

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

Институт энергетики и электротехники
(наименования института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»
(наименование кафедры)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника
(направленность (профиль) / специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему ПОРТАТИВНОЕ ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО

Студент(ка)	<u>С.М. Каххоров</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>А.В. Прядилов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультант	<u>О.А. Парфенова</u> (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)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2019

Аннотация

Объем 67 с., 41 рис., 32 табл., 23 источников

ПОВЕРБАНК, POWERBANK, ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО

Объектом исследования является портативное зарядное устройство (powerbank).

Цель работы: разработка портативного зарядного устройства, предназначенного для зарядки мобильных устройств с напряжением питания 5В.

Задачи работы:

1. Обзор состояния вопроса
2. Анализ возможных схемотехнических решений
3. Разработка и расчет электрической принципиальной схемы
4. Разработка печатного узла

Данная работа посвящена разработке мобильного зарядного устройства для портативных устройств и состоит из 3 глав, в которых решены упомянутые задачи.

В первом разделе рассматривается состояние вопроса, и приводятся общие сведения об устройствах заряда, а также анализ разрабатываемой установки.

Во втором разделе производится разработка зарядного устройства.

В третьем разделе конструкторско-технологические методы реализации сборочных компонентов устройства.

Abstract

POWERBANK, CHARGER

The object of research is a portable charger (powerbank).

Purpose: the development of a portable charger designed to charge mobile devices with a supply voltage of 5V.

Work tasks:

1. Overview of the status of the issue
2. Analysis of possible circuit solutions
3. Development and calculation of electrical schematic diagram
4. Development of a printed circuit Assembly

This work is devoted to the development of a mobile charger for portable devices and consists of 3 chapters, which solved these problems.

The first section discusses the status of the issue, and provides an overview of the charge devices, as well as an analysis of the installation being developed.

The second section is the development of the charger.

In the third section of the design and technological methods of implementation of the Assembly components of the device.

In the course of the development of human society, various portable devices (such as mobile phones, multimedia players, geolocation devices, etc.) are beginning to take an increasingly important role in the daily lives of many people. Although these devices have built-in energy reserves, this reserve is limited and they require periodic recharging. They are recharged mainly from stationary sources of electricity (socket in the house, generator in the yard). Therefore, portable power sources began to appear, which can be carried with them, they as well as the main device requires recharging from a stationary energy source, but they do not consume stored energy, but only accumulate to replace a stationary energy source. Increasing the number of portable devices and increasing their power consumption, makes the theme of the development of charging systems for mobile devices more and more relevant.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	7
1.1 Формулирование цели и задач работы.....	7
1.2 Анализ исходных данных и известных решений.....	7
1.3 Описание входных и выходных разъемов	13
1.3.1 Описание USB разъема.....	14
1.3.2 Описание клемных колодок.....	15
1.3.3 Описание нестандартных разъемов	16
1.4 Выбор аккумуляторов.....	16
1.5 Обзор преобразователей постоянного напряжения.....	17
1.5.1 Повышающий ППН	17
1.5.2 Понижающий ППН	18
1.5.3 Повышающе-понижающий ППН	19
1.5.4 Преобразователь Кука	19
1.5.5 Обратногоходовой преобразователь.....	20
1.5.6 Прямоходный преобразователь	21
1.5.7 Преобразователь SEPIC.....	22
1.6 Описание блока заряда для аккумуляторных батарей	23
2. РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ.....	25
2.1 Разработка и расчет выходного понижающе-повышающего преобразователя.....	25
2.2 Разработка и расчет блока заряда аккумулятора и блока аккумуляторных батарей.....	40
2.2.1 Разработка принципиальной схемы	40

2.2.2 Расчет схемы.....	40
2.3 Разработка и расчет входного понижающе-повышающего преобразователя.....	47
2.3.1 Расчет схемы.....	47
2.4 Разработка и расчет остальных компонентов схемы	59
2.4.5 Выбор диодов Шоттки.....	60
2.5 Расчет коэффициента полезного действия	61
2.5.1 Расчет КПД выходного понижающе-повышающего преобразователя.....	61
2.5.2 Расчет КПД входного понижающе–повышающего преобразователя	62
3. Разработка печатного узла	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	65

Введение

В ходе развития человеческого общества различные портативные устройства (такие как мобильные телефоны, мультимедиа плееры, устройства геолокации и др.) начинают занимать всё большую роль в повседневной жизни многих людей. Хотя эти устройства обладают встроенными запасами энергии, запас этот ограничен и они требуют периодической подзарядки. Подзаряжаются они в основном от стационарных источников электроэнергии (розетка в доме, генератор во дворе). Поэтому стали появляться портативные источники питания, которые можно носить с собой, они также как и основное устройство требует подзарядки от стационарного источника энергии, но они сами не потребляют запасенную энергию, а лишь накапливают, чтобы заменить собой стационарный источник энергии. Увеличение количества портативных устройств и увеличение их энергопотребления, делает тему разработки систем подзарядки мобильных устройств все более актуальной.

1. Состояние вопроса

1.1 Формулирование цели и задач работы

Целью работы является разработка портативного зарядного устройства, предназначенного для зарядки мобильных устройств с напряжением питания 5В.

Задачами работы являются

1. Обзор состояния вопроса
2. Анализ возможных схемотехнических решений
3. Разработка и расчет электрической принципиальной схемы
4. Разработка печатного узла

1.2 Анализ исходных данных и известных решений

Пополнение запаса энергии портативного устройства можно произвести несколькими способами:

1. С помощью, идущего в комплекте зарядного устройства или универсального (таблица 1.1) со схожими электрическими характеристиками и подходящими сразу для многих моделей устройств [1].

Достоинства:

- Универсальный разъем USB для подключения зарядного провода

Недостатки:

- Требуется наличие сети переменного тока, что исключает мобильность.

Таблица 1.1- Примеры универсальных зарядных устройств.

Наименование	Описание	Цена, руб.
Иррон ММ-ТС101	зарядное устройство USB от розетки электрической сети, 1 порт USB, входное напряжение 110-240В, выходное напряжение 5В, выходной ток 500мА, индикатор подключения к сети	64
Иррон ММ-ТС102	зарядное устройство USB от розетки электрической сети, 1 порт USB, входное напряжение 110-240В, выходное напряжение 5В, выходной ток 500мА, индикатор подключения к сети	64
Иррон ММ-ТС201	зарядное устройство USB от розетки электрической сети, 2 порта USB, вход. напряжение 110-240В, выходное напряжение 5В, суммарный выходной ток 1000мА, индикатор подключения к сети	118

2. С помощью заранее подготовленного и заряженного дополнительного аккумулятора, такой же модели или подходящей по размерам и электрическим характеристикам.

Достоинства:

- Время работы портативного устройства удваивается;
- После замены аккумулятора можно сразу приступить к работе.

Недостатки:

- Чаще всего высокая стоимость дополнительного аккумулятора;
- Необходимость заранее зарядить дополнительный аккумулятор;
- Необходимость в аккуратном хранении и транспортировки заряженного аккумулятора, для предотвращения замыкания, чаще всего, незащищенных контактов.

3. С помощью ручной динамо-машины.

Достоинства[2]:

- Универсальный разъем USB для подключения зарядного провода или комплект переходников с разными зарядными разъемами.
- Устройство не требует предварительного заряда т.к. само производит электричество за счет мышечной силы пользователя.

