размерами:

- длина – 151 мм;
- ширина – 65 мм;
- высота – 94 мм;
- полная высота – 100 мм.

Аккумуляторную батарею расположим вертикально внутри корпуса, в правой его части (если смотреть с лицевой стороны). От внутреннего пространства корпуса и от остальных внутренних элементов ИБП аккумуляторная батарея будет отделена пластиковой перегородкой, находясь как бы в отдельном отсеке. С наружной стороны корпуса отсек для аккумуляторной батареи будет закрываться крышкой, которую можно будет снять для замены батареи в случае поломки. Расстояния между аккумуляторной батареей и крышкой и между аккумуляторной батареей и перегородкой будут по 5 мм.

Эскиз корпуса представлен на рисунке 3.1.



41

Предположим, что печатная плата будет обладать следующими габаритами:

- длина – 130 мм;
- ширина – 90 мм;
- высота с учётом элементов – 40 мм.

Печатную плату расположим вертикально параллельно батарее, в левой части корпуса, на расстоянии 30 мм от неё. Между печатной платой и левой стенкой корпуса расстояние будет составлять 30 мм.

На переднюю панель корпуса выведем два светодиода, которые будут сигнализировать о двух режимах работы устройства. Это режим работы от сети и режим работы от аккумуляторной батареи. Светодиод, сигнализирующий о режиме работы от сети, будет зеленого цвета, а сигнализирующий о режиме работы от аккумуляторной батареи – красного.

В задней части корпуса установим кулер для вывода нагретого воздуха от работающих элементов устройства.

Часть корпуса будет перфорирована для улучшения вентиляции и более легкого доступа воздуха внутрь.

Исходя из выше сказанного, рассчитаем размеры корпуса источника бесперебойного питания. В итоге получим следующие размеры:

- ширина – 175 мм;
- длина – 250 мм;
- высота – 110 мм.

Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы были произведены разработка и расчёт силовой схемы, разработка и расчёт системы управления, разработка конструкции источника бесперебойного питания.

С использованием обратноходового преобразователя и источника тока была разработана схема зарядки аккумуляторной батареи. Система управления построена на ШИМ-контроллере марки TL494. Регулировка выходного напряжения осуществляется за счет обратной связи по напряжению. Цепь обратной связи была построена на TL431, который работает в ключевом режиме.

В результате проделанной работы был разработан источник бесперебойного питания, лишенный излишней процедуры преобразования энергии.

Список литературы

1. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: учеб.пособ./ Зиновьев, Г.С. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. - 664с.
2. Каталог электронных компонентов Платан. <http://www.platan.ru>
3. Методические указания к дипломному проектированию /Сост. Горина Л.Н. - Тольятти: изд-во ТГУ, 2003. - 17с.
4. Семёнов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 416.: ил.
5. Статья Д. Макашова «Обратноходовый преобразователь» <http://bludger.narod.ru>
6. Ямпурин Н. П. Электроника [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. П. Ямпурин, А. В. Баранова, В. И. Обухов. - М. : Академия, 2011.
7. Power Integrations, Inc 477 N. Sunnyvale, Copyright 1994.
8. Аксенов А.И., Нефедов А.В. Отечественные полупроводниковые приборы. Справочное пособие., М.: СОЛОН., 1999 г.
9. Микросхемы и их применение: Справочное пособие / В.А. Батушев, В.И. Вениаминов и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984 – 272с.,ил.
10. Мощные полупроводниковые приборы: Диоды: Справочник / Б.А. Бородин, Б.В. Кондратьев, В.М. Ломакин и др.; Под ред. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1985. – 400 с.
11. Силовые полупроводниковые приборы. Пер. с англ. Под ред. В.В. Токарева. Первое издание. – Воронеж: «Элист», 1995 г. – 664 с.
12. Намитоков К.К. и др. Аппараты для защиты полупроводниковых устройств/ К.К. Намитоков, Н.А. Ильина, И.Г. Шкловский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.

13. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база/ Масленников М.Ю., Соболев Е.А., Соколов Г.В. и др.; Под ред. Масленникова М.Ю. М.: Радио и связь, 1996.
14. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с., ил.
15. Шило В.Л. Популярные микросхемы КМОП. Справочник. – М.: Изд-во «Ягуар», 1993. – 64 с.
16. Транзисторы малой мощности: Справочник/Под ред. А. В. Голомедова.- М.: Радио и связь, 1989.
17. Трансформаторы и преобразователи «Электроагрегат». Каталог. – Санкт Петербург.: Электроагрегат, 2003 г. 38 с.
18. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник /В.П. Берзан, Б.Ю. Геликман, М.Н. Гураевский и др.: Под ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с., ил.
19. Миловзоров О. В. Электроника : учеб. для вузов / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. - Изд. 4-е, стер. ; Гриф МО. - М. : Высш. шк., 2008. - 288 с.
20. Воронин, П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение/ П.А. Воронин. - М.:Издательский дом “Додека-XXI”, 2001. – 384 с.
21. Б.В. Тарабрин, С.В. Якубовский, Н.А. Барканов и др.: справочник по интегральным микросхемам. – М.: Энергия, 1980. – 816 с., ил.
22. Резисторы: справочник / Ю. Н. Андреев, А. И. Антонян, Д. М. Иванов и др.; Под ред. И. И. Четверткова. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 352 с.