

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

(институт)

Промышленная электроника

(кафедра)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему **«Источник бесперебойного питания»**

Студент(ка)	А.И. Дворянинов _____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	В.П. Певчев _____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультанты	В.П. Певчев _____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	_____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой **к.т.н., доцент А.А. Шевцов**
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

«_____» _____ 2016_г.

Тольятти 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Промышленная электроника»

УТВЕРЖДАЮ

Завкафедрой «Промышленная электроника»

_____ А.А.Шевцов _____

«___» _____ 2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение бакалаврской работы

Студент Дворянинов Андрей Игоревич

1. Тема Источник бесперебойного питания

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы
30.05.2016

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: напряжение питания
220В 50Гц, выходное напряжение 12 В, потребляемая мощность 40Вт, продолжительность
10 мин

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

- Состояние вопроса по источникам бесперебойного питания (ИБП)

- Разработка принципиальной схемы устройства

- Разработка конструкции и печатной платы устройства

- Безопасность и экологичность проекта

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

- Обзор по теме ИБП

- Функциональная схема источника бесперебойного питания

- Схема электрическая принципиальная источника бесперебойного питания

- Диаграммы работы источника бесперебойного питания

- Диаграммы регулировки выходного напряжения ИБП

- Плата печатная источника бесперебойного питания

6. Консультанты по разделу безопасность жизнедеятельности - В.П.Певчев

7. Дата выдачи задания «_15_» декабря 2015 г.

Руководитель выпускной
квалификационной работы

Задание принял к исполнению

В.П. Певчев

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

А. И. Дворянинов

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Промышленная электроника

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой «Промышленная электроника»
_____ А.А.Шевцов
« ____ » _____ 2016 г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения бакалаврской работы**

Студента: Дворянинова Андрея Игоревича
по теме: Источник бесперебойного питания

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Составление плана работ	Январь 2016			
Анализ существующих решений источников бесперебойного питания	2016			
Разработка принципиальной схемы устройства и расчет основных блоков схемы	2016			
Расчет импульсного трансформатора	2016			
Разработка печатной платы источника	2016			
Разработка раздела безопасности и экологичности проекта	2016			
Разработка графического и иллюстративного материала	2016			

Руководитель выпускной
квалификационной работы

(подпись)

В.П. Певчев

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

А. И. Дворянинов

(И.О. Фамилия)

АНОТАЦИЯ

Представлена бакалаврская работа на тему "Источник бесперебойного питания". В работе рассмотрены существующие конструкции источников бесперебойного питания. Разработана функциональная схема проектируемого источника. Проведена разработка принципиальная схема с выбором режима работы параметров используемых элементов.

Разработана математическая модель инвертора, проведено моделирование работы инвертора, подтвердившее правильность выбранных параметров элементов схемы и определившее нагрузочную характеристику спроектированного источника бесперебойного питания.

Разработана печатная плата устройства.

Рассмотрены вопросы безопасной и экологичной эксплуатации устройства.

Пояснительная записка содержит введение, 4 раздела, заключение, список используемой литературы: 63 стр., 30 рисунков. Графическая часть бакалаврской работы 6 листов формата А1.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	8
1.1 Области применения	8
1.2 Обзор существующих конструкций и схем	9
1.3 Разработка функциональной схемы	14
1.4 Задача проекта	17
2 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИСТОЧНИКА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ	18
2.1 Построение принципиальной схемы источника	18
2.2 Выбор аккумуляторной батареи	21
2.3 Расчет параметров входного выпрямителя	25
2.4 Определение основных параметров инвертора	26
2.5 Расчет конструкции импульсного трансформатора	30
2.6 Расчет цепочки задающей длительность импульса.	37
2.7 Расчет защиты от перегрузки или короткого замыкания	38
2.8 Определение параметров элементов блока управления по напряжению	40
2.9 Разработка математической модели и расчет характеристик	46
3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ	53
3.1 Общие положения по разработке печатной платы	53
3.2 Разработка печатной платы	54
4 Безопасность и экологичность источника	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	61
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	62

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдается активное развитие электроники и микропроцессорной техники. Электронное оборудование все шире используется во всех областях деятельности человека. Во многих случаях является недопустимым неожиданное выключение электрооборудования, так как такое отключение может привести к большим экономическим потерям, а в некоторых случаях и угрозе безопасности людей.

Например, работа электронных систем сигнализации и связи на железнодорожном транспорте не допускает резкого прекращения работы, так как это может привести к сбою в системе автоматики, что может привести к аварийной ситуации, а следовательно, и угрозе безопасности людей и сохранности перевозимых грузов. Для снижения вероятности аварии придется останавливать движение подвижного состава, что повлечет значительные экономические потери. Для предотвращения подобных ситуаций питание систем сигнализации и связи осуществляется от двух независимых источников питания и кроме этого используются также источники бесперебойного питания для ответственных узлов системы.

Другим примером недопустимости аварийного завершения работы является работа части компьютерных систем, из-за возникающей безвозвратной потери информации. Причем экономические потери, возникающие из-за потери информации, могут быть очень значительные. Аварийное завершение работы серверов практически всегда приведет к потере части информации, которая в текущее время обрабатывалась, поэтому серверное и сетевое оборудование компьютерных систем должно быть запитано от систем безаварийного питания.

В медицине также используется электрооборудование, непрерывная работа которого напрямую обеспечивает жизнедеятельность пациента. Для такого оборудования необходимо обеспечение бесперебойного питания.

История развития источников бесперебойного питания началась еще в 60-е годы XX века, но в начале ими обеспечивались только отдельные устройства. Бурное развитие данных устройств началось в период активного развития вычислительной техники и в частности персональных компьютеров. Прогресс устройств по существу заключался в уменьшении габаритов и повышении КПД при практически непрерывном улучшении качественных показателей выходных стабилизированных напряжений. Причем развитие шло в рамках следующих направлений развития силовой электроники:

- совершенствование схемотехнических решений, создание новых разновидностей систем преобразования и стабилизации выходного напряжения;

- улучшение параметров элементной базы и ферромагнитных материалов;

- улучшение параметров, надежности и долговечности накопителей энергии, используемых в источниках безаварийного питания;

- поиск новых технологий изготовления и методик расчета, применяемых при проектировании источников питания.

Таким образом, бесперебойные источники питания используются достаточно широко, а также наблюдается процесс совершенствования данных устройств, поэтому разработка новых конструкций бесперебойных источников питания является актуальной задачей.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Области применения

Во всех случаях, когда при аварийном выключении сетевого питания недопустимо выключение электрического и электронного оборудования, необходимо применение бесперебойных источников питания. Как было указано выше, существует целый ряд видов электрооборудования, для эффективной и безопасной эксплуатации которого необходимо использовать источники бесперебойного питания.

В задании на проектирование определено, что источник должен выдавать напряжение 12 В, и обеспечивать работу нагрузки мощностью 40 Вт в течении 10 минут после отключения сетевого напряжения. Источники такой мощности могут применяться для питания сетевого оборудования, различного оборудования медицинского назначения, оборудования систем сигнализации и связи.

В качестве варианта использования такого бесперебойного источника питания можно предложить конструкцию пожарного извещателя, который должен оставаться работоспособным некоторое время (на период проведения эвакуации людей), и выполнять свои функции при отсутствии сетевого напряжения. Так как сетевое питание будет или отключено для обеспечения электробезопасности при тушении пожара, или в сети питания произойдет авария по причине пожара. Следует отметить, что в данном случае обеспечение питания подобных устройств от специальной линии бесперебойного питания не обеспечивает надежного функционирования данных устройств в случае пожара, так как в очаг пожара может возникнуть в любом месте и привести к выводу из строя части специальной линии бесперебойного питания. Это может привести к неработоспособности части устройств. Поэтому для повышения уровня надежности работы извещателей,

а следовательно и повышению безопасности людей, необходима все извещатели оборудовать встроенными источниками бесперебойного питания.

Еще одной областью применения маломощных источников бесперебойного питания может быть конструкции аварийных источников освещения, оснащенных светодиодными излучателями. Оборудование таких устройств встроенными источниками бесперебойного питания, позволит сохранить работоспособность устройства некоторое время после выключения сетевого питания.

1.2 Обзор существующих конструкций и схем

Рассмотрим существующие конструкции источников безаварийного питания. Одна из простейших схем такого источника представлена на рисунке 1.1.

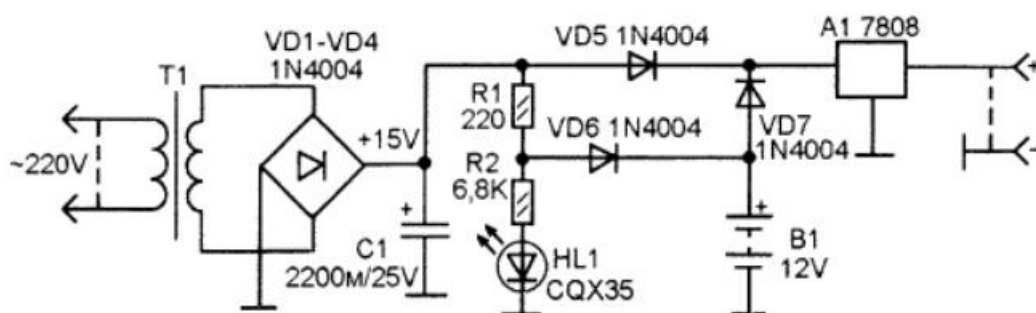


Рисунок 1.1 - Принципиальная схема простейшего источника бесперебойного питания

Основным ее достоинством является простота конструкции. Из ее практически ничего нельзя больше исключить. Все элементы несут важную функциональную нагрузку (трансформация напряжения, преобразование в постоянное напряжение, сглаживание, стабилизация выходного напряжения, автоматическое включение питания от АКБ, ограничение тока заряда АКБ, индикация питания от внешней сети). Недостатком таких конструкций является большая металлоемкость трансформатора на частоте сети.

Еще в качестве существующей конструкции можно привести пример источника питания стабилизированный бесперебойный ТАИС-ИБП25 [5], внешний вид которого представлен на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 - Внешний вид источника бесперебойного питания
ТАИС-ИБП25

По информации производителя источник предназначен для обеспечения бесперебойного питания в стационарных условиях радиостанций и другой радиоэлектронной аппаратуры с повышенными требованиями к стабильности и пульсациям питающего напряжения. Источник может использоваться как обычный блок питания (без аккумулятора), и как бесперебойный (с внешним аккумулятором на 12 В). Источник имеет встроенный блок контроля зарядки аккумулятора, обеспечивающий стабилизацию тока заряда. Переход на питание от аккумулятора (при выключении напряжения в сети) происходит безразрывно.

Блок питания имеет электронную защиту от пробоя регулирующего элемента, от короткого замыкания в нагрузке и от перегрева (неисправности системы охлаждения блока). При понижении напряжения сети ниже 170 В, а также при повышении температуры окружающей среды выше 40 °С порог срабатывания защиты по току автоматически снижается.

Характеристики блока приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 Основные технические характеристики ТАИС-ИБП25

№п/п	Основные технические характеристики	Параметр
1	Напряжение питания	220 В +/- 20%, 50 Гц
2	Номинальное выходное напряжение (без АКБ или с заряженной АКБ)	13.6+/-0.5 В
3	Ток нагрузки для непрерывного режима работы	25А
4	Ток зарядки аккумулятора	3 +/- 0.5А
5	Ток срабатывания защиты при напряжении сети 220 В	26..29А
6	Напряжение пульсаций (при токе в нагрузке 15 А)	не более 25 мВ
7	Диапазон рабочих температур	-5...+40 °С
8	Габаритные размеры	210х150х140 мм
9	Масса	не более 2.5 кг

Цена данного источника питания составляет 4300 рублей.

Схема электрическая принципиальная ИБП ТАИС-ИБП25 представлена на рисунке 1.3.

Хотя и утверждается, что проводится контроль тока заряда АКБ, однако АКБ подключается к выходу источника питания только через предохранитель F3 30А и сопротивление R44 0,005 Ом, и следовательно при контроле тока заряда батареи приходится изменять выходное напряжение блока питания.

Схема данного источника содержит большое число элементов, поэтому достаточно трудоемка в изготовлении, имеет высокую стоимость даже при том, что АКБ не входит в состав источника и должен приобретаться дополнительно.

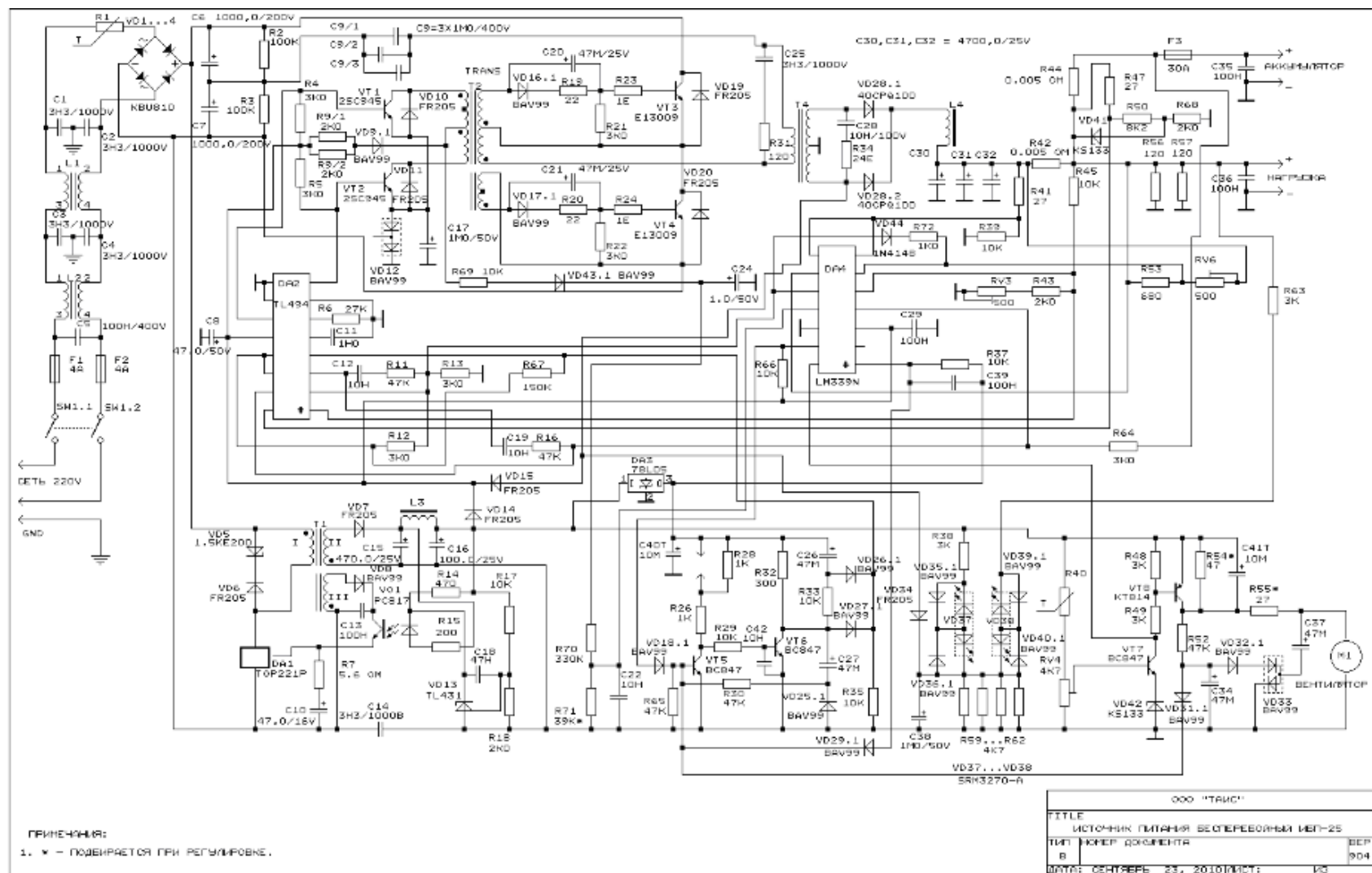


Рисунок 1.3 - Схема электрическая принципиальная ИБП ТАИС-ИБП25

Еще в качестве существующей конструкции можно привести пример источника питания стабилизированный бесперебойный СКАТ-1200И7 исп.1 [6], внешний вид которого представлен на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 - Внешний вид источника питания СКАТ-1200И7 исп.1

Представленный для сравнения источник питания СКАТ-1200И7 исп.1 обеспечивает:

- питание нагрузки стабилизированным напряжением в режиме «ОСНОВНОЙ» (при наличии сетевого напряжения) и в режиме «РЕЗЕРВ» (в отсутствии сетевого напряжения);
- световую индикацию режима работы;
- световую индикацию процесса заряда АКБ;
- автоматический переход на резервное питание от АКБ при отключении электрической сети;
- оптимальный заряд АКБ при наличии напряжения в электрической сети;
- ограничение степени разряда АКБ при отсутствии сети;
- защиту источника от переплюсовки клемм АКБ посредством защиты плавким предохранителем;
- электронную защиту от короткого замыкания клемм АКБ с восстановлением после устранения причин замыкания;
- формирование выходного информационного сигнала «ОК СЕТЬ» в формате открытый коллектор;

- возможность восстановления работоспособности источника при отсутствии напряжения питающей сети и подключении исправной и заряженной АКБ («холодный пуск») путем кратковременного замыкания контактов разъема «ПУСК».