Недостатки:

- Требуется длительная физическая работа для выработки электроэнергии;
- Нестабильность выходного напряжения, оно зависит от скорости и постоянства частоты вращения рукояти динамо-машины.

4. С помощью портативного универсального аккумулятора.

Примеры портативных универсальных аккумуляторов[3] представлены в таблице 1.2.

Достоинства:

- Высокая емкость (зависит от модели);
- Быстрая перезарядка батарей;
- Универсальный разъем USB для подключения заряжаемых устройств или комплект переходников с разными зарядными разъемами;
- Небольшие габариты и вес, но с увеличением емкости встроенной батареи размер и вес увеличивается.

Недостатки:

- Для перезарядки встроенного аккумулятора требует внешнего зарядного устройства с определенными характеристиками;

- Достаточно высокая цена, увеличивается с увеличением объема встроенного аккумулятора;
- При износе аккумулятора невозможна быстрая и дешевая замена встроенного.
-

Таблица 1.2 – Примеры портативных универсальных аккумуляторов фирмы XPAL.

модель	емкость встроенной батареи Li-Pol, мАч	время полной перезарядки батареи, часов	входные параметры	выходные параметры	стоимость, руб.
XP600	600	2	5В; 500мА	5В; 300мА	1500
XP2000	2000	4	5В; 500мА	5В; 500мА	2900
XP4000	4000	4	12В; 2000мА	5-8В; 1500мА	4200
XP8000	8000	4	19В; 3500мА	5-20В; 2000мА	5600
XP18000	18000	4	19В; 3500мА	5-20В; 3500мА	6900

5. С помощью дополнительного блока питания на батарейках типа АА. Пример[4,5]: Nokia DC-8 и Philips SCE2110/10 за 590 и 980 руб. соответственно. Устройство предназначено для подпитки портативных устройств от одной батарейки размера АА.

Достоинства:

- Небольшие габариты и вес, немногим большие, чем вставляемый в него элемент питания типоразмера АА;
- Быстрая и легкая замена разряженного элемента питания

Недостатки:

- Устройство требует для работы вставлять в него уже заряженный элемент питания типоразмера АА;
- Малый отдаваемый ток не позволяет быстро зарядить подключенное к нему устройство;
- Малый объем батарей типа АА не позволяет полностью зарядить подключенное к зарядчику устройство.

Рассмотрев представленные решения, было решено разработать переносной накопитель энергии, совмещающий достоинства рассмотренных устройств.

Разрабатываемое устройство должно подзаряжать/заряжать мобильные устройства, при помощи напряжения 5В и максимальным током 600мА. Оборудованное на выходе USB разъемом типа А, а на входе разъемами: miniUSB типа В, USB типа В, разъемом для подключения зарядного устройства с входным напряжением 5В постоянного тока и клеммами для входного напряжения 3-14В постоянного тока. В качестве накопителя энергии предполагается использовать NiMH аккумуляторные батареи типоразмера АА.

По данным характеристикам создали блок схему устройства, изображенную на рисунке 1.1.

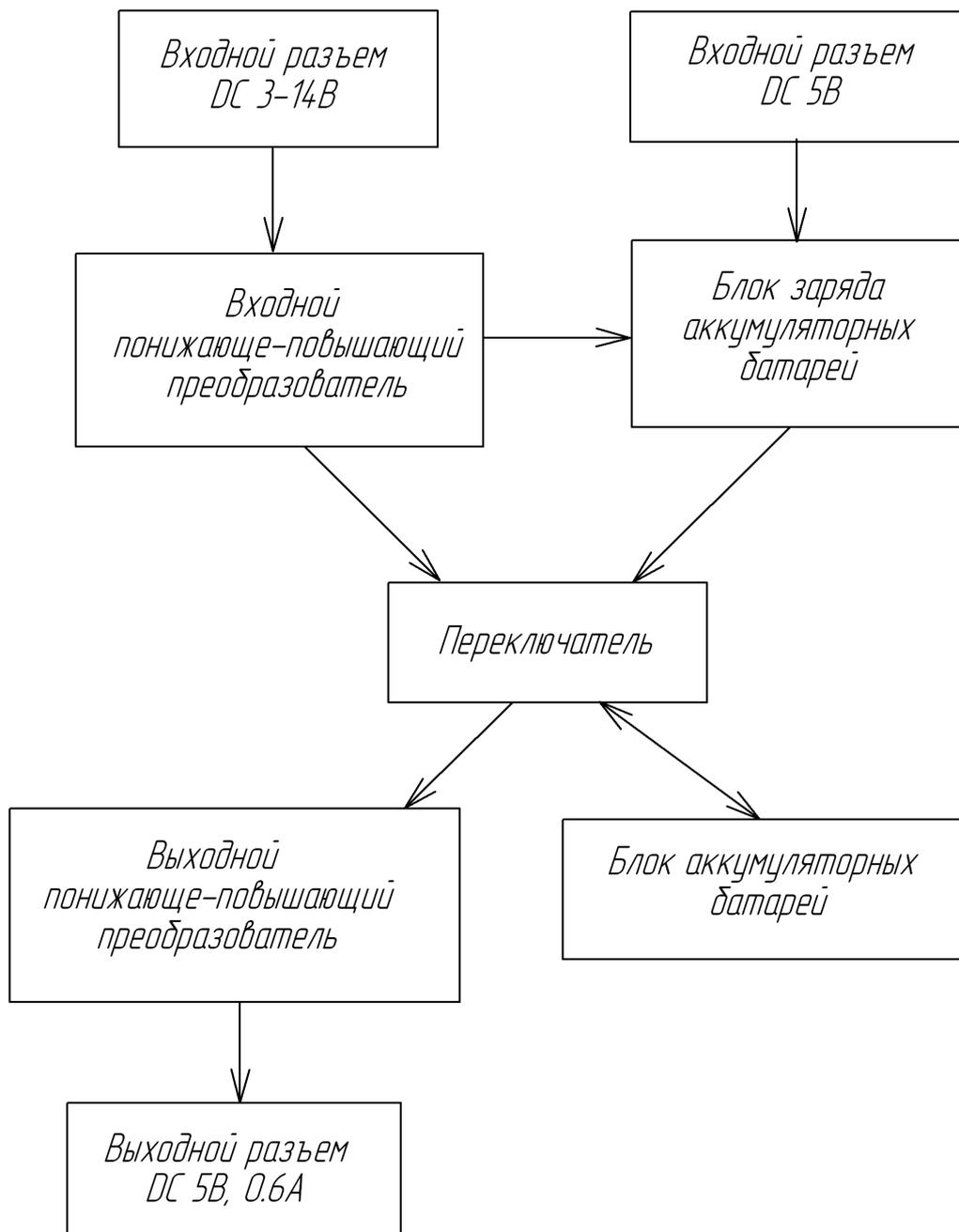


Рисунок 1.1 – Структурная схема разрабатываемого устройства.

Схема, представленная на рисунке 1.1, работает с постоянным током в трех режимах зависящих от положения переключателя (ON1-OFF-ON2):

- 1) Заряд аккумуляторных батарей (ON1). В этом режиме происходит заряд аккумуляторных батарей и параллельно подача напряжения на нагрузку, подключенную к выходным разъемам. Входное напряжение может подаваться на разъемы 5В и 3-14В.

При подаче напряжения на входные разъемы 5В ток в устройстве протекает по двум путям: а) входной разъем 5В – блок заряда аккумуляторных батарей – аккумуляторные батареи. б) входной разъем 5В – выходной понижающе-повышающий преобразователь – выходной разъем.

При подаче напряжения на входные разъемы 3-14В ток в устройстве протекает по двум путям: а) входной разъем 3-14В – входной понижающе-повышающий преобразователь – блок заряда аккумуляторных батарей – аккумуляторные батареи. б) входной разъем 3-14В – входной понижающе-повышающий преобразователь – выходной понижающе-повышающий преобразователь – выходной разъем.

- 2) Разряд аккумуляторных батарей (ON2). В этом положении блок аккумуляторных батарей соединяется только с выходным повышающе-понижающим преобразователем и питает нагрузку, подключенную к выходному разъему. На выходной разъем подается напряжение 5В и до 0.6А постоянного тока.
- 3) Режим средней точки (OFF). В этом положении блок аккумуляторных батарей отключен от всех цепей схемы, питание с входных разъемов не подается ни на выход, ни на аккумуляторные батареи.

1.3 Описание входных и выходных разъемов

В портативных устройствах для подачи постоянного тока используются в основном 4 вида внешних разъемов:

- 1) Штырьковый;
- 2) Клеммы;
- 3) USB;

- 4) Нестандартный разъем, применяемый либо только с одной моделью устройства либо только с одним производителем устройств.

1.3.1 Описание USB разъема

USB разъем широко распространен среди портативной техники. Самым распространённым является разъем USB тип А (рис. 1.2) [6].



Рисунок 1.2 - Разъем USB тип А.

Так же существует разъем тип В (рис. 1.3), однако он не получил распространения в качестве зарядного разъема для мобильных устройств.

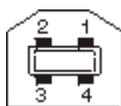


Рисунок 1.3 - Разъем USB тип В.

Описание контактов разъемов приведено в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Описание контактов разъема USB А/В.

Номер контакта	Обозначение	Тип сигнала	Цвет провода
1	V BUS	+5V Питание	красный
2	D-	USB данные	белый
3	D+		зелёный
4	GND	Земля	чёрный

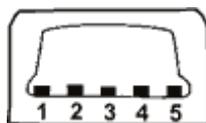


Рисунок 1.4 - Разъем mini USB тип В.

Таблица 1.4 – Описание контактов разъема mini USB B.

Номер контакта	Обозначение	Цвет провода
1	V BUS	красный
2	D-	белый
3	D+	зелёный
4	ID	не подключён
5	GND	чёрный

Для разрабатываемого устройства мы выберем разъемы:

- 1) USB тип A в качестве выходного разъема. С данного разъема существует множество переходников питания; производители портативных приборов часто вкладывают в комплект поставки кабеля с таким разъемом для заряда своих устройств.
- 2) В качестве входного разъема выберем miniUSB тип B и USB тип B. MiniUSB тип B широко распространен в портативных устройствах в качестве универсального разъема для подзарядки и передачи данных. USB тип B применяется в качестве коннектора для компьютерной периферии.

1.3.2 Описание клемных колодок

Клеммные колодки по способу закрепления проводов разделяют на 3 основных вида:

- 1) С винтовым зажимом;
- 2) С пружинным зажимом;
- 3) С ножевым зажимом.

Для разрабатываемого устройства мы выберем клеммник с пружинным разъемом, так как он предусматривает подключение простого оголенного провода а для фиксации не требуется какой либо инструмент.

1.3.3 Описание нестандартных разъемов

В разрабатываемом устройстве не будут использоваться нестандартные разъемы для подключения питания, так как использование нестандартных разъемов снизит универсальность устройства и потребует долгий поиск соединительного кабеля.

1.4 Выбор аккумуляторов

Одни из самых доступных аккумуляторных батарей типа АА в магазинах шаговой доступности являются батареи Ni-MH. Их номинальное напряжение составляет 1.2 В, емкости варьируются в пределах от 1000 до 3500 мАч.

Для разрабатываемого устройства выберем [10] NiMH аккумуляторы GP Batteries типоразмера АА емкостью 2600мА*ч, основные характеристики представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 Основные параметры NiMH аккумулятора GP Batteries типоразмера АА.

Параметр		Значение
Модель		GP270AАНС
Номинальное напряжение, В		1.2
Минимальная емкость 0,2С, мА*ч		2600
Типовая емкость 0,2С, мА*ч		2650
Диаметр, мм		14.5
Высота, мм		50.5
Вес, г		33
Стандартный заряд	Ток, мА	260
	Время, час	16
Ток ускоренного заряда 1 час, мА		2600

1.5 Обзор преобразователей постоянного напряжения

В разрабатываемом устройстве в качестве повышающе-понижающего преобразователя будет использован преобразователь постоянного напряжения, рассмотрим основные виды ППН.

1.5.1 Повышающий ППН

На рисунке 1.9 представлен повышающий ППН, на рисунках 1.10 и 1.11 диаграммы работы в различных режимах.

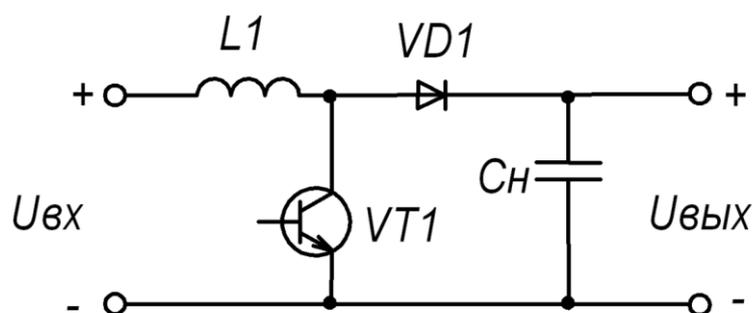


Рисунок 1.9 - Повышающий ППН.

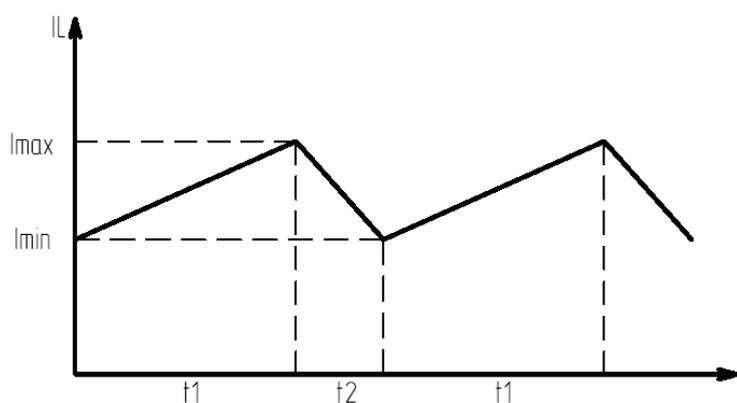


Рисунок 1.10 - Диаграммы в режиме непрерывных токов.

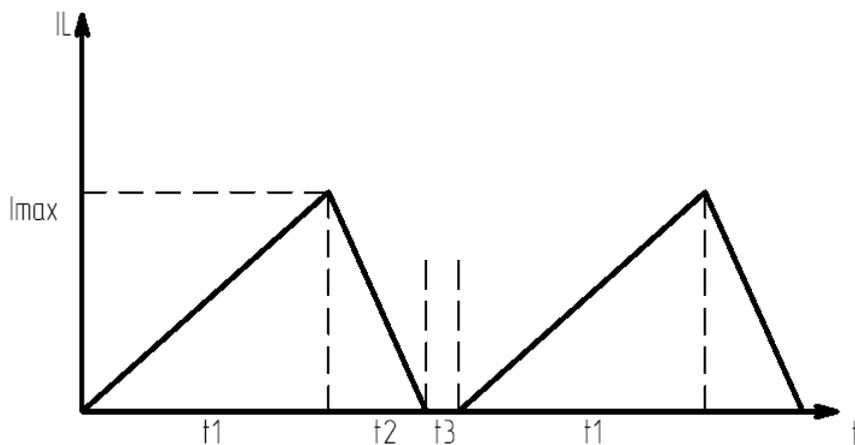


Рисунок 1.11 - Диаграммы в режиме прерывистых токов.