Цена данного источника питания составляет 3000 рублей.

На рисунке 1.5 приведена принципиальная схема источника СКАТ-1200И7.

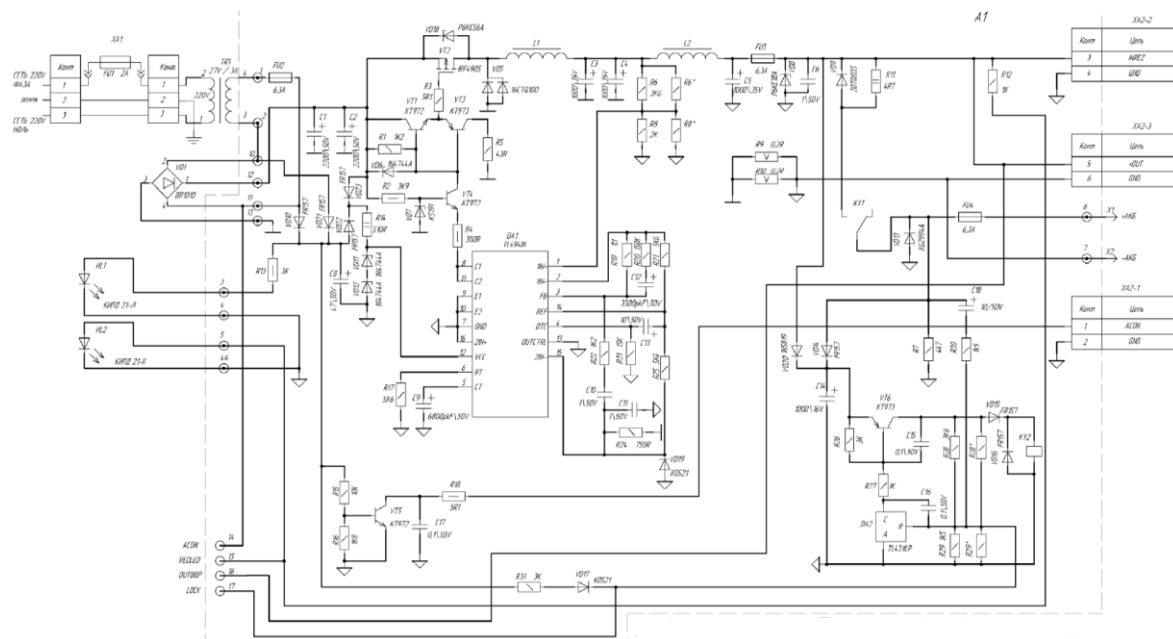


Рисунок 1.5 - Схема электрическая принципиальная СКАТ-1200И7

Данный источник выполнен с использованием более современной элементной базы, поэтому имеет лучшие массогабаритные показатели, хотя из-за применения трансформатора на частоте сети массогабаритные показатели могут быть еще улучшены.

1.3 Разработка функциональной схемы

Выполним разработку функциональной схемы устройства, исходя из требований задания на проектирование и современных схемотехнических решений по блокам вторичного питания. Одним из обязательных условий

является обеспечение гальванической развязки между сетевым питанием и выходным напряжением, подаваемым на подключаемую нагрузку.

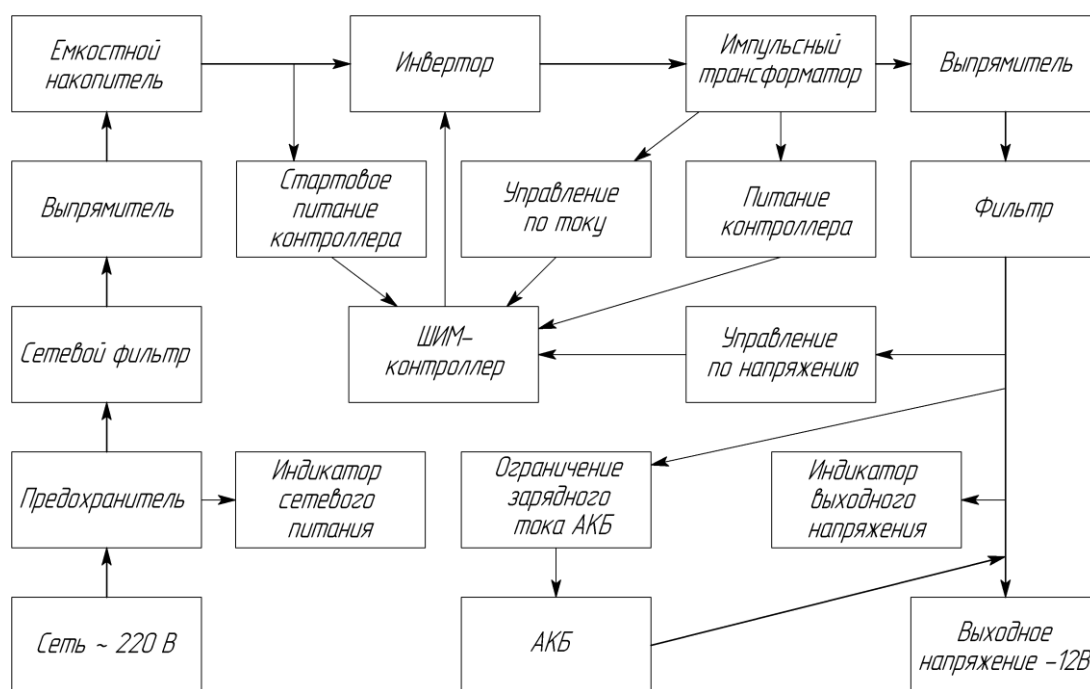


Рисунок 1.6 - Функциональная схема проектируемого источника питания

Приведем перечень блоков функциональной схемы с кратким описанием их функционала:

Сеть ~220 В - подключение питающего входного напряжения;

Предохранитель - защита по входному питанию от перегрузки и короткого замыкания;

Индикатор сетевого питания - световой индикатор показывающий, что блок питания включен и на вход подается сетевое напряжение;

Сетевой фильтр – фильтр, убирающий помехи и сглаживающий броски напряжения, одновременно снижающий распространение в сеть помех от инвертора;

Выпрямитель - обеспечивает преобразование из переменного в постоянное напряжение;

Емкостной накопитель - обеспечивает накопление энергии постоянного напряжения для устойчивой работы инвертора;

Инвертор - обеспечивает преобразование постоянного напряжения в высокочастотное импульсное;

Импульсный трансформатор - высокочастотный трансформатор, выполненный на ферритовом сердечнике, обеспечивающий гальваническую развязку между сетевым напряжением и выходным напряжением;

ШИМ - контроллер - устройство обеспечивающие управление инвертором и реализующее функции регулирования выходного напряжения и защиту по максимальному току;

Стартовое питание контроллера - блок схемы, обеспечивающий питание ШИМ - контроллера в начальный момент при включении устройства;

Питание контроллера - блок схемы, обеспечивающие питание ШИМ - контроллера;

Управление по току - блок схемы, обеспечивающий формирование сигнала для ШИМ - котроллера пропорционального току импульсного трансформатора;

Управление по напряжению - блок схемы, формирующий сигнал для ШИМ - контроллера пропорциональный выходному напряжению, блок должен иметь гальваническую развязку;

Выпрямитель - обеспечивает преобразование импульсного напряжения в постоянное;

Фильтр - обеспечивает сглаживание выходного постоянного напряжения для уменьшения пульсаций и высокочастотных шумов;

АКБ - аккумуляторная батарея обеспечивающая накопление электрической энергии для обеспечения работы подключенной нагрузки, в период выключения входного питающего напряжения;

Ограничение зарядного тока АКБ - блок схемы, обеспечивающий ограничение зарядного тока при зарядке глубоко разряженной АКБ, что увеличивает срок службы батареи;

Индикатор выходного напряжения - световая сигнализация показывающая наличие выходного напряжения;

Выходное напряжение - разъем включения подключаемой нагрузки.

Построенная функциональная схема обеспечивает выполнение устройством необходимых функций, согласно полученного задания.

1.4 Задача проекта

Согласно выданного задания, необходимо разработать источник бесперебойного питания на напряжение 12 В, обеспечивающий, в случае отключения сетевого напряжения, выдачу мощности 40 Вт в течении 10 минут. Так как рассмотренные устройства не подходят по некоторым параметрам, нам нужно разработать собственный вариант источника бесперебойного питания.

Данная установка должна быть безопасной. Необходимо исключить возможность попадания сетевого напряжения в цепь вторичного питания, для этого в схеме должна быть предусмотрена гальваническая развязка.

Также при помощи гальванической развязки мы оградим от попадания под сетевое напряжение работника при несоблюдении техники безопасности или в чрезвычайных обстоятельствах.

Так как проектируемый источник бесперебойного питания, возможно будет использоваться в пожарных извещателях, которые используются в достаточно большом количестве, но при этом не приносят прямой прибыли и поэтому их стоимость должна быть невысока.

В связи с этим в проекте поставим задачу создания недорогого, достаточно компактного источника бесперебойного питания, причем желательно, чтобы при его эксплуатации не требовалось вмешательство обслуживающего персонала.

2 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИСТОЧНИКА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

2.1 Построение принципиальной схемы источника

На основании функциональной схемы, приведенной на рисунке 1.6, и информации из [4, 9, 10] построена принципиальная схема источника бесперебойного питания, смотри рисунок 2.1. В качестве основы для построения преобразователя были использованы материалы по ШИМ-контроллеру NSIP1380. Данный контроллер позволяет построить преобразователь, работающий в квазиимпульсном режиме. В нем сразу встроены система контроля переключения по нулевому значению тока, система контроля по напряжению, система обеспечивающая старт контроллера. Причем весь этот богатый набор функций реализован при минимальной стоимости контроллера, рыночная стоимость составляет порядка 0,5 \$.

Опишем работу функциональных узлов схемы. На входе по сетевому питанию имеется выключатель и предохранитель, обеспечивающий защиту от перегрузок короткого замыкания в случае выхода из строя элементов схемы. Далее расположен фильтр обеспечивающий защиту схемы от бросков напряжения, ограничивающий импульсный ток заряда накопительного конденсатора, а также предотвращающий распространения в сеть высокочастотных помех от преобразователя. В фильтре имеются высокоомное сопротивление R1 служащее для разряда конденсаторов фильтра C1, C2 после выключения питания, что обеспечивает электробезопасность обслуживающего персонала.

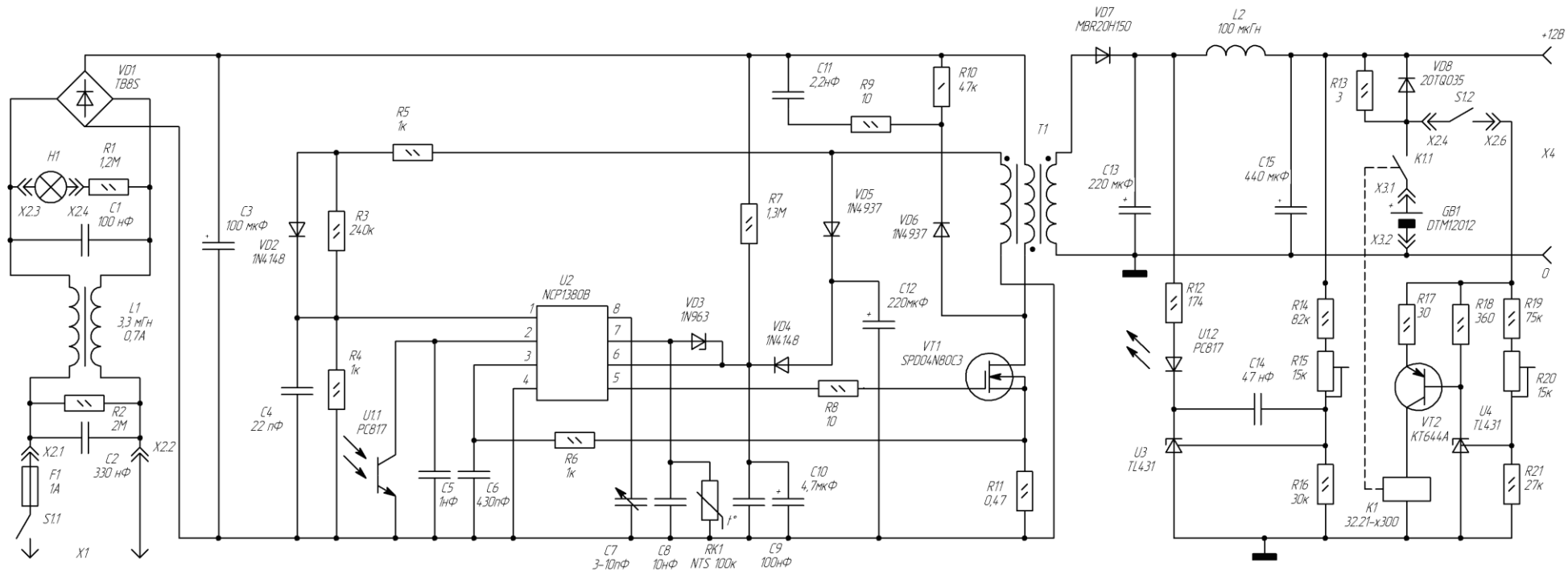


Рисунок 2.1 - Схема электрическая принципиальная блока бесперебойного питания

Далее в схеме установлен индикатор сетевого питания и диодный мост обеспечивающий выпрямление сетевого напряжения. Сглаживанию выпрямленного напряжения обеспечивается накопительным конденсатором С3.

В импульсном преобразователе напряжения используется ШИМ-контроллер U2, импульсный трансформатор Т1 и транзистор VT1 работающий в ключевом режиме. Импульсный трансформатор имеет три обмотки: входную, выходную и обмотку питания ШИМ-контроллера, одновременно использующуюся для определения нулевого значения тока.

Диод VD5 с конденсатором С12 обеспечивают питание ШИМ-контроллера в рабочем режиме. Сопротивление R6 обеспечивает стартовое питание ШИМ-контроллера. Величина напряжения определяется стабилитроном VD3. Сигнал подается на VCC вывод контроллера.