1.5.2 Понижающий ППН

На рисунке 1.12 представлен понижающий ППН, на рисунке 1.13 – диаграммы его работы.

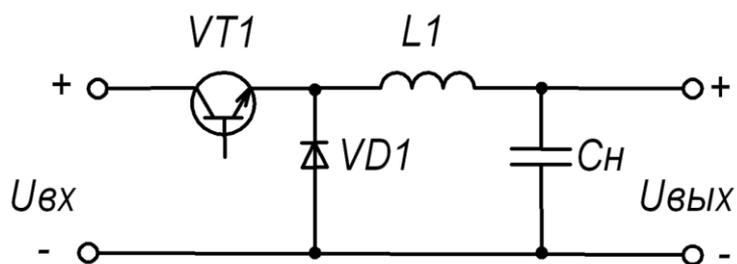


Рисунок 1.12 – Понижающий ППН.

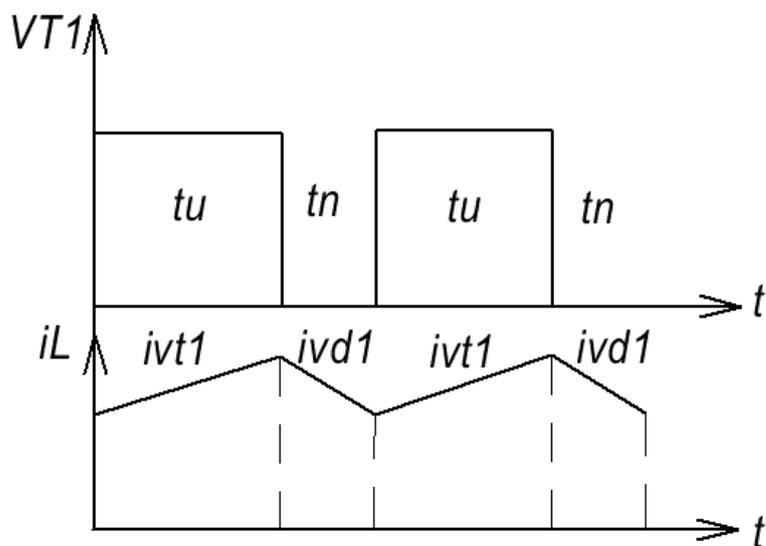


Рисунок 1.13 – Временные диаграммы работы ППН.

В 1-ю фазу протекает на протяжении времени t_{on} . Транзистор $VT1$ открыт и проводит ток i_{vt1} , он течет от $U_{вх}$ к конденсатору нагрузки через индуктивность $L1$, по цепи $U_{вх} - VT1 - L1 - Cн$, подзаряжается конденсатор $Cн$. Во 2ю фазу транзистор закрывается и энергия из дросселя сбрасывается в нагрузку. Через некоторый промежуток времени t_{off} транзистор снова открывается и процесс повторяется.

1.5.3 Повышающе-понижающий ППН

На рисунке 1.14 представлен повышающе-понижающий ППН

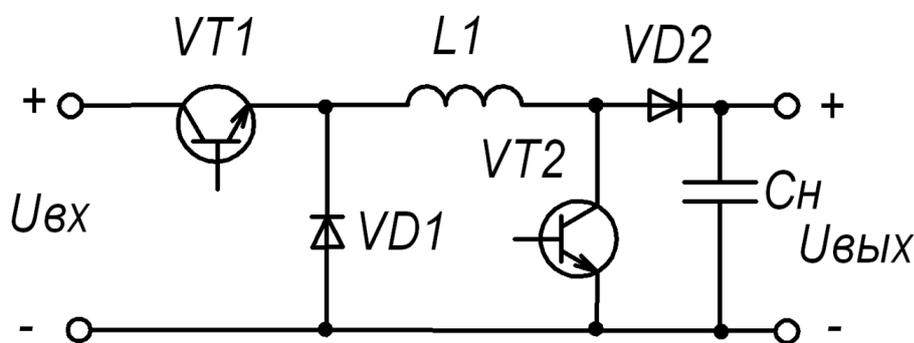


Рисунок 1.14 – Повышающе-понижающий ППН.

Работа осуществляется следующим образом: сначала $VT2$ закрыт, а $VT1$ работает в ключевом режиме, схема представляет собой понижающий преобразователь, и работает аналогично схеме на рисунке 1.13. После заряда $Cн$ до $U_{вх}$ открывается $VT1$, а $VT2$ начинает работать в ключевом режиме, схема работает как повышающий преобразователь аналогично схеме на рисунке 1.9.

1.5.4 Преобразователь Кука

На рисунке 1.15 представлен преобразователь Кука, на рисунке 1.16 диаграммы его работы.

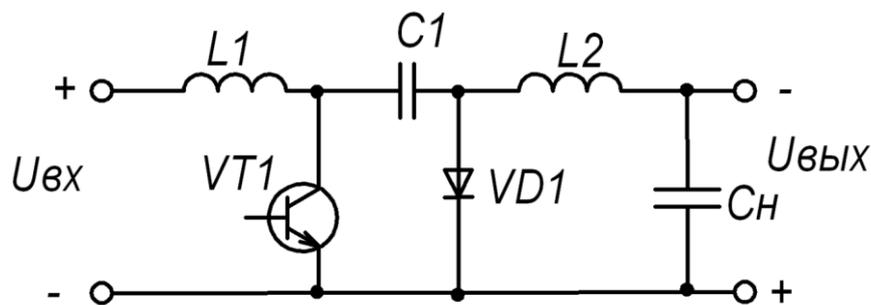


Рисунок 1.15 – Преобразователь Кука.

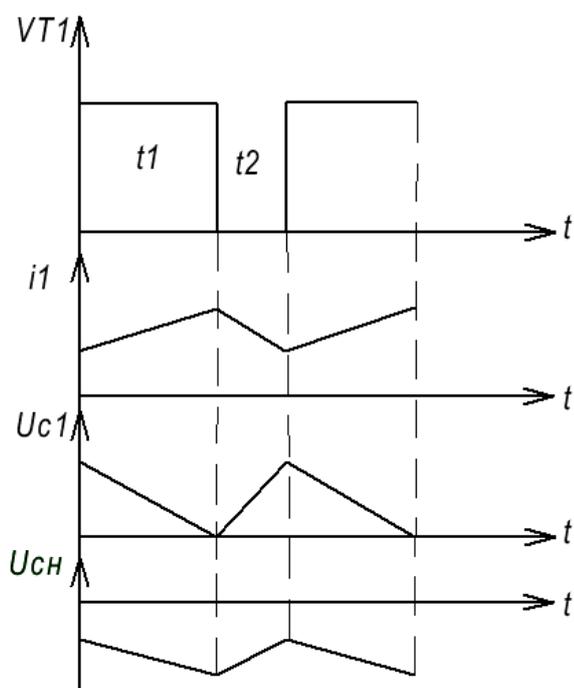


Рисунок 1.16 – Временные диаграммы работы ППН.

1.5.5 Обратногоходовой преобразователь

При необходимости повышения входного напряжения более чем в 10 раз используют преобразователь с повышающим трансформатором. Например, обратноходовой (fly-back) преобразователь (рис. 1.17, 1.18).

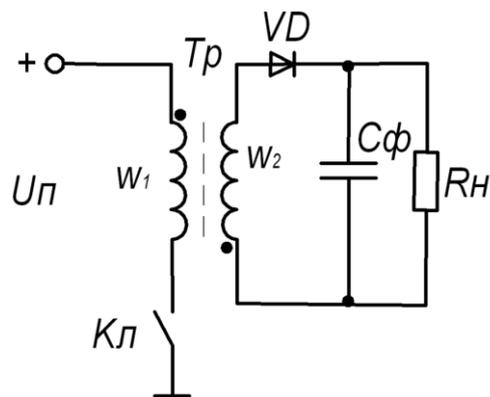
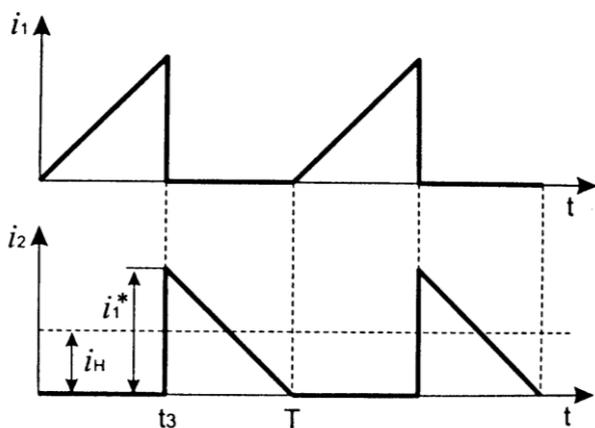
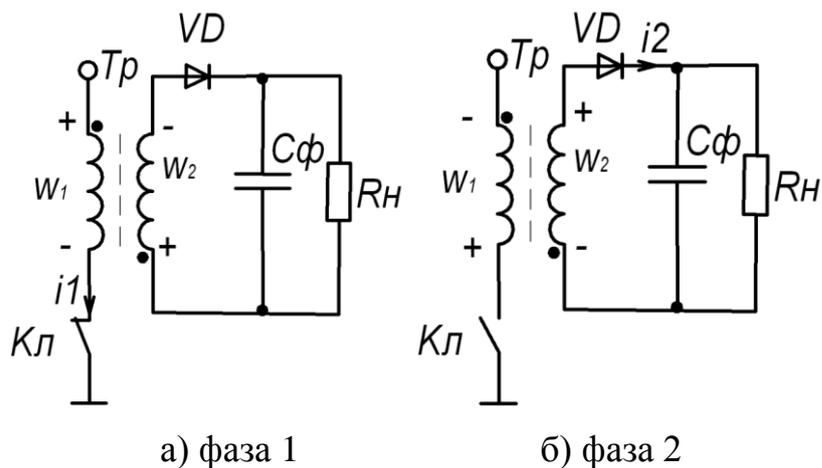


Рисунок 1.17- Схема обратного (fly-back) преобразователя.



в) графики формы тока в первичной i_1 и вторичной i_2 обмотках
Рисунок 1.18 – Пояснение работы обратного преобразователя.

1.5.6 Прямоходный преобразователь

На рисунке 1.19 представлена схема прямоходного преобразователя.

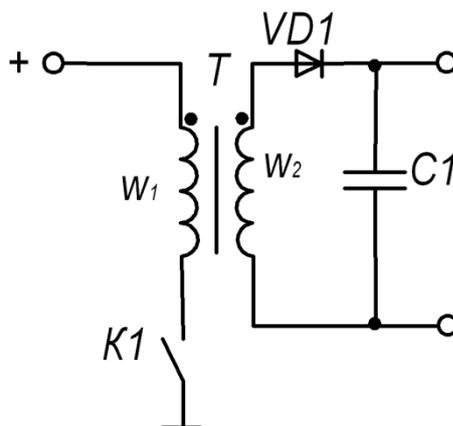


Рисунок 1.19 – Прямоходовая схема преобразователя.

Существенным отличием от обратноходовой семы является то, что в этой схеме трансформатор используется по своему прямому назначению, а не как накопительный элемент.

Прямоходовая схема преобразователя используется на малых мощностях.

1.5.7 Преобразователь SEPIC

Если в выходной цепи преобразователя Кука поменять местами реактор и диод VD1, то получится схема, называемая схемой преобразователя типа SEPIC(рис.1.20, 1.21).

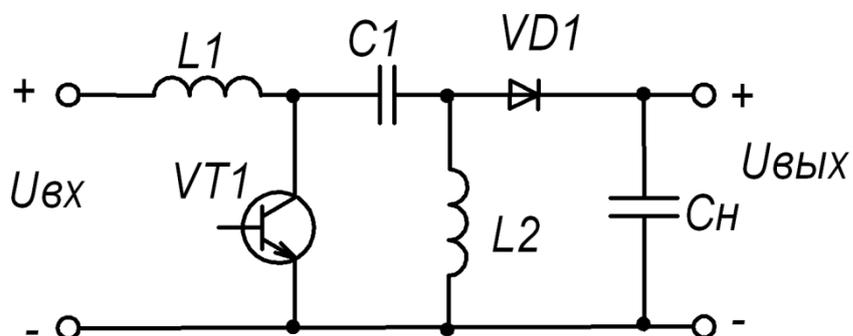


Рисунок 1.20 – Преобразователь SEPIC.