Цепочка из сопротивлений R3-R5 диода VD2 и конденсатора С4 обеспечивают контроль перехода через ноль тока в обмотке трансформатора. Сигнал подается на ZCD вывод контроллера.

Цепочка R6 - С6 обеспечивает защиту преобразователя от перегрузки по току. Сигнал подается на CS вывод контроллера.

Сигнал управления по напряжению подается на вывод FB и формируется оптроном U1. Высокочастотные помехи фильтруются конденсатором С5.

Цепочка RK1 - С8 обеспечивает термокомпенсацию.

К выходной обмотки трансформатора Т1 подключен диод VD7, через который выпрямленное напряжение подается на конденсатор С13. Для устранения высокочастотных помех служит фильтр L2-15.

На основе регулируемого стабилитрона U3 собрана схема, обеспечивающая работу оптрона U1, таким образом, чтобы в зависимости от выходного напряжения подавать необходимый сигнал управления на ШИМ-контролер. Имеется подстроечный резистор R15, с помощью которого

обеспечивается точная настройка схемы по напряжению, компенсирующая технологический разброс параметров элементов схемы.

Аккумулятор подключается к выходному напряжению через диод VD8. Сопротивление R13 обеспечивает ограничение максимального тока заряда АКБ.

В схеме имеется модуль обеспечивающий отключение АКБ при глубоком разряде, это значительно повышает ресурс работы батареи. Работает модуль следующим образом. С положительного зажима АКБ подается напряжение на регулируемый стабилитрон U4, если на АКБ напряжение больше 10,5 В, то на сопротивлении R18 имеется значительное напряжение на транзистор VT2 открыт, что поддерживает реле K1 во включенном состоянии. Как только напряжение на положительной клемме АКБ становится меньше 10,5 В напряжение на R18 снижается, транзистор VT2 закрывается и реле K1 выключается отключая АКБ. Включение реле (и подключение АКБ) происходит автоматически, если будет сетевое напряжение и инвертор будет работать, что обеспечивает во вторичной цепи напряжение более 10,5В. Это обеспечит открытие транзистора VT2 и включение реле K1. Следует отметить, что включение происходит автоматически и не требует вмешательства персонала.

Выключение работы схемы производится выключателем S1, первая группа контактов которого отключает сетевое напряжение и инвертор прекращает работу, а вторая группа контактов разрывает питание реле K1, которое отключает АКБ от нагрузки, исключая разряд батареи при выключении источника питания. После включения S1 работа источника питания возобновляется.

2.2 Выбор аккумуляторной батареи

В источниках бесперебойного питания чаще всего используются свинцовые герметизированные аккумуляторы с гелеобразным электролитом

на основе серной кислоты. Они являются одними из самых дешевых типов аккумуляторов, и в то же время достаточно эффективны - имеют низкое внутреннее сопротивление. У них выше, чем у никель - кадмиевых (NiCd) и никель - металл - гидридных (NiMH) напряжение на элементе, и кислотные аккумуляторы имеют относительно низкий саморазряд. Общий недостаток свинцовых аккумуляторов - они боятся глубокой разрядки. Чем больше АКБ разряжен и чем дольше он находится в разряженном состоянии, тем больше он потеряет емкости. Еще один недостаток свинцовых аккумуляторов для блоков бесперебойного питания - ограниченный срок службы, в большинстве случаев установленный срок эксплуатации не превышает 5 лет. Чем выше температура эксплуатации аккумулятора и чем чаще, продолжительней и глубже разряды, тем короче срок службы свинцового аккумулятора.

Однако, согласно одной из задач проекта, было создание недорогого ИБП, а так как по соотношению цена/емкость свинцовые кислотные аккумуляторы имеют преимущество, поэтому в качестве накопителя энергии будем использовать свинцовые герметизированные аккумуляторы с гелеобразным электролитом на основе серной кислоты. Сотрудники сервисных центров рекомендуют использовать АКБ производителей CSB, Delta, Exide (Tudor), Fiamm, также неплохие АКБ Yuasa, из Bossman только серия Bossman Professional. [14]

Согласно задания проекта источник бесперебойного питания должен выдавать напряжение 12 В в течении 10 минут, обеспечивая питанием нагрузку 40 Вт.

Величина напряжения в 12 В является стандартной для 6-ти элементных аккумуляторных батарей, поэтому в качестве накопителя энергии для проектируемого источника бесперебойного питания будем использовать АКБ с номинальным напряжением в 12 В.

Определим номинальную величину потребляемого нагрузкой тока, используя выражение:

$$I_n = \frac{P}{U} = \frac{40}{12} = 3,33 \text{ A}, \text{ где} \quad (2.1)$$

P - потребляемая мощность, Вт;

U - выходное напряжение, В.

Наиболее грубой ошибкой при выборе номинальной емкости АКБ, является определение ее как произведение потребляемого тока на необходимое время разряда, то есть:

$$C = I_n \cdot \Delta t = 3,33 \cdot 10 / 60 = 0,56 \text{ A} \cdot \text{час} \quad (2.2)$$

Определенная в выражении 2.2 емкость не является номинальной емкостью АКБ, а является емкостью, отдаваемой АКБ при заданном разряде. Номинальная емкость АКБ определяется при 10 или 20 часовом разряде аккумулятора, при этом в конце разряда напряжение на зажимах АКБ достигает значения 10,5 В.

Если выбрать АКБ с емкостью 0,8 А·час, то током в 1,9 А она будет полностью разряжена за 10 минут (согласно данных компании "DELTA" [3]). Уменьшение отдаваемой АКБ емкости большими токами разряда установил еще в 1897 году английский ученый Пекерт (Peukert). Полученная величина тока разряда значительно меньше номинального потребляемого тока согласно задания.

С учетом вышеизложенного проведем выбор АКБ для проектируемого источника бесперебойного питания. Выбор произведем среди продукции компании "DELTA". Это обусловлено тем, что продукция данной компании широко используется в источниках безаварийного питания, продукция отличается высоким качеством, а также, что немаловажно, компания предоставляет информацию о широком круге технических характеристик выпускаемых аккумуляторов.

Сделаем предварительный выбор аккумулятора для нашего источника бесперебойного питания из продукции компании "DELTA", и оценим возможность применения АКБ DTM12022. Данный аккумулятор имеет номинальное напряжение 12 В и номинальную емкость 2,2 А·час. Данный

аккумулятор, согласно технических характеристик [3], способен в течении 10 минут выдавать мощность 9,5 Вт/эл., то есть 57 Вт, что несколько больше задания, но следующий меньший типоразмер DTM12012 может выдавать в течении 10 минут только 30,9 Вт, что меньше заданных 40 Вт.

На рисунке 2.2 представлен внешний вид аккумуляторной батареи DTM12022.



Рисунок 2.2 - Внешний вид аккумуляторной батареи DTM12022

В задании на проектирование не уточняется цикличность разрядов АКБ проектируемого источника бесперебойного питания, однако эта информация необходима для определения устойчивой долговечной работы АКБ. Примем условно, что проектируемый источник питания будет подвергаться отключению сетевого питания в среднем 1 раз в месяц, причем возможен режим 100% разряда АКБ. Срок службы батареи, согласно паспортным данным, составляет 5 лет. Из этих данных можно определить, что за весь срок службы батареи ожидается порядка 60 циклов разряда АКБ.

На рисунке 2.3 приведена зависимость изменения емкости АКБ от числа циклов разряда, из которой мы можем определить, что после 60 циклов 100% разряда номинальная емкость АКБ составит не менее 95% от начальной. Пропорционально уменьшится и выдаваемая АКБ мощность за 10 минут разряда, то есть в конце срока эксплуатации выдаваемая мощность составит $57 \cdot 0,95 = 54$ Вт, что обеспечивает требования задания.

На рисунке 2.4 приведены характеристики процесса зарядки выбранного АКБ. Следует обратить внимание, что характеристики даны для

одного элемента АКБ. Из данного графика видно, что ток заряда не должен превышать 0,3 А, при этом при максимальном разряде напряжение на АКБ составляет 12,6 В. Напряжение на заряженной батарее составляет $2,25 \cdot 6 = 13,5$ В.

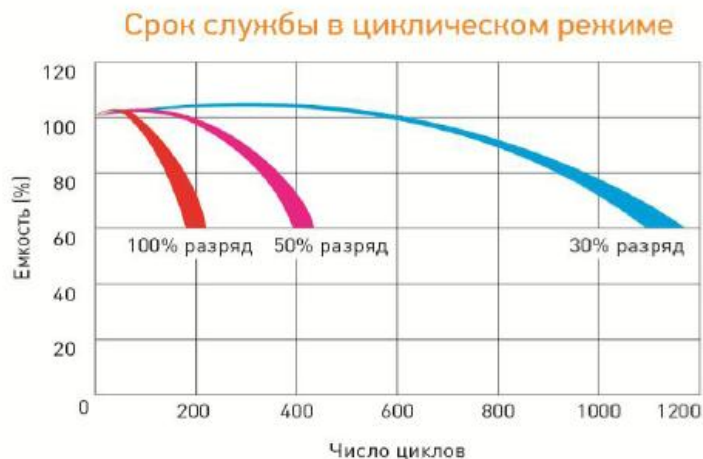


Рисунок 2.3 - Зависимость изменения емкости АКБ от числа циклов разряда

Мощность, потребляемая при заряде АКБ, составляет $0,3 \cdot 13,5 = 4,05$ Вт.

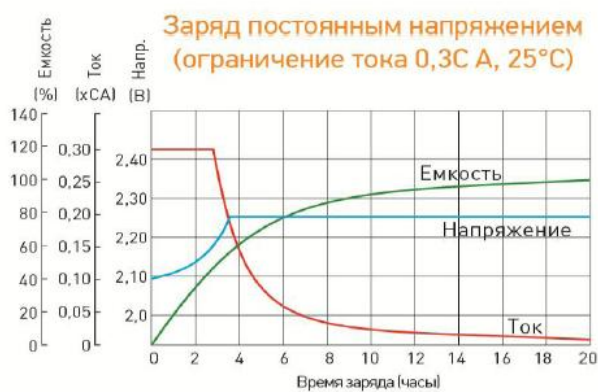


Рисунок 2.4 - Характеристики заряда АКБ (для 1-го элемента)

2.3 Расчет параметров входного выпрямителя

Входная, после выпрямителя, ёмкость С4 фильтрует пульсации 50, 100 Гц. Значение входной ёмкости влияет на минимальное входное постоянное напряжение и на коэффициент пульсаций.

В среднем, при входном напряжении $\sim 220 \text{ В} \pm 15\%$ необходимо обеспечить 1 мкФ на 1 Вт. Задавшись значением $U_{\min}$ можно определить $C4$ используя выражение:

$$C4 = \frac{2 \cdot P \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot f_c} - t_c \right)}{\eta \cdot (U_{\text{cmin}}^2 - U_{C4\text{min}}^2)} = \frac{2 \cdot 45 \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot 50} - 0,0025 \right)}{0,85 \cdot (173,2^2 - 224^2)} = 80,9 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} , \text{ где} \quad (2.3)$$

P - выходная мощность;

f_c - частота сети, 50 Гц;

t_c — время, в течение которого выпрямитель открыт, обычно 2...3 мс, принимаем 2,5 мс;

U_{cmin} - минимальное сетевое напряжение, с учетом 20% уменьшения и потерь на диодах моста и фильтре принимаем $220 \cdot 0,8 - 2,8 = 173,2 \text{ В}$;

$U_{C4\text{min}}$ - минимальное напряжение на конденсаторе $C4$, принимаем 224 В.

Выбираем для установки электролитический конденсатор $C4$ емкостью 100 мкФ на 450 В.

В качестве выпрямителя будем использовать диодный мост TB8S с действующим обратным напряжением 560 В и прямым током 1 А.

В качестве синфазного фильтра на месте индуктивности $L1$ используем дроссель компании Sumida [20] RK17 серийный номер 570 16 033 1Н с параметрами индуктивность 3,3 мГн, действующий ток 0,7 А, активное сопротивление 0,18 Ом.

2.4 Определение основных параметров инвертора

В статье И. Ромадиной [8] приведена таблица базовых топологий схем, применяемых при построении импульсных источников питания. Для источников мощностью менее 300 Вт рекомендуется применять обратноходовые преобразователи. Данные схемы применяются в источниках питания бытовой аппаратуры (TV, DVD и т. п.), в зарядных устройствах и

внешних блоках питания. Данные схемы отличаются простотой, малым числом элементов и низкой стоимостью получаемых конструкций.

В материалах журнала World Electric Vehicle Journal есть статья [11], в которой рассмотрен квазирезонансный режим работы обратноходовых преобразователей, используемых в импульсных блоках питания. На рисунке 2.5 приведена расчетная схема из указанной статьи.

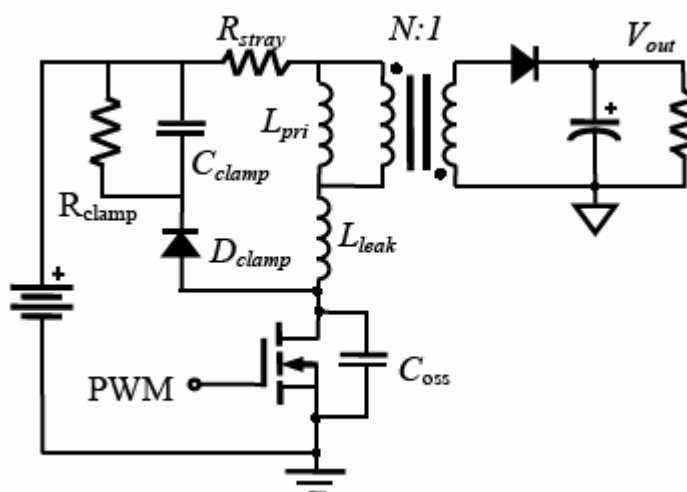


Рисунок 2.5 - Расчетная схема для обратноходового преобразователя

В статье имеются расчетные формулы для определения основных параметров схемы. Воспользуемся ими для расчета основных параметров преобразователя.

При расчетах необходимы некоторые параметры ключевого транзистора в преобразователе. В качестве предварительного выбора возьмем транзистор STB18NM80 [12], со следующими основными параметрами:

максимальное напряжение сток-исток V_{DSS} - 800 В;

емкость перехода сток-исток C_{oss} - 210 пФ;

максимальный пропускаемый ток I_D - 17 А.

Расчет проведем для наиболее сложного, в смысле обеспечения выходных характеристик режима работы преобразователя - при минимальном входном напряжении, при необходимости вычисляя параметры и при номинальном напряжении.

Минимальное напряжение питания преобразователя было выбрано в выражении 2.3 и при установке C4 емкостью 100 мкФ будет не менее 224 В.

При этом номинальное напряжение питания преобразователя $U_{in}=280$ В.

Определим расчетный коэффициент трансформации для импульсного трансформатора по формуле:

$$N = \frac{\alpha \cdot (U_{out} + U_f)}{U_{DSmax} - U_{inmin}} = \frac{3,5 \cdot (13,5 + 0,8)}{640 - 224} = 0,1136, \text{ где} \quad (2.4)$$

α – коэффициент зависимости между ограниченным напряжением на транзисторе и напряжением на первичной обмотке трансформатора, рекомендуется значение 3,5;

U_{out} – выходное напряжение, берем 13,5 В;

U_f – падение напряжения на диоде, принимаем 0,8 В;

U_{inmin} – минимальное входное напряжение, 224 В;

U_{DSmax} – обычно принимают 70-80% от V_{DSS} транзистора, $800 \cdot 0,8 = 640$ В.