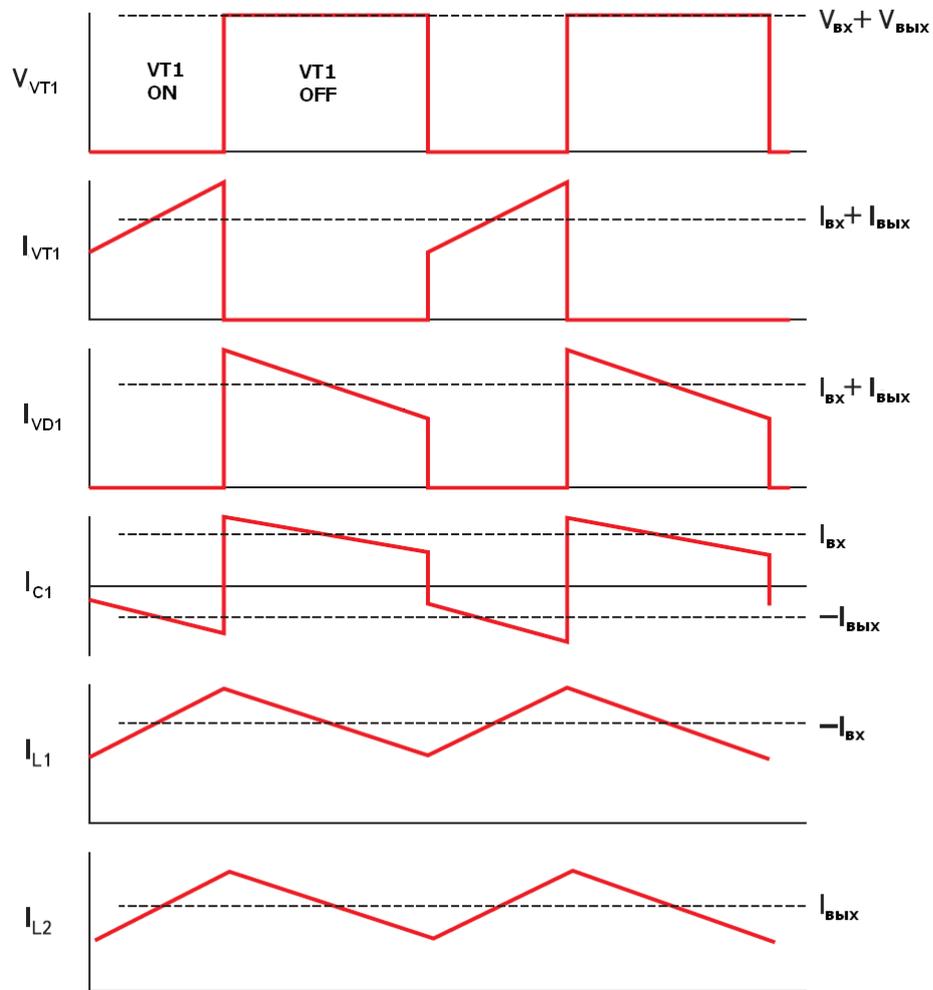


Рисунок 1.21 – Временные диаграммы работы SEPIC.

1.6 Описание блока заряда для аккумуляторных батарей

В качестве зарядного устройства лучше использовать высоко интегрированные устройства с минимум элементов. Примером такого устройства служит управляющая микросхема[12] MAX1501 фирмы Maxim Integrated Products.

Для ее работы достаточно минимума элементов: два конденсатора, токозадающий резистор и пара индикационных светодиодов.

Основные параметры микросхемы MAX1501:

Тип заряжаемых аккумуляторов	LiIon, LipoI, NiCd, NiMH
Максимальный зарядный ток, А	1,4
Количество заряжаемых батарей LiIon	1
Количество заряжаемых батарей NiMH	3
Входное напряжение, В	4.5-13
Выходное напряжение в режиме заряда, В:	
LiIon	4,1/4,2
NiCd/NiMH	4,5/4,95
Диапазон рабочих температур, С	-40:+85

2. Разработка и расчет электрической принципиальной схемы

По блок схеме, представленной на рисунке 1.1 составим схему электрическую принципиальную (рис 2.1).

Основные электрические параметры схемы:

- Входное напряжение: 3-14 В;
- Выходное напряжение: 5 В;
- Выходной ток: 0,6 А;
- Тип используемых аккумуляторов: 3 Ni-MH типа AA.

2.1 Разработка и расчет выходного понижающе-повышающего преобразователя

2.1.1 Разработка принципиальной схемы

По исходным данным, сформулированным в первой главе, составим исходные данные для выходного понижающе-повышающего преобразователя.

Исходные данные для расчета преобразователя:

- Входное напряжение $V_{in} = 3.0 \dots 14.0$ В;
- Номинальное выходное напряжение $V_{out} = 5$ В;
- Номинальный выходной ток $I_{out} = 0.6$ А;

Зададимся параметрами:

- Частота переключений $f_{SW} = 330$ кГц;
- Используемый контроллер: LM3478.

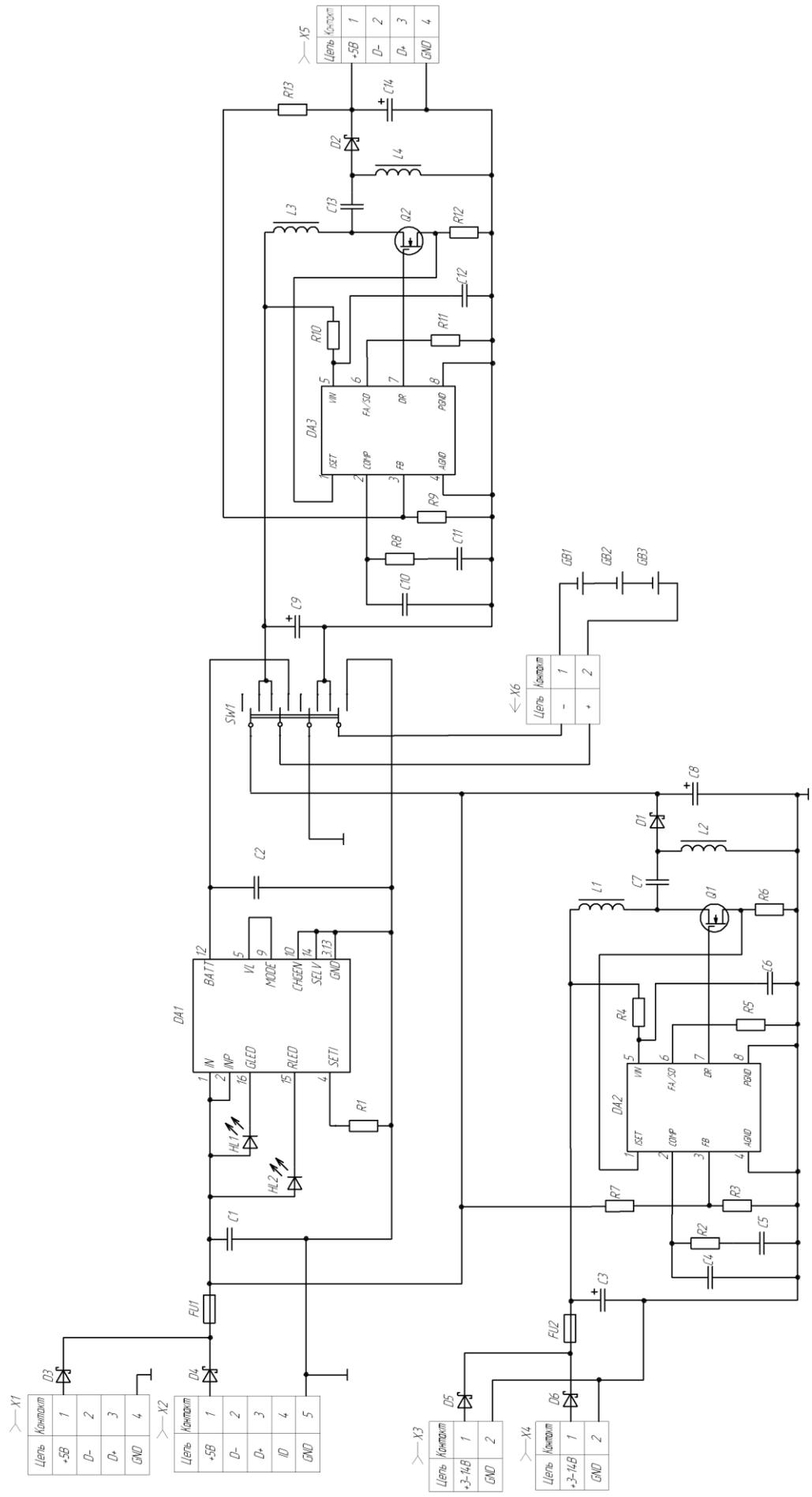


Рисунок 2.1 - Зарядное устройство. Схема электрическая принципиальная.

Принципиальную схему оставим согласно datasheet[13] на микросхему LM3478. Схема электрическая принципиальная представлена на рисунке 2.2.

В режиме повышающего (boost) преобразователя[14]. Когда транзистор M2 открыт, через дроссель L3 протекает ток от источника питания V_{in} , в дросселе запасается энергия. Диод D2 закрыт, напряжение на выходе поддерживается за счет C14. Когда транзистор закрывается, ток L3 продолжает течь. Теперь этот ток протекает через диод D2 и заряжает конденсатор C14. Выходное напряжение V_{out} должно быть выше входного V_{in} .

2.1.2 Расчет схемы

Расчет схемы произведем согласно инструкциям из datasheet на микросхему LM3478 и Application Note 1484 “Designing A SEPIC Converter”, представленных на сайте фирмы National Semiconductor[13].

Микросхема LM3478 – драйвер полевого транзистора (рисунок 2.3).

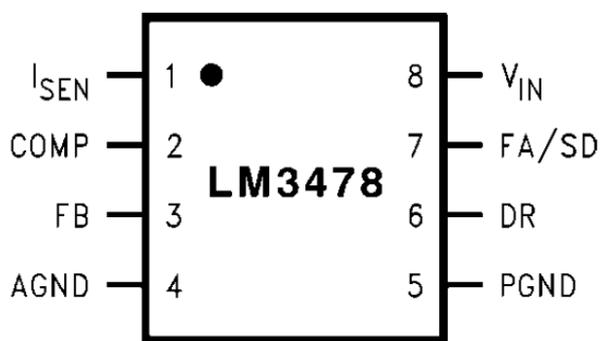


Рисунок 2.3 – Цоколевка корпуса микросхемы LM3478.

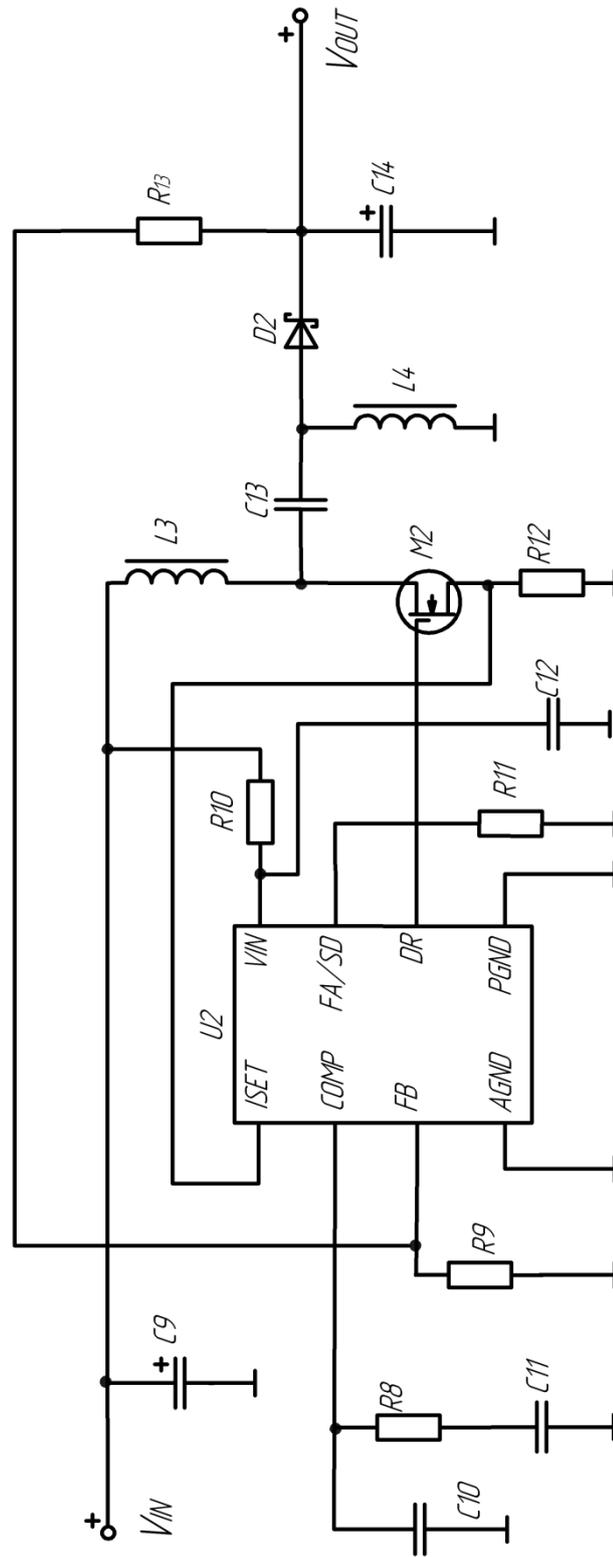


Рисунок 2.2 – Выходной понижающе-повышающий преобразователь.

Схема электрическая принципиальная.

Таблица 2.1 – Описание выводов управляющей микросхемы LM3478.

PIN	Имя	Функции
1	ISEN	Контакт анализа.
2	COMP	Вход компенсации.
3	FB	Обратная связь.
4	AGND	Аналоговый заземляющий контакт.
5	PGND	Заземление мощности.
6	DR	Выход для управления полевым транзистором.
7	FA/SD	Выход для подключения частото задающего резистора.
8	VIN	Вход питания

Таблица 2.2 – Предельные значения параметров управляющей микросхемы LM3478

Параметр	Значение
Входное напряжение, В	2.97 - 40
Тактовая частота, мГц	0.1 - 1
Выходное напряжение	зависит от схемы
Выходной ток	зависит от схемы
Рабочая температура, С°	от-40 до +125
Корпус	MSOP-8