Определяем максимальный пиковый ток в первичной обмотке трансформатора, как для режима минимального напряжения, так и для номинального, используя выражение:

$$I_{1нук} = \frac{2 \cdot P}{\eta} \cdot \left(\frac{N}{U_{out} + U_f} + \frac{1}{U_{inmin}} + \pi \sqrt{\frac{\eta \cdot C_{oss} \cdot f_{sw}}{2 \cdot P}} \right), \text{ где} \quad (2.5)$$

P – выходная мощность преобразователя, 45 Вт;

η – КПД преобразователя, из опыта подобных конструкций принимаем 0,9;

C_{oss} – емкость перехода сток-исток, для транзистора STB18NM80, согласно [Л STB18NM80] составляет 210 пФ;

f_{sw} – частота переключения с полной нагрузкой, принимаем 200 кГц.

$$I_{1нук} = \frac{2 \cdot 45}{0,9} \cdot \left(\frac{0,1136}{13,5 + 0,8} + \frac{1}{224} + \pi \sqrt{\frac{0,9 \cdot 210 \cdot 10^{-12} \cdot 200000}{2 \cdot 45}} \right) = 1,44 \text{ А}$$

Максимальный пиковый ток при номинальном напряжении сети $I_{1\text{пикном}}=1,36 \text{ А}$.

Определим расчетную индуктивность первичной обмотки трансформатора:

$$L_{pri} = \frac{2 \cdot P_{out}}{I_{1нук}^2 \cdot f_{sw} \cdot \eta} = \frac{2 \cdot 45}{1,44^2 \cdot 200000 \cdot 0,9} = 0,00024 \text{ Гн} \quad (2.6)$$

Вычислим максимальную скважность по формуле:

$$d = \frac{I_{1нук} \cdot L_{pri} \cdot f_{sw}}{U_{in}} = \frac{1,44 \cdot 0,00024 \cdot 200000}{224} = 0,309 \quad (2.7)$$

Скважность при номинальном напряжении $d_{ном}=0,232$.

Определим действующий ток в первичной обмотке трансформатора:

$$I_{1д} = I_{1нук} \cdot \sqrt{\frac{d}{3}} = 1,44 \cdot \sqrt{\frac{0,309}{3}} = 0,46 \text{ А} \quad (2.8)$$

Действующий ток в первичной обмотке при номинальном напряжении $I_{1дном}=0,38 \text{ А}$.

Определим действующий ток во вторичной обмотке трансформатора:

$$I_{2д} = \frac{I_{1нук}}{N} \cdot \sqrt{\frac{1-d}{3}} = \frac{1,44}{0,1136} \cdot \sqrt{\frac{1-0,309}{3}} = 6,1 \text{ А} \quad (2.9)$$

Действующий ток во вторичной обмотке при номинальном напряжении $I_{2дном}=6,04 \text{ А}$.

Выполненные расчеты показывают, что ключевой транзистор выбран со значительным запасом и на его место может быть установлен SPD04N80C3 со следующими основными параметрами:

максимальное напряжение сток-исток $V_{DSS} - 800 \text{ В}$;

емкость перехода сток-исток $C_{oss} - 240 \text{ пФ}$;

максимальный пропускаемый ток $I_D - 4 \text{ А}$.

Однако его сопротивление в открытом состоянии составляет $1,3 \text{ Ом}$, по сравнению с $0,295 \text{ Ом}$ у STB18NM80, что при его использовании ведет к увеличению потерь на $0,2 \text{ Вт}$, и ухудшению КПД на $0,5\%$.

Будем считать, что уменьшение КПД незначительно и примем к использованию на месте VT1 транзистора SPD04N80C3 в корпусе PG-TO252. Выделение тепла на нем в режиме с пониженным напряжением сети и номинальной нагрузкой составит:

$$W_{VT1} = I_{10}^2 \cdot R_{DS} = 0,46^2 \cdot 1,3 = 0,279 \text{ Вт} \quad (2.10)$$

Внутреннее тепловое сопротивление транзистора SPD04N80C3 меньше 1,3 К/Вт, и внутренне повышение температуры составит менее 1 градуса, следовательно, использование дополнительного радиатора не требуется.

На рисунке 2.6 представлен внешний вид и схематичное определение выводов транзистора.

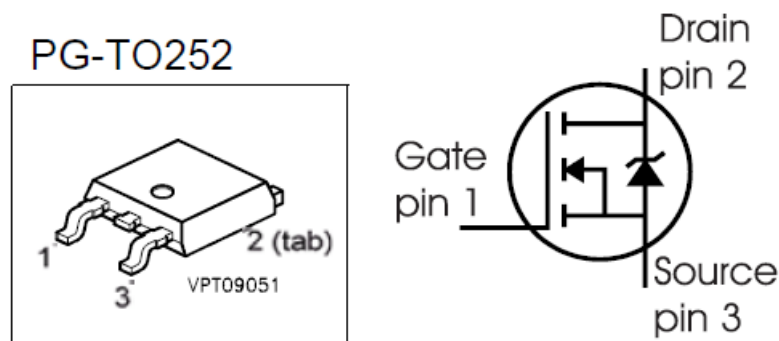


Рисунок 2.6 - Транзистор SPD04N80C3 в корпусе PG-TO252

2.5 Расчет конструкции импульсного трансформатора

Трансформатор, работающий в схеме обратноходового преобразователя, так называемый обратноходовой трансформатор, имеет свойство, характерное только для этого типа трансформаторов, — способность за время прямого хода запасать энергию, а на обратном ходу отдавать энергию в нагрузку. При этом работа трансформатора напоминает работу дросселя.

При проектировании обратноходового трансформатора необходимо знать максимальный пиковый ток в первичной обмотке $I_{1\text{пик}}$, который

определяет максимальную энергию, запасаемую в трансформаторе. Максимальный пиковый ток в первичной обмотке определен в выражении 2.5.

Определим максимальную энергию, запасаемую в магнитном поле сердечника трансформатора за один импульс тока:

$$E_{\text{имп}} = \frac{L_1 \cdot I_{\text{имп}}^2}{2} = \frac{0,24 \cdot 10^{-3} \cdot 1,44^2}{2} = 2,49 \cdot 10^{-4} \text{ Дж} , \text{ где} \quad (2.11)$$

L_1 - индуктивность первичной обмотки, определена в выражении 2.6.

Необходимо проверить, удовлетворяется ли условие:

$$E_{\text{имп}} \cdot f > P \quad , \text{ где} \quad (2.12)$$

$$2,49 \cdot 10^{-4} \cdot 200000 > 45$$

$$49,84 > 45.$$

Условие по запасаемой энергии выполняется.

Так как запасти необходимую энергию в магнитном поле замкнутого сердечника трансформатора, без входа в зону насыщения, затруднительно (для этого потребуются магнитопровод большого размера, и тогда преимущества создания импульсного преобразователя в сравнении с трансформатором на сетевой частоте практически исчезнут), поэтому для повышения энергии запасаемой в магнитном поле сердечника в сердечнике делают небольшой не заполненный ферромагнетиком зазор.

Ферритовые кольцевые сердечники с пропилом (сосредоточенным зазором) производства фирмы Ferroxcube могут применяться для изготовления силовых обратных высокочастотных трансформаторов и накопительных дросселей. Благодаря зазору (пропилу) материал сердечника не входит в насыщение при достаточно больших токах

Сердечник изготавливается путем пропила требуемого зазора в цельном кольцевом сердечнике, изготовленном из материала 3С20, обладающего частотной стабильностью и высокой индукцией насыщения. На готовый сердечник с пропилом наносится нейлоновое покрытие, заполняющее зазор и служащее дополнительной изоляцией. Благодаря

нанесению покрытия, готовый сердечник является визуально сплошным, и намотка обмоток на сердечник с пропилом принципиально не отличается от намотки обмоток на обычный кольцевой сердечник.

Фирма Ferroxcube выпускает линейку ферритовых колец с зазором [17]. Выберем из приведенных данных ферритовое кольцо ET26/11-3C20-A201 со следующими параметрами:

- внешний диаметр кольца – $26,8 \pm 0,7$ мм;
- внутренний диаметр кольца – $13,5 \pm 0,6$ мм;
- высота кольца – $11,6 \pm 0,5$ мм;

индуктивность на один виток – 201 нГн/вит.

Исходя из представленных данных и имея расчетное значение индуктивности первичной обмотки, находим предварительное значение числа витков первичной обмотки:

$$N_{\text{пред}} = \sqrt{\frac{L_1}{A_L}} = \sqrt{\frac{0,24 \cdot 10^{-3}}{201 \cdot 10^{-9}}} = 34,58 \text{ витков} , \text{ где} \quad (2.13)$$

Определяем число витков вторичной обмотки:

$$N_2 = N_{\text{пред}} \cdot N = 34,58 \cdot 0,1136 = 3,93 \text{ витка} , \text{ где} \quad (2.14)$$

N - коэффициент трансформации трансформатора, из выражения 2.4.

Принимаем N_2 равным 4 виткам.

Определяем количество витков в первичной обмотке:

$$N_1 = \frac{N_2}{N} = \frac{4}{0,1136} = 35,2 \text{ витка} , \quad (2.15)$$

Принимаем N_1 равным 35 виткам.

Число витков в дополнительной обмотке принимаем равным числу витков во вторичной обмотке, то есть N_3 равна 4 виткам.

Уточненный коэффициент трансформации:

$$N = \frac{N_2}{N_1} = \frac{4}{35} = 0,1143 \text{ о.е.}, \quad (2.16)$$

Определяем намагничивающую силу (н.с.), создаваемую первичной обмоткой при максимальном импульсном токе:

$$F = I_{\text{инк}} \cdot N_1 = 1,44 \cdot 35 = 50,4 \text{ А} \cdot \text{витков} , \quad (2.17)$$

В [17] представлены зависимости величины индуктивности на виток (AL) от намагничивающей силы, приложенной к сердечнику для стандартных сердечников с пропилом. На рисунке 2.7 приведена такая зависимость для выбранного сердечника.

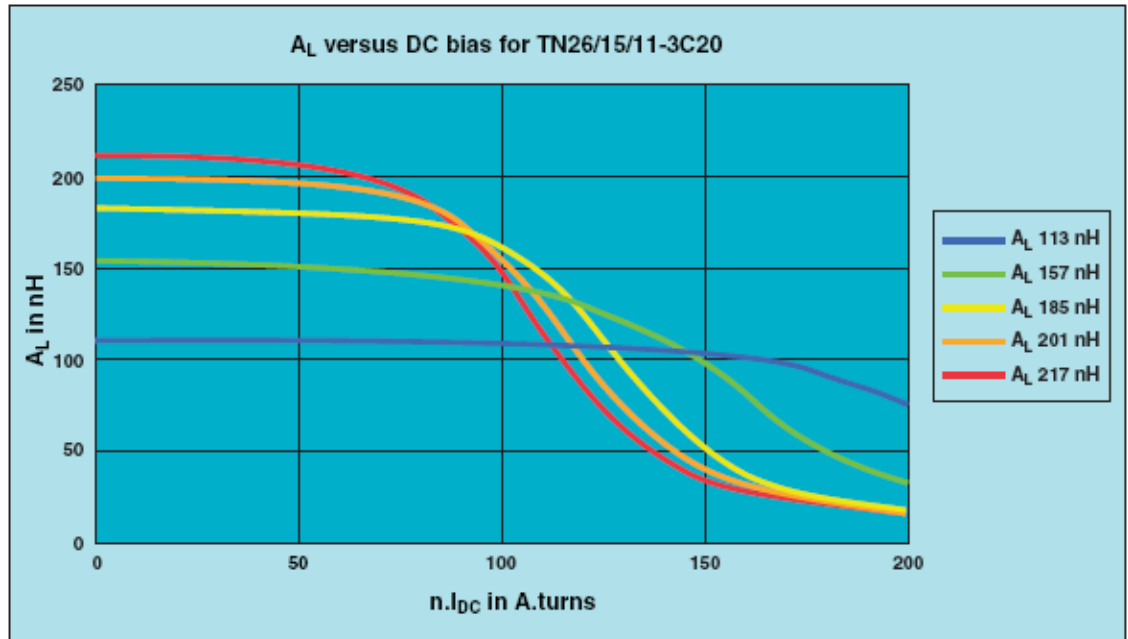


Рисунок 2.7 - Зависимость величины индуктивности на виток (A_L) от намагничивающей силы, приложенной к сердечнику

Как видно по графику для н.с. в 50,4 А сердечник еще далек от насыщения. По графику для рассчитанной н.с. определяем уточненное значение индуктивности на виток, получаем 195 нГн/виток.

Определяем уточненные величины индуктивностей обмоток:

$$L_1 = N_1^2 \cdot A_L = 35^2 \cdot 195 = 0,239 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (2.18)$$

$$L_2 = N_2^2 \cdot A_L = 4^2 \cdot 195 = 3,12 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (2.19)$$

Для намотки на трансформатор обмоток будем использовать литцендрат (рисунок 2.8). Это многожильный провод, каждая жила которого покрыта изолирующим лаком. Применяется для изготовления катушек индуктивности высокой добротности, обмоток электрических машин, аппаратов и приборов переменного тока высокой частоты.

Высокая добротность катушек индуктивности, намотанных литцендратом, обеспечивается более эффективным использованием сечения составляющих этот провод жил, так как переменный ток в проводнике протекает преимущественно в поверхностном слое (т. н. скин-эффект), и чем выше частота, тем сильнее проявляется скин-эффект. Применение литцендрата позволяет уменьшить массогабаритные параметры катушек при сохранении или улучшении значений добротности и уменьшении активного сопротивления.



Рисунок - 2.8 Внешний вид провода литцендрат

Чебоксарский завод кабельных изделий выпускает провода, типа литцендрат, марок ЛЭП, ЛЭПКО и ЛЭПШД по ТУ 16.К80-03-89 [18]. Для нашего трансформатора будем использовать провод марки ЛЭП. Это провод круглого сечения с жилой, скрученной из медных проволок, изолированных лаком на полиуретановой основе. Концы проводов облуживаются без предварительного удаления изоляции, что облегчает процесс монтажа трансформатора. Изоляция провода выдерживает температуру 120°C.

Определим площадь сечения меди провода первичной обмотки трансформатора:

$$S_{1м} = \frac{I_{1д}}{J} = \frac{0,46}{1,87} = 0,248 \text{ мм}^2, \text{ где} \quad (2.20)$$

$I_{1д}$ - максимальное действующее значение тока в первичной обмотке из выражения 2.8;

J - плотность тока в обмотках принимаем равной $1,87 \text{ А/мм}^2$.

Принимаем для первичной обмотки провод ЛЭП 32x0,1 ТУ 16.К80-03-89. Провод состоит из 32 медных проводников диаметром 0,1мм, имеет сечение по меди $0,251 \text{ мм}^2$, и внешний диаметр по изоляции 0,84 мм.

Определим площадь сечения меди провода вторичной обмотки трансформатора:

$$S_{2.м} = \frac{I_{2\partial}}{J} = \frac{6,1}{1,87} = 3,26 \text{ мм}^2, \text{ где} \quad (2.21)$$

$I_{1д}$ - максимальное действующее значение тока во вторичной обмотке из выражения 2.9.

Для выполнения вторичной обмотки используем параллельно 3 провода ЛЭП 147x0,1 ТУ 16.К80-03-89. Каждый провод состоит из 147 медных проводников диаметром 0,1мм, имеет сечение по меди $1,154 \text{ мм}^2$, и внешний диаметр по изоляции 2,04 мм. Суммарная площадь по меди составляет $3,462 \text{ мм}^2$.

Число витков в дополнительной обмотке определяем следующим образом:

$$N_{\partial} = N_2 \frac{V_{cc}}{U_{out}} = 4 \cdot \frac{17}{13,5} = 5,04, \text{ где} \quad (2.22)$$

V_{cc} – напряжение питания ШИМ-контроллера, согласно [4] равно 17 В;

U_{out} – выходное напряжение, берем из выражения (2.4).

Принимаем 5 витков в дополнительной обмотке трансформатора.

Так как напряжение V_{cc} создается стабилитроном VD3, то сечение провода дополнительной обмотки определим используя значение максимального тока стабилизации у стабилитрона VD3 - 1N967. Согласно данным [1N967], максимальный ток стабилизации 17 мА и, следовательно, расчетное сечение дополнительной обмотки:

$$S_{3.м} = \frac{I_{\partial}}{J} = \frac{17 \cdot 10^{-3}}{1,87} = 0,0091 \text{ мм}^2, \quad (2.23)$$

Провод выбираем с некоторым запасом по сечению и для дополнительной обмотки используем провод ЛЭП 3х0,1 ТУ 16.К80-03-89. Провод состоит из 3 медных проводников диаметром 0,1мм, имеет сечение по меди 0,0119 мм², и внешний диаметр по изоляции 0,19 мм.

Определим сечения обмоток, которые они занимают в окне сердечника по формуле:

$$S_{iw} = \frac{N_i \cdot n_i \cdot \pi \cdot d_{uzi}^2}{4}, \text{ где} \quad (2.24)$$

n_i – число параллельных проводов в обмотке.

Результаты вычислений занесем в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 Обмоточные данные трансформатора Т1

Наименование обмотки	Число витков	Провод	Число параллельных проводов	Сечение по меди, мм ²	Сечение обмотки в окне, мм ²
Первичная	35	ЛЭП 32х0,1	1	0,251	19,40
Вторичная	4	ЛЭП 147х0,1	3	3,462	39,22
Дополнительная	5	ЛЭП 3х0,1	1	0,0119	0,15
Всего:					58,77

В результате по данным таблицы 2.1 обмотка в окне занимает 58,77 мм². Внутренний диаметр кольца с учетом изоляции – 13,5±0,6 мм.

Коэффициент заполнения окна определяем по формуле:

$$K_{зок} = \frac{S_{об} \cdot 4}{\pi \cdot d_{окmin}^2} = \frac{58,77 \cdot 4}{3,14 \cdot 12,9^2} = 0,45 \text{ o.e.}, \text{ где} \quad (2.25)$$

$d_{окmin}$ - минимальный возможный внутренний диаметр кольца, с учетом допуска 12,9 мм.

Полученный коэффициент заполнения подтверждает возможность размещения обмоток в окне магнитного кольца, и следовательно, подтверждена возможность изготовления рассчитанного трансформатора.

Очередность намотки обмоток должна быть следующей: первой наматывается первичная обмотка, это обеспечит для нее минимальный поток рассеивания и уменьшит межвитковую емкость, второй наматывается

вторичная обмотка сразу в три провода, что уменьшит межвитковую емкость, так как дополнительная обмотка имеет маленькую мощность и к ней минимальные требования, то она наматывается последней.

Расчетный внешний диаметр трансформатора можно определить по следующей формуле:

$$D_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{об}}}{\pi \cdot K_3} + d_{1\text{max}}^2} + 2 \cdot h_{\text{из}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 58,77}{3,14 \cdot 0,5} + 27,5^2} + 2 \cdot 0,5 = 31,1 \text{ мм} , \text{ где} \quad (2.26)$$

K_3 – коэффициент заполнения, для внешней части обмотки принимаем равным 0,5;

$d_{1\text{max}}$ - максимально возможный внешний диаметр кольца, с учетом изоляции и допуска 27,5 мм.

$h_{\text{из}}$ – толщина внешней изоляции обмотки, принимаем 0,5 мм.

На выводы обмоток необходимо надеть изолирующие трубки и закрепить их к внешней изоляции обмоток.

2.6 Расчет цепочки задающей длительность импульса.

Длительность импульса тока в первичной обмотке трансформатора определяется периодом времени открытия ключевого транзистора. Данный период времени формируется ШИМ-контроллером. Момент включения определяется активным на данный момент режимом управления, а момент выключения согласно [4] возникает в тот момент когда напряжение на конденсаторе C_7 , подключенного к выводу St достигает величины V_{FB} , величина которого так же зависит от активного режима управления. Зарядка конденсатора происходит от встроенного в ШИМ-контроллер стабилизированного источника тока, согласно документации величина этого тока (I_{CT}) равна 20 мкА.

Рассчитаем емкость конденсатора C_7 необходимую в номинальном режиме работы по формуле

$$C_7 = \frac{t_i \cdot I_{\text{CT}}}{V_{\text{CT}}} = \frac{0,6 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{2,2} = 5,45 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} , \text{ где} \quad (2.27)$$

Выбираем подстроечный конденсатор серии TZBX4R100 с диапазоном регулирования емкости от 3 до 10 пФ.

Следует отметить, что если проектируемый источник будет выпускаться достаточно массово, то для снижения себестоимости и повышения надежности работы конденсатор С7 желательно, с учетом опыта использования в ранее собранных конструкциях, заменить на конденсатор постоянной емкости.

2.7 Расчет защиты от перегрузки или короткого замыкания

В ШИМ-контроллере NCP1380В реализована функция автовосстановления после сбоя (AutoRecovery). Блокировка срабатывает при обнаружении повышенного тока в цепи нагрузки, например при коротком замыкании или перегрузке. Условие короткого замыкания определяется таймером длительностью 80 мс. Если повышенный ток детектируется более 80 мс, то ситуация оценивается как аварийная и работа преобразователя блокируется. На рисунке 2.9, взятом из [4], представлены диаграммы напряжений и сигналов, поясняющие работу системы защиты от перегрузки. После блокировки работы происходит уменьшение напряжения питания ШИМ-контроллера на выводе $V_{CC}(6)$, так как питание с дополнительной обмотки трансформатора перестает поступать и питание осуществляется через сопротивление R7. Как только напряжение V_{CC} достигнет уровня $V_{CC(off)}$ (согласно документации это 9 В), схема переходит в режим повторного запуска.

Проведем расчет элементов схемы ответственных за срабатывание токовой защиты. Защита от перегрузки или короткого замыкания ШИМ-контроллера осуществляется путем подачи на ввод CS(3) напряжения выше опорного V_{ILIM} (согласно документации $V_{ILIM}=0,8$ В).

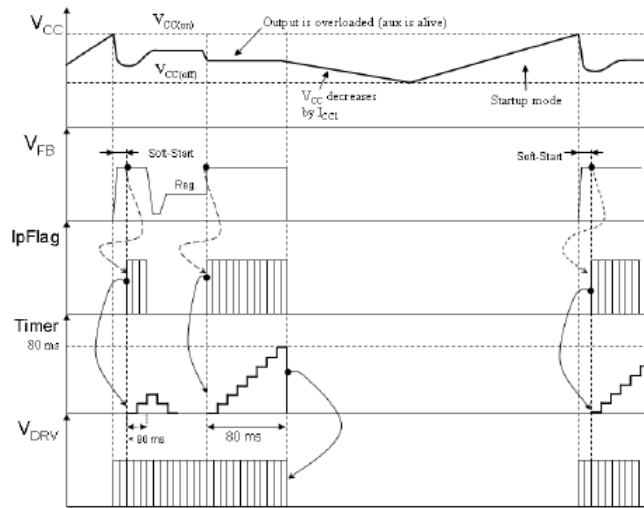


Рисунок 2.9 - Диаграммы срабатывания токовой защиты NCP1380B

Согласно расчетам из выражения 2.5 максимальный пиковый ток в первичной обмотке трансформатора $I_{\text{пик}}$ равен 1,44 А. Примем допускаемое превышение по току в 25% и тогда допустимый мгновенный ток $I_{\text{доп}}$ будет равен 1,8 А.

$$R_{11} = \frac{V_{\text{ILIM}}}{I_{1\text{дон}}} = \frac{0,8}{1,8} = 0,444 \text{ Ом} , \quad (2.28)$$

Выбираем в качестве сопротивления R11 резистор типоразмера 0805 номиналом 0,47 Ом.

Определим тепловые потери на этом резисторе:

$$P_{R11} = I_{10}^2 \cdot R_{11} = 0,46^2 \cdot 0,47 = 0,099 \text{ Вт} , \text{ где} \quad (2.29)$$

$I_{1д}$ – максимальное действующее значение тока в первичной обмотке трансформатора, определено в выражении 2.8.

Резисторы типоразмера 0805 имеют номинальную мощность при 70° 0,125 Вт, следовательно, выбор резистора проведен правильно.

Определим параметры интегрирующей цепочки R6-C6.

Сопротивление выберем величиной 1 кОм, а для выбора номинала конденсатора проведем расчет постоянной времени заряда цепочки с учетом, что постоянная времени должна быть немного больше, чем время анализа величины в ШИМ-контроллере. Данное время t_{LEB} по данным [4] составляет от 210 до 330 нс. Рассчитаем номинал емкости C6:

$$C_6 \geq \frac{t_{LEB}}{R_6} = \frac{330 \cdot 10^{-9}}{10^3} = 330 \cdot 10^{-12} \Phi, \quad (2.30)$$

Выбираем конденсатор С6 типоразмера 0402 емкостью 430 пФ $\pm 10\%$ NPO 50 В, который обозначается СС-0402-NPO-431-K-N-500.

Выбираем в качестве сопротивления R6 резистор типоразмера 0805 номиналом 1 кОм.

2.8 Определение параметров элементов блока управления по напряжению

Для поддержания заданного уровня выходного напряжения в ШИМ-контроллере предусмотрена реализация нескольких режимов управления включением ключевого элемента преобразователя. Сигнал управления должен подаваться на вывод FB ШИМ-контроллера. В документации [4] имеется диаграмма зависимости и режима переключений режимов работы контроллера в зависимости от напряжения на выводе FB, которая и представлена на рисунке 2.10. Как видно из графика в контроллере реализована система переключений, обладающая релейным эффектом, что повышает устойчивость регулирования, хотя несколько расширяет диапазон переключающих напряжений, что снижает точность регулирования, зато исключает раскачивание рабочего режима схемы.

Используя данный механизм можно обеспечить удержание напряжения на выходе импульсного трансформатора в некотором фиксированном диапазоне, а если в качестве управляющего элемента использовать оптрон, то это позволит обеспечить гальваническую развязку между выходным напряжением и входным сетевым напряжением.

Исходя из рабочего напряжения и необходимого диапазона регулирования, выбираем для установки оптрон РС817 [13], внешний вид которого представлен на рисунке 2.11.

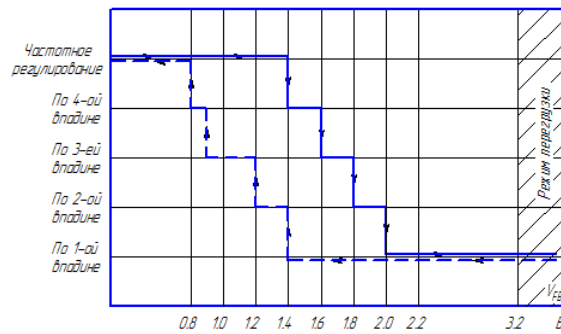


Рисунок 2.10 - Зависимость режима управления ШИМ-контроллера от напряжения на выводе FB

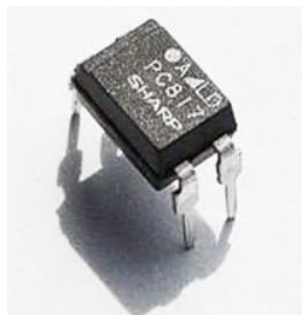


Рисунок 2.11 - Внешний вид оптрона PC817

Основные характеристики оптрона PC817 следующие:

прямой ток I_F входа - 50 мА;

прямое напряжение V_F , при $I_F=20\text{mA}$ - 1,2 В;

обратное напряжение V_R входа - 6 В:

напряжение коллектор - эмиттер V_{CEO} - 35 В;

напряжение эмиттер - коллектор V_{ECO} - 6 В.

Характеристика отношений тока коллектора к напряжению коллектор - эмиттер при различных входных токах, представленная в [13], приведена на рисунке 2.12.

На характеристике оптрона построим нагрузочную характеристику (прямая $I_c(V_{FB})$), которая определяется напряжением V_{DD} контроллера и встроенным сопротивлением. Определив точки пересечения нагрузочной характеристики, с характеристиками оптрона при разных входных токах I_F , на этом же рисунке строим регулировочную характеристику (кривая $I_F(V_{FB})$) - зависимость напряжения на выводе FB контроллера от входного тока

оптрона. Как видно из полученного графика для того чтобы напряжение на выводе FB контроллера находилось в диапазоне регулирования (0,8-3,2 В), входной ток оптрона должен быть в пределах 5,8 - 12,8 мА. Занесем данные по регулировочной характеристике в таблицу 2.2.

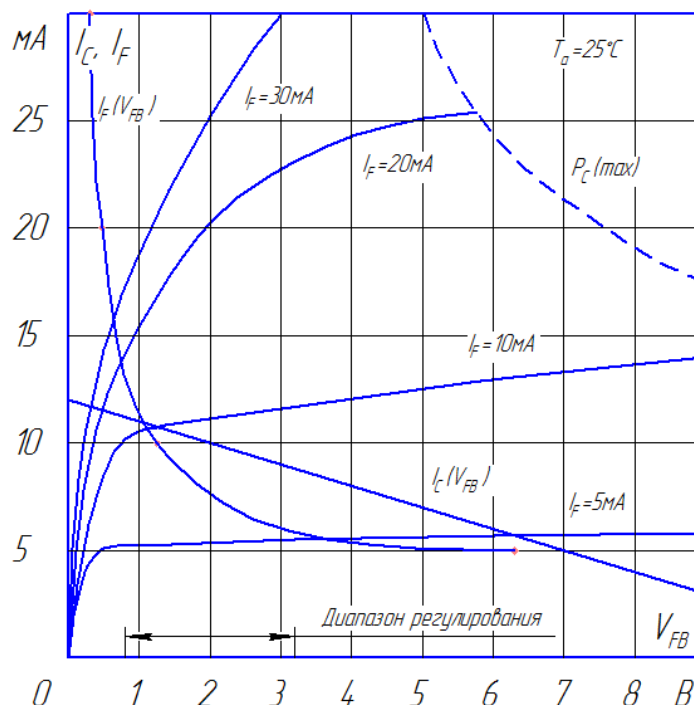


Рисунок 2.12 - Характеристики оптрона РС817 и регулировочная характеристика $I_F(V_{FB})$

Таблица 2.2 Данные расчета регулировки по напряжению

№п/п	Напряжение V_{FB} , В	Ток I_F , мА	Напряжение на С13, В
1	0,8	12,8	13,7
2	0,9	12,0	13,56
3	1,2	10,2	13,25
4	1,4	9,4	13,11
5	1,6	8,7	12,99
6	1,8	8,1	12,88
7	2,0	7,6	12,80
8	2,2	7,2	12,73
9	3,2	5,8	12,48

Из рисунка 2.9 видно, что основной диапазон регулирования, в котором происходит переключение режимов, происходит при изменении напряжения на выводе FB в диапазоне от 0,8 до 2,0 В, при этом ток во входной цепи оптрона изменяется от 12,8 мА до 7,6 мА соответственно. Определим диапазон напряжений на C13, в котором будет поддерживаться напряжение за счет изменения режимов работы инвертора. Это напряжение должно быть несколько выше выходного, поэтому назначаем для максимальной выходной нагрузки минимальное напряжение 12,8 В, при этом входной ток оптрона должен быть 7,6 мА. При падении напряжения ниже этого значения инвертор переключается на работу в режиме включения по 1-ой впадине, то есть в режим выдачи максимальной мощности. Верхнюю границу возможного напряжения при работе источника без нагрузки определим в 13,7 В, при этом входной ток оптрона должен быть 12,8 мА.

Рассчитаем необходимые величины сопротивления R12 и опорного стабилизированного напряжения на катоде оптрона. Величина сопротивления R12 может быть определена из выражения:

$$R_{12} = \frac{U_{C13\max} - U_{C13\min}}{I_{F\max} - I_{F\min}} = \frac{13,7 - 12,8}{12,8 \cdot 10^{-3} - 7,6 \cdot 10^{-3}} = 173,1 \text{ Ом} , \text{ где} \quad (2.31)$$

$U_{C13\max} - U_{C13\min}$ – ширина диапазона регулирования напряжения на C13;

$I_{F\max} - I_{F\min}$ – ширина диапазона регулирования входного тока на оптроне U1.

Выбираем в качестве сопротивления R12 резистор типоразмера 0603 класса точности 1% номиналом 174 Ом.

Тепловые потери на сопротивлении R12 составят:

$$P_{R12} = I_{12}^2 \cdot R_{12} = (3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 174 = 0,0294 \text{ Вт} , \text{ где} \quad (2.32)$$

Резисторы типоразмера 0603 имеют допустимую мощность рассеивания 0,1 Вт > P_{R12}, следовательно выбор сопротивления выполнен правильно.

Определим величину опорного стабилизированного напряжения на катоде оптрона используя выражение:

$$U_{onp} = U_{C13max} - I_{Fmax} \cdot R_{12} - V_F = 13,7 - 12,8 \cdot 10^{-3} \cdot 174 - 1,2 = 10,27 \text{ В} \quad (2.33)$$

Величины напряжений на C13, при которых происходит переключение режимов ШИМ-контроллера, вычислим по формуле 2.34 и занесем в таблицу 2.2.

$$U_{C13} = U_{onp} + I_{Fmax} \cdot R_{12} + V_F \quad (2.34)$$

Опорное стабилизированное напряжение создается регулируемым стабилитроном U3 [22]. Используем в качестве регулируемого стабилитрона TL431IPK. Определим параметры цепочки сопротивлений R14-R15-R16, для обеспечения необходимого опорного стабилизированного напряжения. Сумма сопротивлений должна обеспечивать протекание тока значительно больше (раз в 50) величины тока управления $I_{ref}=2\text{мкА}$. Следовательно, сумма сопротивлений R14,R15,R16 должна быть не более:

$$R_{14+15+16} \leq \frac{U_{out}}{I_{ref} \cdot 50} = \frac{12}{2 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 120 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad (2.35)$$

Отношение сопротивлений R14+R15 к R16 можно найти из выражения:

$$K_R = \frac{R_{14} + R_{15}}{R_{16}} = \frac{U_{onp}}{V_{ref}} - 1 = \frac{10,27}{2,495} - 1 = 3,116 \quad (2.36)$$

Используя выражения 2.35 и 2.36 можно получить выражение для верхней границы R16:

$$R_{16} \leq \frac{R_{14+15+16}}{K_R + 1} = \frac{120 \cdot 10^3}{3,116 + 1} = 29,15 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad (2.37)$$

В качестве R16 выберем резистор типоразмера 0603 класса точности 1% номиналом 30 кОм.

Тогда сумма сопротивлений R14+R15 составляет:

$$R_{14} + R_{15} = K_R \cdot R_{16} = 3,116 \cdot 30 \cdot 10^3 = 93,48 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad (2.38)$$

В качестве R14 выберем резистор типоразмера 0603 класса точности 5% номиналом 82 кОм.

В качестве подстроечного сопротивления выбираем резистор марки PVZ3A номиналом 15 кОм.

Максимальная тепловая мощность, выделяемая на сопротивлениях R14, R15, R16 составляет:

$$P_{14+15+16} = \frac{U_{outmax}^2}{R_{14} + R_{16}} = \frac{13,6^2}{30 \cdot 10^3 + 82 \cdot 10^3} = 1,64 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \quad (2.39)$$

Следовательно, выбранные сопротивления с номинальной мощностью рассеивания 0,1 Вт легко справятся с выделяемой тепловой мощностью.

Проведя вычисления с использованием матмодели инвертора, описанной в пункте 2.9, были рассчитаны нагрузочные характеристики работы инвертора при режимах управления включениях по 1-4 впадине. Проводились расчеты устойчивого режима при отключенном управлении по напряжению. Расчеты проводились для номинального напряжения сети. Нагрузочные характеристики построены на рисунке 2.13. На рисунке квадратной штриховкой обозначена область выше нагрузочной характеристики включения по первой впадине, эта область является недостижимой для работы при данных рабочих параметрах инвертора.

На рисунке так же проведены пунктирные линии величин напряжения на конденсаторе C13, при которых происходит переключение режимов работы инвертора. Наклонной штриховкой обозначена область, в которой ШИМ-контроллер осуществляет переключение режима при различных нагрузках. Так же построена нагрузочная характеристика источника $V_{out}(P)$. По оси изменения мощности откладывается мощность, вырабатываемая инвертором, таким образом максимальная мощность, отдаваемая инвертором состоит из трех величин: мощность подключенной нагрузки (согласно задания 40Вт), мощность потребляемая на зарядку АКБ (4,05 Вт), и мощность, потребляемая на внутренние нужды (менее 1 Вт). Таким образом максимальная расчетная мощность, вырабатываемая инвертором, составляет 45 Вт. Как видно из полученной нагрузочной характеристики напряжения на

выходе источника при полной нагрузке составляет 12,7 В, а на холостом ходу ($P = 1 \text{ Вт}$) 13,6 В.

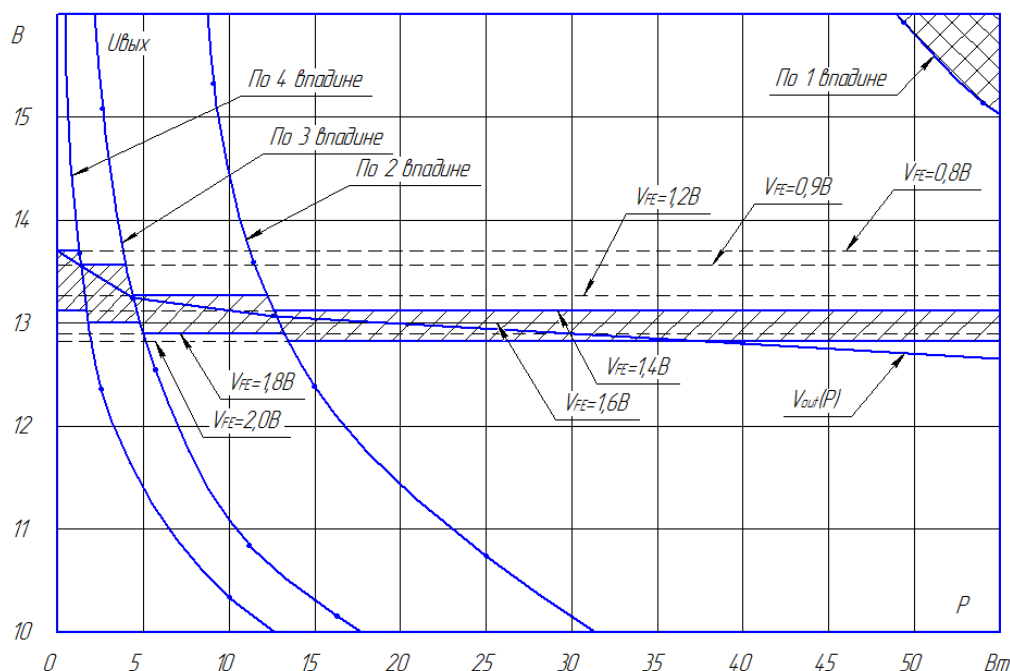


Рисунок 2.13 - Графики нагрузок для режимов регулирования, и зависимость выходного напряжения от мощности при заряженном АКБ

2.9 Разработка математической модели и расчет характеристик

Математическая модель, описывающая работу преобразователя, составлена в программе AMESim разработанной фирмой LMS [21]. Данная программа позволяет из библиотечных элементов строить динамические модели систем. Имеется возможность создавать системы из различных физических областей, в частности электрической, механической, тепловой, гидравлической и систем управления. Достоинства этой программы в том, что можно легко из библиотечных элементов создать необходимую модель, а система дифференциальных уравнений, описывающее работу системы, создаются автоматически. При этом сами дифференциальные уравнения записывать и приводить к машинному виду не требуется, также от пользователя не требуются знания и навыки программиста для построения моделей различной физической природы.

Из элементов электрической библиотеки (сиреневого цвета) составлена схема силового инвертора, представленная на рисунке 2.14. В модели так же построена система управления инвертором из элементов библиотеки управления (красного цвета). Система управления находит точки перехода через 0 тока в первичной обмотке трансформатора, и в зависимости от установленного значения номера управляющей впадины, производит включение ключевого транзистора. Ключевой транзистор в модели состоит из двух параллельно соединенных элементов, конденсатора и сопротивления, которое меняет свое значение в зависимости от состояния транзистора (открыт/закрит).

Определение номера управляющей впадины происходит от сигнала пропорционального напряжению на конденсаторе C15, который подается на элемент переключателя, срабатывающего на определенный уровень сигнала.

Задавая в построенной модели необходимые параметры элементов можно запустить модель на вычисления и получить диаграммы работы модели на некотором интервале времени.

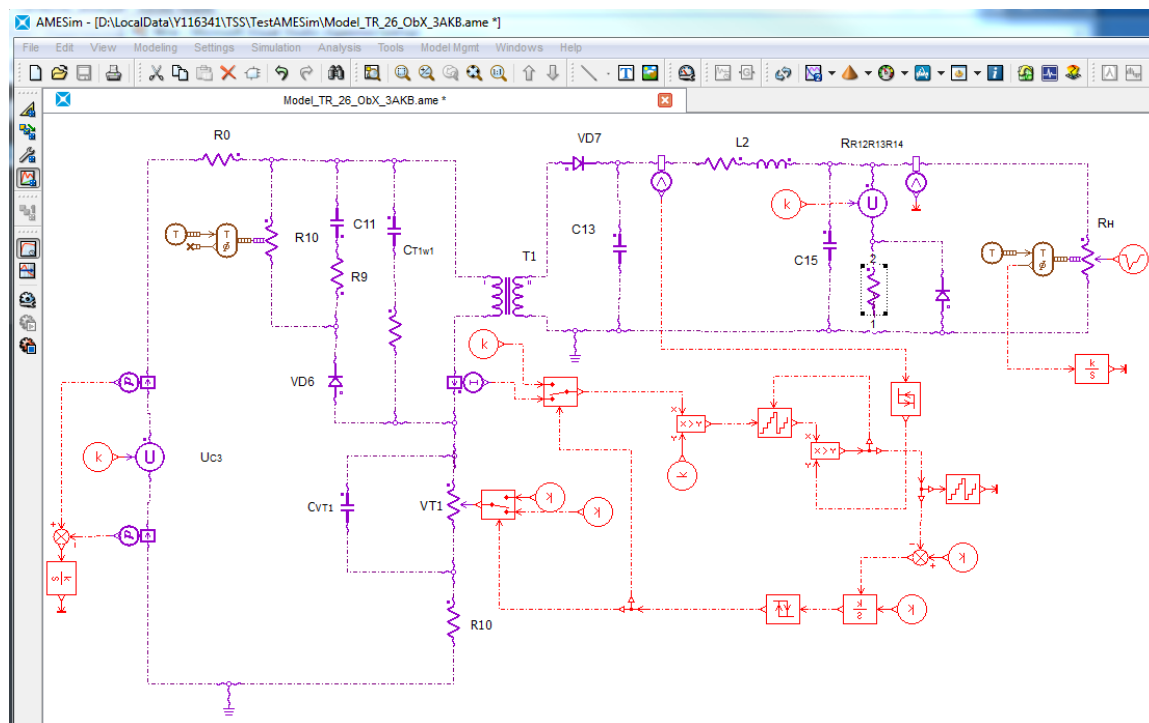


Рисунок 2.14 - Математическая модель в программе AMESim инвертора, работающего в квазирезонансном режиме

На рисунке 2.15 представлены рассчитанные диаграммы токов в трансформаторе и напряжения на VT1 в режиме включения в 1-ой впадине. На диаграммах мы видим характер изменения переменных и их величины. Видно, что включение ключевого транзистора происходит на первой впадине напряжения на нем, при этом ток в первичной обмотке трансформатора меняет знак. Можно отметить так же, что ток в первичной обмотке имеет положительное значения, когда энергия накапливается в магнитном поле трансформатора и передается во вторичную обмотку, и отрицательные значения, когда эквивалентная емкость ключевого транзистора разряжается, обеспечивая размагничивание сердечника трансформатора.

На рисунках 2.16-2.18 представлены диаграммы токов в трансформаторе и напряжения на VT1 в режиме включения во 2-ой, 3-й и 4-ой впадинах. По результатам моделирования мы видим, что управление происходит устойчиво и по мере увеличения номера управляющей впадины величина тока во вторичной обмотке трансформатора уменьшается и одновременно снижается частота импульсов тока во вторичной обмотке, что и приводит к уменьшению выдаваемой выходной мощности источника.

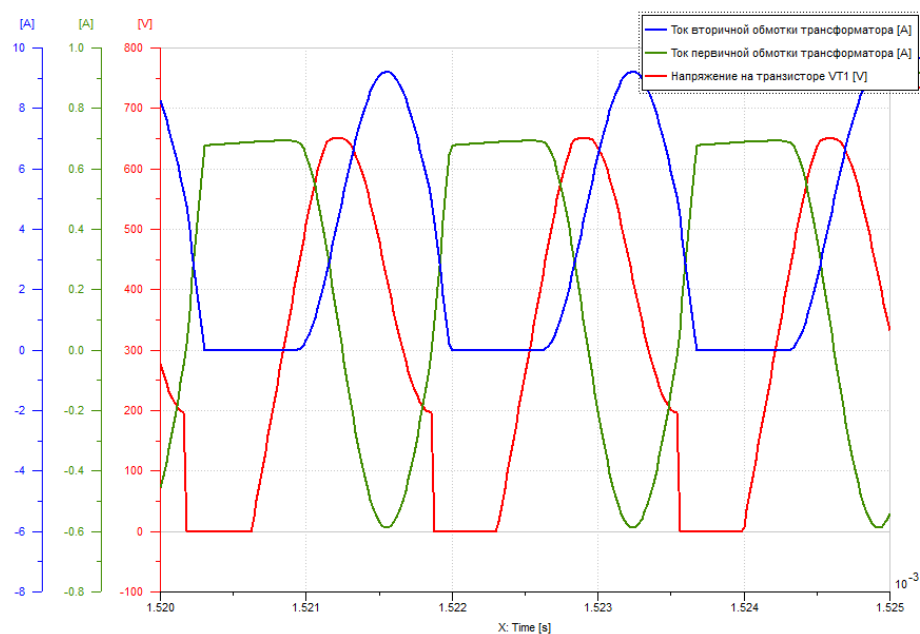


Рисунок 2.15 - Диаграммы токов в трансформаторе и напряжения на VT1 в режиме включения в 1-ой впадине

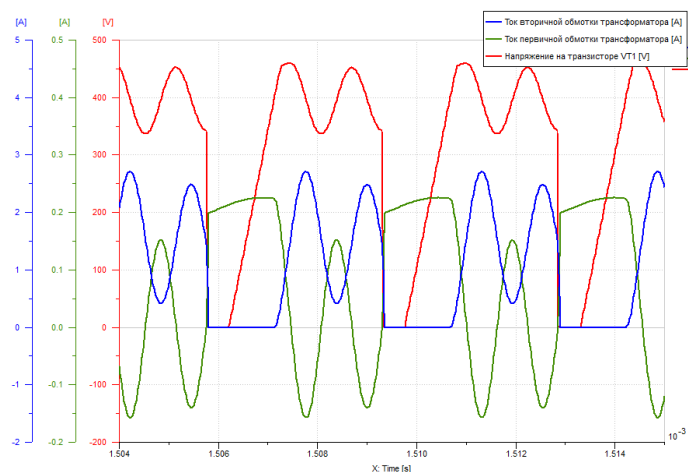


Рисунок 2.16 - Диаграммы токов в трансформаторе и напряжения на VT1 в режиме включения во 2-ой впадине

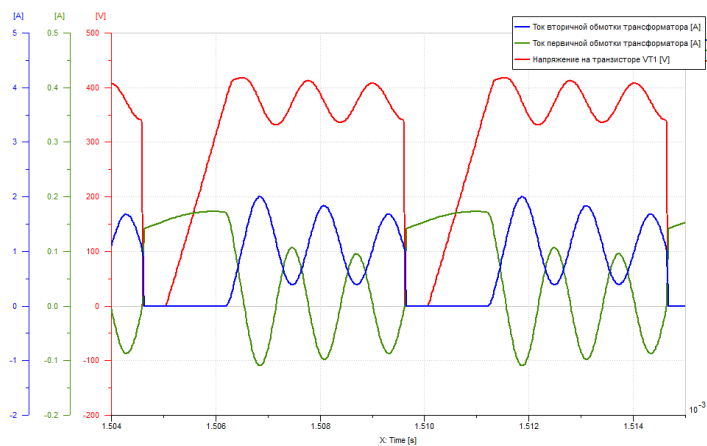


Рисунок 2.17 - Диаграммы токов в трансформаторе и напряжения на VT1 в режиме включения в 3-ей впадине

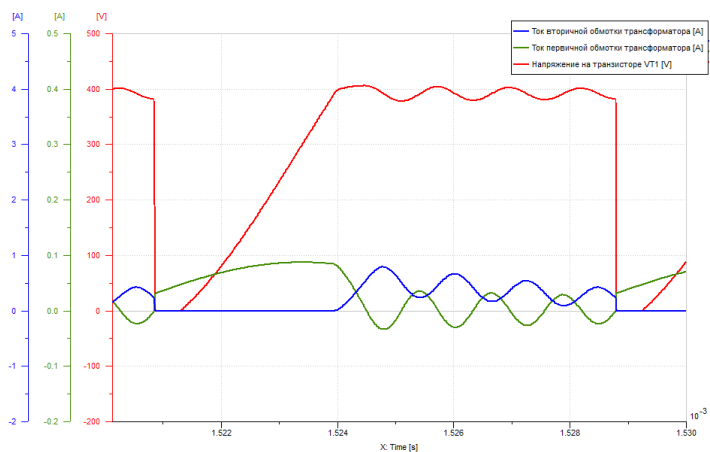


Рисунок 2.18 - Диаграммы токов в трансформаторе и напряжения на VT1 в режиме включения в 4-ой впадине

На рисунке 2.19 приведены диаграммы тока и напряжения на конденсаторе C11 при номинальном напряжении сети. Как видно из диаграмм изменение напряжения на конденсаторе невелико, и ток разряда составляет порядка 0,03 А. Фрагмент схемы, с конденсатором C11, служит для уменьшения пика напряжения на ключевом транзисторе, но при этом значительно уменьшает кпд источника питания. Так как в нашей схеме выбран транзистор VT1 марки SPD04N80C3 с максимальным напряжением сток-исток 800 В, то острая необходимость снижения пикового напряжения отпала, но данный фрагмент схемы сохранен для снижения пиков напряжения во время кратковременных всплесков напряжения в питающей сети. Причем параметры сопротивлений R9, R10 выбраны такими, что снижение кпд в номинальном режиме работы источника невелико.

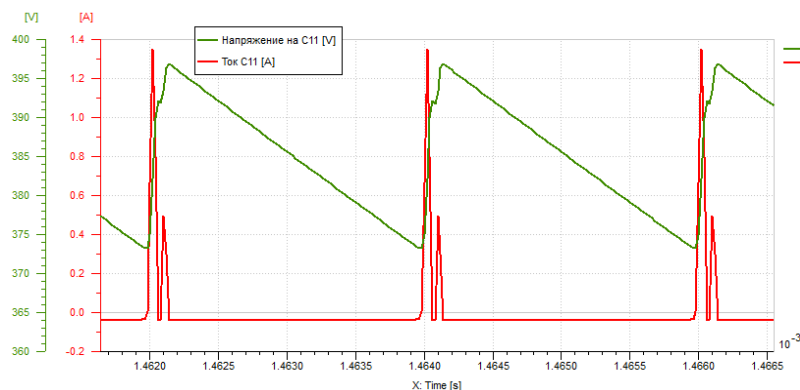


Рисунок 2.19 - Диаграммы тока и напряжения на конденсаторе C11

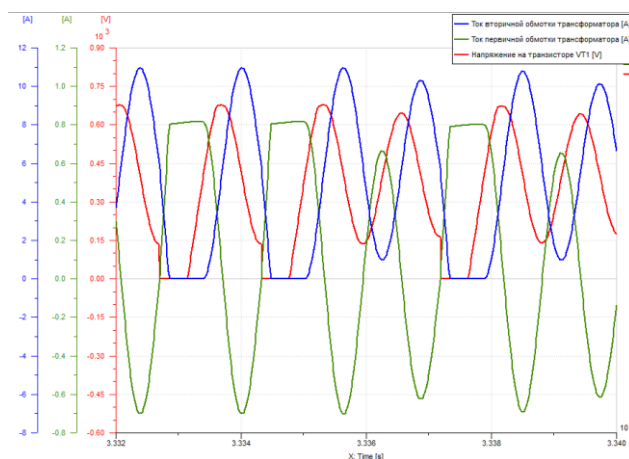


Рисунок 2.20 - Диаграмма изменения тока трансформатора и напряжения на VT1 сток-исток (U_{VT1DS}) при смене режимов управления

На рисунке 2.20 показаны диаграммы изменения тока и напряжения при смене режимов управления при переходе с режима включения на 1-ой впадине на режим включения на 2-ой впадине. Переключение проходит без бросков тока и напряжений, схема начинает плавно перестраиваться на другой режим работы. Это хорошо видно по рисунку 2.21, на котором приведены диаграммы изменений токов и напряжений на стороне вторичного питания. Диаграммы построены в меньшем временном масштабе.

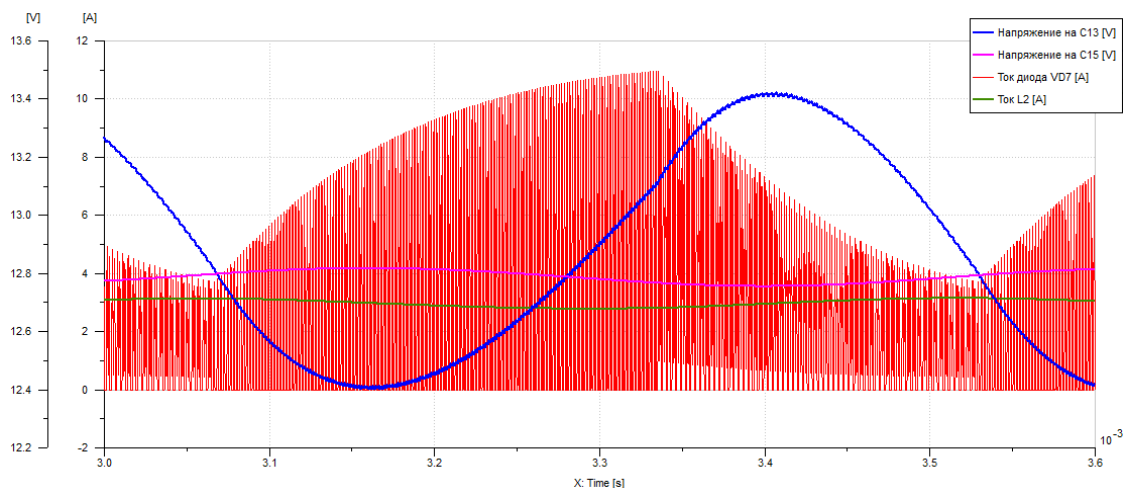


Рисунок 2.21 - Диаграммы тока и напряжения в выходном каскаде

Как видно из диаграмм переключения режимов происходит с частотой примерно 2кГц. Переключение происходит, когда напряжение на C13 достигает порогового значения. Из диаграммы видно, что после переключения режима напряжение на C13 не начинает изменяться сразу в нужном направлении, а имеет инерцию, то есть схема начинает плавно переходить в новое устойчивое резонансное состояние. Выходное напряжение при этом меняется незначительно, что подтверждает нормальную работу фильтра на элементах L2- C15.

На рисунке 2.22 представлены диаграммы тока и напряжения при нагрузке 40 Вт и полностью заряженном АКБ. Из диаграмм видим, что напряжение на выходе меняется незначительно, а АКБ в режиме дежурной подзарядки потребляет ток порядка 0,02 А.

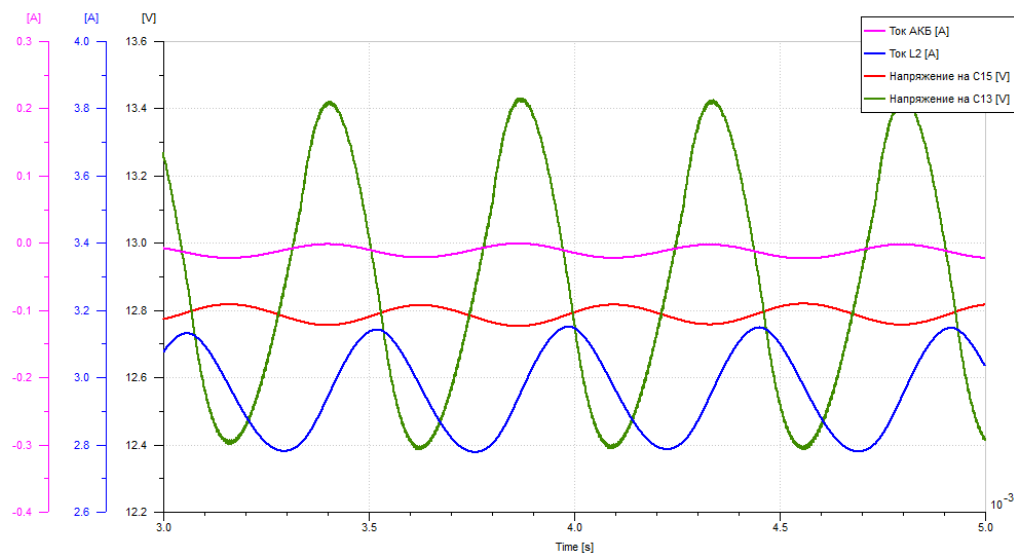


Рисунок 2.22 - Диаграммы тока и напряжения при нагрузке 40 Вт и полностью заряженном АКБ

На рисунке 2.23 представлены диаграммы тока и напряжения при нагрузке 40 Вт и полностью разряженном АКБ. Из диаграмм видим, что напряжение на выходе меняется незначительно, а АКБ в режиме дежурной подзарядки потребляет ток от 0,19 до 0,21 А.

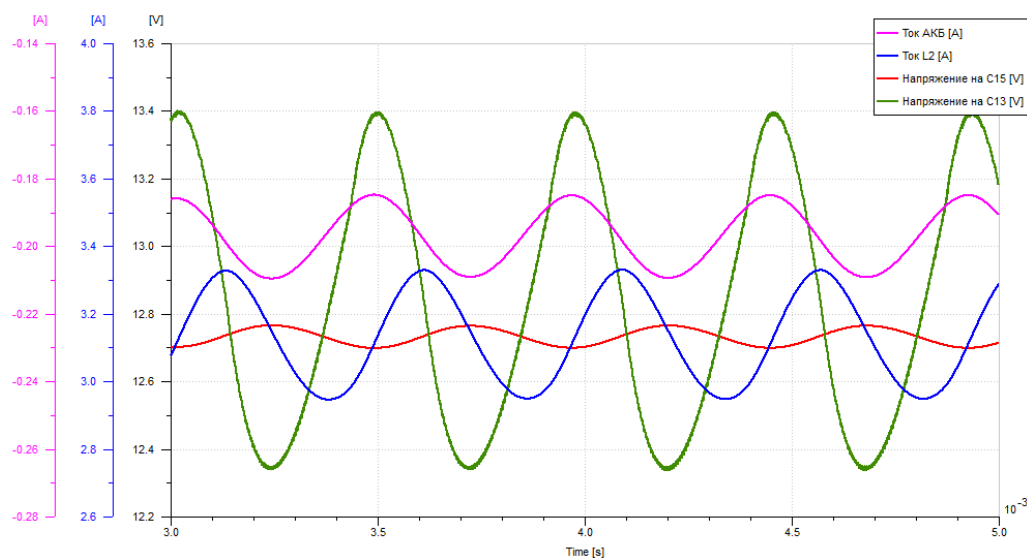


Рисунок 2.23 - Диаграммы тока и напряжения при нагрузке 40 Вт и АКБ в режиме зарядки

3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Общие положения по разработке печатной платы

В конструкторской части проекта проведем разработку печатной платы проектируемого источника бесперебойного питания. На печатной плате располагаются все элементы схемы, и обеспечивается их правильное соединение. При этом трассировка печатной платы оказывает существенное влияние на собственное электромагнитное излучение платы и ее чувствительность к воздействию внешних электромагнитных полей, а также на тепловые режимы работы установленных на плате компонентов. Часто недостаточно продуманная топология платы может привести к нестабильной работе устройства, низкому КПД устройства, повышенному уровню шума, а также к локальному перегреву установленных компонентов. Для получения оптимального проекта печатной платы импульсного источника питания при проектировании следует учитывать следующие важные рекомендации:

- необходим правильный выбор типа печатной платы (односторонняя, двусторонняя, многослойная и т. д.);
- наличие обратного проводника для сигнальной дорожки, расположенного как можно ближе к последней;
- развязку по питанию с минимальным импедансом для каждой нагрузки;
- ограничение длины проводников;
- правильное размещение соединительных разъемов;
- правильное использование и размещение фильтров и пассивных элементов;
- правильный выбор количества слоев и толщины дорожек платы для многослойных плат;
- обоснованный выбор системы внешнего охлаждения (конвекция, излучение) в зависимости от условий окружающей среды.

В настоящее время в схемотехнике широко используются элементы выполненные по SMD - технологии. SMD (Surface Mounted Device) переводится с английского как "компонент, монтируемый на поверхность". SMD-компоненты также иногда называют ЧИП-компонентами.

Процесс монтажа и пайки чип-компонентов правильно называть SMT-процессом (от англ. «surface mount technology» – технология поверхностного монтажа). Говорить «SMD-монтаж» не совсем правильно, но в России прижился именно такой вариант названия техпроцесса, поэтому и мы сохраним обозначение.

Такая же плата, выполненная на DIP-элементах, будет иметь в несколько раз большие габариты.

SMD монтаж имеет неоспоримые преимущества:

- радиодетали дешёвы в производстве и могут быть сколь угодно миниатюрны;
- печатные платы обходятся дешевле из-за отсутствия множественной сверловки;
- монтаж легко автоматизировать: установку и пайку компонентов производят специальные роботы. Также отсутствует такая технологическая операция, как обрезка выводов.

3.2 Разработка печатной платы

В нашей схеме основные элементы (ШМИ - контроллер и ключевой транзистор) выполнены по SMD - технологии. Однако полностью реализовать плату в SMD - технологии не удастся, так как имеются DIP-элементы (импульсный трансформатор, индуктивные дроссели и электролитические конденсаторы большой емкости). Поэтому проведем разработку печатной платы с двухсторонним расположением элементов и односторонним расположением печатных проводников. SMD- элементы разместим на одной стороне платы, а все остальные элементы, имеющие

большую высоту с другой стороны платы. Данное решение позволит уменьшить размеры платы и одновременно сократит число перемычек возникающих на односторонних SMD- платах имеющих значительные токи в некоторых элементах схемы.

Конструктивно плату будем размещать вертикально, что улучшит охлаждение элементов и проводников платы.

При разработке печатной платы надо соблюдать следующие рекомендации, выполнение которых необходимы для нормальной работы устройства:

связь истока MOSFET-транзистора VT1 и вывода резистора R11 должна выполняться широкой печатной линией (рекомендуемая ширина силовых линий связи — 1 мм/1 А) и иметь минимальную длину;

минимальную длину должна иметь связь стока VT1 с выводом первичной обмотки трансформатора;

непосредственно рядом с корпусом микросхемы U2 должен быть установлен конденсатор C9 0,1 мкФ по питанию Vcc.

С учетом рекомендаций была проведена разработка конструкции печатной платы устройства. Для разработки печатной платы использовалась программа ExpressPCB. Данная программа предназначена для ручного создания двусторонних печатных плат, содержащих детали, как с планарными, так и со штыревыми выводами.

После предварительной разработки в программе ExpressPCB печатного монтажа платы, была выполнена доработка монтажа в программе КОМПАС. Было проведено увеличение ширины дорожек в зонах со значительной токовой нагрузкой. Расширение площади дорожек также выполнено около элементов VT1, VD7 и VD8 для обеспечения охлаждения этих элементов. Также выполнено скругление углов проводящих дорожек, это уменьшает вероятность возникновения отслаивания дорожки от воздействий электромагнитных и электростатических сил, возникающих от высокочастотных изменений тока в инверторе.

Плата будет изготавливаться из одностороннего стеклотекстолита FR-4 18/0 1.0 IPC 4101V.

Полученные габариты печатной платы составляют 105x55 мм. Внизу платы расположены два отверстия диаметром 2,3 мм для крепления платы.

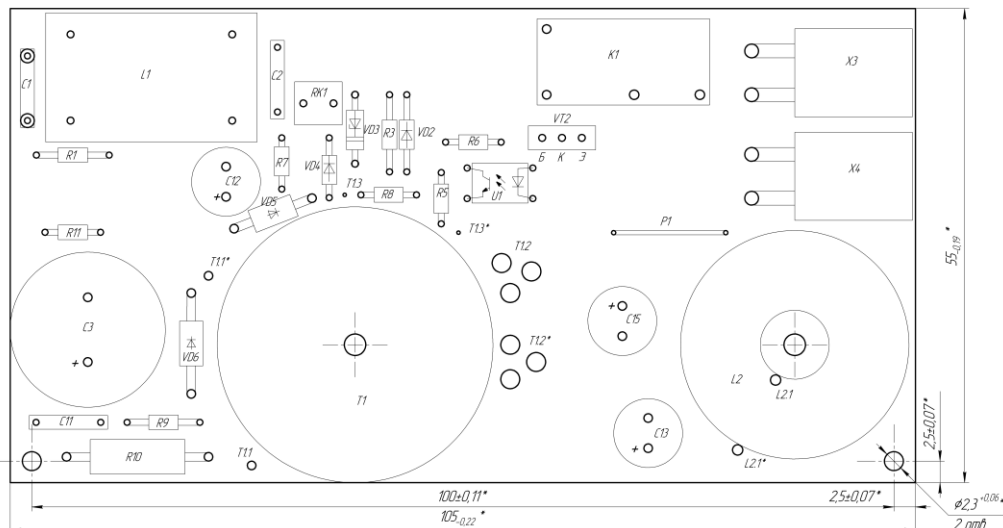


Рисунок 3.1 - Печатная плата со стороны DIP-монтажа

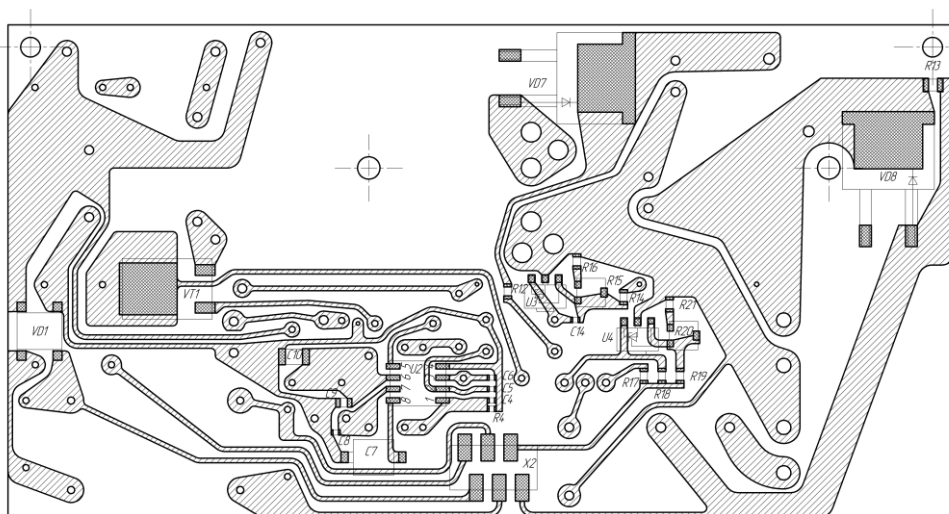


Рисунок 3.2 - Печатная плата со стороны SMD-монтажа

На рисунке 3.1 показана монтажная плата со стороны DIP-монтажа элементами, имеющими штыревые выводы. Крепление трансформатора T1 и дросселя L2 предусматривается соединением винт-гайка или на пластиковую защелку.

На рисунке 3.1 показана монтажная плата со стороны SMD-монтажа элементами, имеющими планарные выводы.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ИСТОЧНИКА

Рассмотрим вопросы безопасного использования спроектированного источника бесперебойного питания. За основу рассмотрения возьмем перечень опасных и вредных производственных факторов приведенный в ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ [2].

В ГОСТ-е Опасные и вредные производственные факторы подразделяются по природе действия на следующие группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

Для спроектированного источника бесперебойного питания характерными являются только физические факторы риска, остальные являются несущественными.

Среди перечисленных в ГОСТ-е физических опасных и вредных производственных факторов следует выделить следующие, которые могут возникнуть при эксплуатации источника бесперебойного питания (остальные перечисленные опасные и вредные факторы не могут возникнуть при не аварийном использовании):

- повышенный уровень ультразвука;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенный уровень электромагнитных излучений.

Рассмотрим перечисленные опасные и вредные факторы, и предлагаемые меры по уменьшению их воздействия.

1. Повышенный уровень ультразвука. Инвертор работает на частоте 200 кГц, а также переключение ШИМ-контроллером режимов работы инвертора происходит, согласно результатов моделирования, проведенных в

разделе 2.9, с частотой около 2 кГц. Это может являться источником звуковых и ультразвуковых колебаний, которые могут возникать в конденсаторах, трансформаторах и дросселях и в контактных дорожках монтажной платы. Уровень колебаний достаточно низок и крайне сложно поддается расчетной оценке, и объективно может быть оценен только экспериментальным измерением на опытном образце. Однако для уменьшения распространения данных колебаний предлагается помещать плату источника питания в корпус, достаточно жесткий и не имеющий резонансных колебаний отдельных частей в области указанных частот. Это значительно ослабит вредное влияние данного фактора при эксплуатации спроектированного источника.

2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. Источник имеет цепи питания с напряжением 220 В 50 Гц, выдает внешнее постоянное напряжение 12 В, и имеет внутренние цепи напряжения на которых может достигать 700 В. Напряжение 12В не представляет опасности для человека, а сетевое питание в 220 В требует соблюдения правил электробезопасности. Для обслуживания источника питания должны привлекаться специалисты, аттестованные не ниже чем на 2 квалификационную группу по электробезопасности. Ремонт устройства должен проводиться на рабочих местах, оборудованных измерительным оборудованием и позволяющих безопасно проводить ремонтные и сервисные работы.

3. Повышенный уровень электромагнитных излучений. Инвертор работает на частоте 200 кГц, а также переключение ШИМ-контроллером режимов работы инвертора происходит с частотой около 2 кГц. Это является источником электромагнитных помех, электрические помехи создаются в колебательных контурах источника, а поля рассеивания трансформаторов и дросселей, а также токи в контактных дорожках монтажной платы создают электромагнитные помехи.

Электрические помехи распространяются в сеть питания и питание низковольтной нагрузки. Для значительного подавления этих помех установлены фильтры по сетевому питанию и выходной фильтр, сглаживающий выходное напряжение. Таким образом, данные помехи не должны превышать допустимых норм.

Электромагнитные помехи распространяются в окружающую среду через пространство, не обладающее высокой электрической или магнитной проницаемостью, то есть через воздух и диэлектрики. Наиболее высокие помехи создаются со стороны монтажной платы, где установлен импульсный трансформатор. Объективно уровень помех может быть оценен только экспериментальным измерением на опытном образце. Однако для уменьшения распространения электромагнитных помех предлагается со стороны установки импульсного трансформатора устанавливать, если это необходимо, проводящий экран, присоединенный к корпусу.

Рассмотрим вопросы экологической безопасности при эксплуатации спроектированного, согласно задания, источника бесперебойного питания. Наиболее проблемной, с позиции экологической безопасности, частью источника бесперебойного питания является накопитель энергии - аккумуляторная батарея.

Аккумуляторные батареи содержат свинец, соляную и фосфорную кислоты и поэтому после выработки ресурса подлежат обязательной утилизации. Так же в процессе эксплуатации АКБ, из за небрежного обращения, может произойти утечка электролита, что представляет серьезную экологическую опасность.

Для повышения экологической безопасности производители АКБ применяют ряд конструктивных решений, среди которых основным является создание так называемых необслуживаемых батарей.

Чтобы снизить опасность от выливания электролита из батареи, применяют средства, снижающие его текучесть. К электролиту добавляются вещества, которые превращают его в гель, для этого используется

кремниевая кислота. Другим способом снижения подвижности электролита является применение стекломатов в качестве сепараторов. Стеклومات удерживают электролит, предотвращая его вытекание при повреждении батареи.

У этих батарей подвижность электролита ограничена. Пробки их ячеек не выворачиваются. Образующиеся при перезаряде водород и кислород обычно ячейки батареи не покидают и реагируют между собой с образованием воды.

По способу отвода газов эти батареи относятся к типу VRLA.

В электролит этих батарей добавляется еще фосфорная кислота, которая существенно повышает их циклическую стойкость (количество возможных циклов разряда и заряда) и способность к восстановлению после глубокого разряда.

Эти батареи оснащаются общей крышкой, в которую встроены несъемные пробки ячеек и предусмотрен канал центральной вентиляции. Индикатор заряда у них отсутствует.

К преимуществам этих батарей относятся:

- небольшая вероятность потери электролита,
- высокая циклическая стойкость,
- полностью не требует обслуживания,
- пониженное газообразование при зарядке.

Их недостатки проистекают по следующей причине:

- Перезаряд под слишком высоким напряжением сопровождается выходом газов через предохранительные клапаны. Так как соответствующее потере газов пополнение ячеек водой невозможно, перезаряд батареи может привести к ее неисправности! Поэтому заряд таких батарей допускается только от источников электроэнергии, напряжение которых не превышает 14,4 В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе выполнена разработка конструкции источника бесперебойного питания на 12 В мощностью 40 Вт, способного в течении 10 мин. обеспечивать независимым питанием нагрузку 40 Вт.

Рассмотрены существующие конструкции источников бесперебойного питания ИБП ТАИС-ИБП25 и СКАТ-1200И7. Поставлена задача разработки новой конструкции источника с целью получения источника с низкой себестоимостью изготовления, что позволит использовать данные устройства в системах не приносящих прямой финансовой прибыли, например в пожарных извещателях.

Во втором разделе проведена разработка принципиальной схемы источника бесперебойного питания с инвертором, работающим в квазирезонансном режиме. Проведена разработка математической модели в системе AMESim, проведено моделирование работы инвертора, подтвердившее правильность выбранных параметров элементов схемы и определившее нагрузочную характеристику сконструированного источника.

В третьем разделе выполнена разработка печатной платы источника с использованием двустороннего монтажа элементов схемы.

В четвертом разделе рассмотрены вопросы безопасности и экологичности конструкции источника питания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 2.710-81 (СТ СЭВ 6300-88) ОБОЗНАЧЕНИЯ БУКВЕННО-ЦИФРОВЫЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ
2. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
3. Универсальные аккумуляторы Delta для ИБП и переносных приборов, <http://www.delta-batt.com/catalog/universal>
4. NCP1380. Quasi-Resonant Current-Mode Controller for High-Power Universal Off-Line Supplies., ON Semiconductor®, <http://onsemi.com>
5. Паспорт на "Источник питания стабилизированный ТАИС-ИБП25", http://www.tais-radio.ru/download/Instr/IBP25_0208_2.pdf
6. Официальный сайт компании БАСТИОН. ИБП, ИВЭПР для систем безопасности., <https://bast.ru/products/ops/>
7. Эраносян С., Ланцов В. Квазирезонансные источники вторичного электропитания: проблемы, новый взгляд., Силовая электроника, №3, 2007
8. Ромадина И. Микросхемы ШИМ-контроллеров ON Semi для сетевых источников питания., Компоненты и технологии, №7, 2010
9. Как решить проблему перескока впадин в квазирезонансных источниках питания., <http://www.russianelectronics.ru/developer-review/micro/doc/57015/>
10. Stephanie Cannenterre. Solving The Valley Jumping Issue in Quasi Square Wave Resonant Power Supplies//powerelectronics.com
11. S. L. Jeng, M. T. Peng, C. Y. Hsu, W. H. Chieng, Jet P.H. Shu, Quasi-Resonant Flyback DC/DC Converter Using GaN Power Transistors., World Electric Vehicle Journal Vol. 5 - ISSN 2032-6653 - © 2012
12. Datasheet транзистора MOSFET STB18NM80, <http://www.compel.ru/infosheet/INFIN/IPA60R385CP/>

13. Datasheet оптрона PC817,
<http://arduino-ua.com/docs/PC817rus.pdf>
14. Методика подбора и замены аккумуляторных батарей ИБП
(источников бесперебойного питания)., <http://electro-tech.narod.ru/schematics/power/ups/battery.htm>
15. Datasheet стабилитронов 1N957-1N987,
http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheets/105/94722_DS.pdf
16. Сагайдаков Н., Применение кольцевых сердечников с зазором
фирмы Ferroxcube // Компоненты и технологии, №9 2006
17. Capped ferrite toroids for power inductors. Technical Note.
www.ferroxcube.com
18. Провод обмоточный высокочастотный., www.chuvashcable.ru
19. Datasheet 1N957 THRU 1N978., www.mccsemi.com
20. SUMIDA. INDUCTIVE COMPONENTS., <http://z.compel.ru/item-pdf/5d40ea2c47fb325136477c1866c16cbd/ps/sumida~rk23s.pdf>
21. Гимадиев, А. Г. LMS Imagine.Lab AMESim как эффективное
средство моделирования динамических процессов в мехатронных
системах [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А.Г.
Гимадиев, П.И. Грешняков, А.Ф. Синяков; - Электрон. текстовые и
граф. дан. (4,8 Мбайт). – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2014.
22. Datasheet TL431.,
http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/T/L/4/3/TL431.shtml