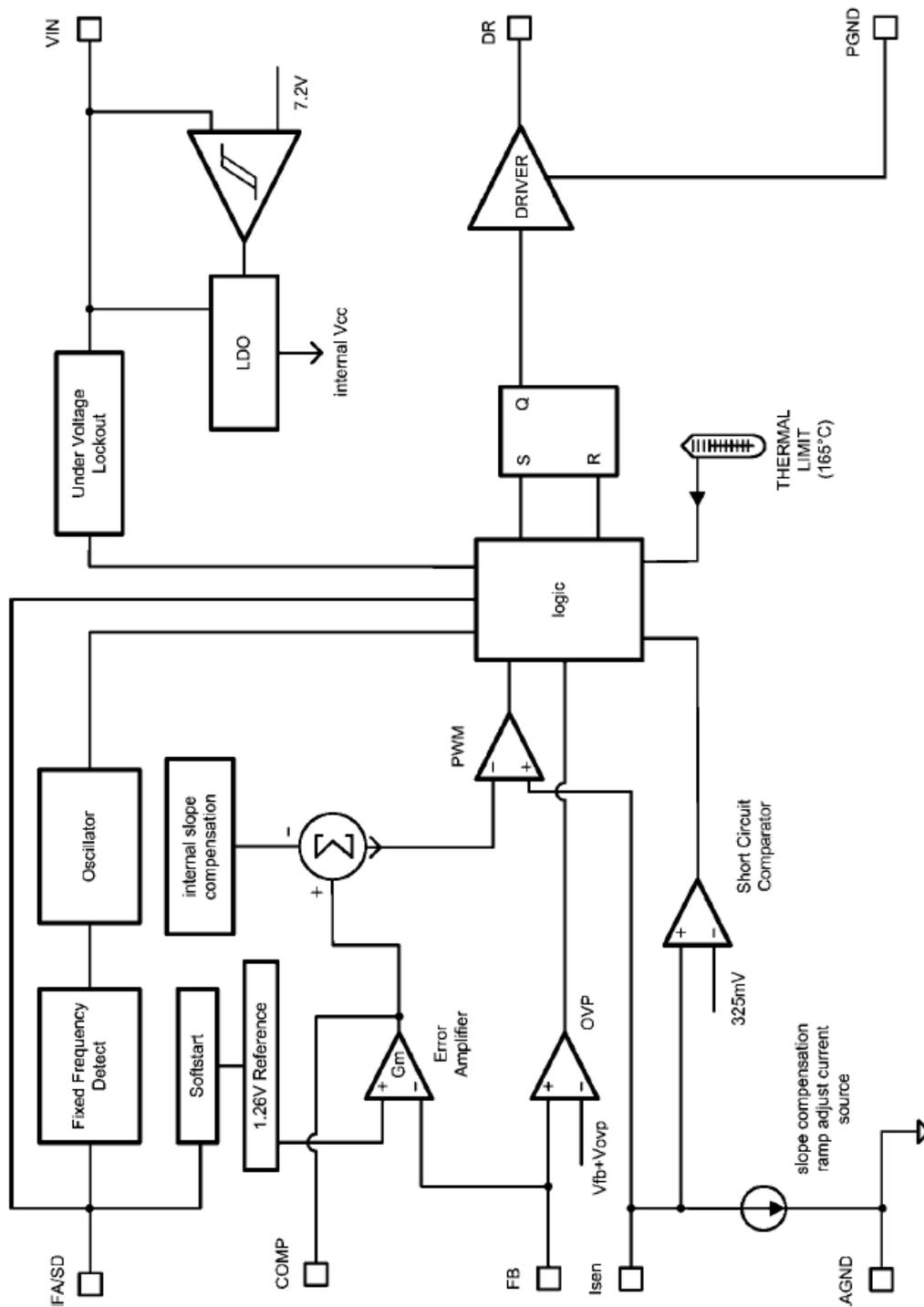


Рисунок 2.4 – Структурная схема микросхемы LM3478.

Для преобразователя SEPIC, работающего в режиме непрерывных токов (continuous conduction mode, CCM), коэффициент заполнения (duty cycle) можно рассчитать по формуле:

$$D_{\min} = \frac{V_{\text{out}} + V_D}{V_{\text{in}} + V_{\text{out}} + V_D} = \frac{5 + 0.5}{14 + 5 + 0.5} = 0.282 \quad (2.1)$$

$$D_{\max} = \frac{V_{\text{out}} + V_D}{V_{\text{in min}} + V_{\text{out}} + V_D} = \frac{5 + 0.5}{3 + 5 + 0.5} = 0.647 \quad (2.2)$$

где V_{out} – выходное напряжение, V_{in} – Входное напряжение, $V_{\text{in min}}$ – минимальное входное напряжение, V_D – падение напряжения на диоде D1 (см в даташите “Forward Voltage”, по умолчанию принимается 0.5 В)

Расчет индуктивности

Индуктивность катушек L3 и L4 равна:

$$\Delta I_{L3} = \Delta I_{L4} = I_{\text{out}} \cdot \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in min}}} = 0.6 \cdot \frac{5}{3} = 0.4 \text{ A}; \quad (2.3)$$

$$L3 = L4 = \frac{V_{\text{in min}}}{\Delta I_{L3} \cdot f_{\text{SW}}} \cdot D_{\max} = \frac{3}{0.4 \cdot 330000} \cdot 0.647 = 1.471 \cdot 10^{-5} = 14 \text{ мкГ}; \quad (2.4)$$

Пиковый ток в индуктивности:

$$I_{L3\text{peak}} = I_{\text{out}} \cdot \frac{V_{\text{out}} + V_D}{V_{\text{in min}}} \cdot \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 0.6 \cdot \frac{5 + 0.5}{3} \cdot \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 1.32 \text{ A}, \quad (2.5)$$

$$I_{L4\text{peak}} = I_{\text{out}} + \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \cdot I_{\text{out}} = 0.6 + \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \cdot 0.6 = 0.72 \text{ A}. \quad (2.6)$$

Значения токов $I_{L\text{peak}}$ и ΔI_L изображены на рисунке 2.5.

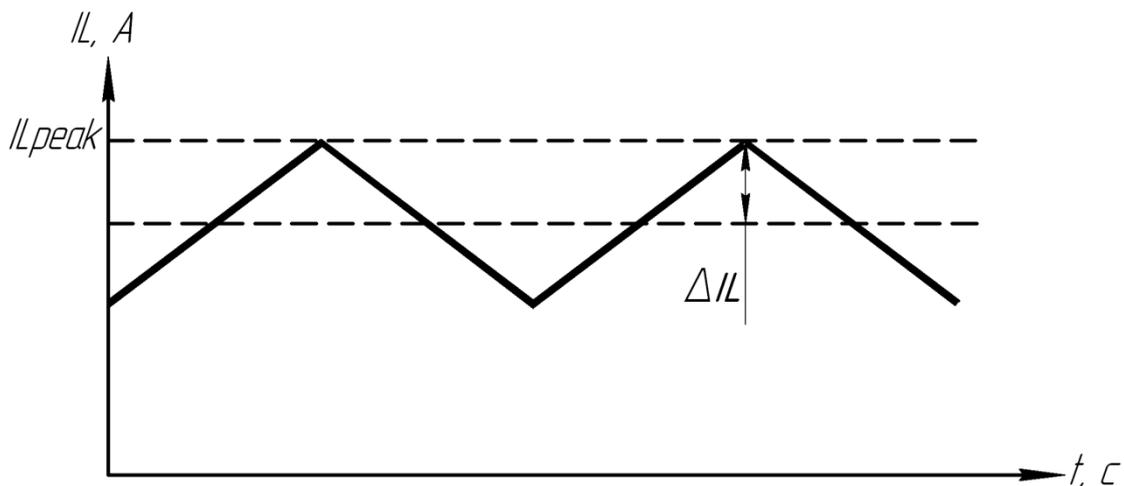


Рисунок 2.5 – Временная диаграмма тока через индуктор.

Исходя из этих параметров, выбрали[17] индуктивности L3 и L4 модели SDR1005-330KL от фирмы Bourns.

Таблица 2.3. Основные параметры индуктора SDR1005-330KL.

Параметр	Значение
Емкость, мкГ	33
I _{rms max} , А	1.8
Рабочая температура, С°	от-40 до +125
Сопротивление на постоянном токе RDC max, Ом	0.12
Материал сердечника	Феррит
Материал провода обмотки	Эмалированная медь

Расчет силового полевого транзистора

Пиковое напряжение на ключе равно:

$$V_{Q2(\text{peak})} = V_{\text{in max}} + V_{\text{out}} = 14 + 5 = 19 \text{ В.} \quad (2.7)$$

Пиковый ток через полевой транзистор:

$$I_{Q2(\text{peak})} = I_{L3\text{peak}} + I_{L4\text{peak}} = 1.32 + 0.72 = 2.04 \text{ А.} \quad (2.8)$$

Среднеквадратичный ток:

$$I_{Q2}(\text{rms}) = I_{\text{out}} \cdot \sqrt{\frac{(V_{\text{out}} + V_{\text{in min}}) \cdot V_{\text{out}}}{V_{\text{in min}}^2}} = 0.6 \cdot \sqrt{\frac{(5+3) \cdot 5}{3^2}} = 1.265 \text{ A.}$$

(2.9)

Расчетное напряжение на стоке полевого транзистора должно быть выше, чем значение V_{Q2} .

Временные диаграммы тока и напряжения через полевой транзистор изображено на рисунке 2.6.

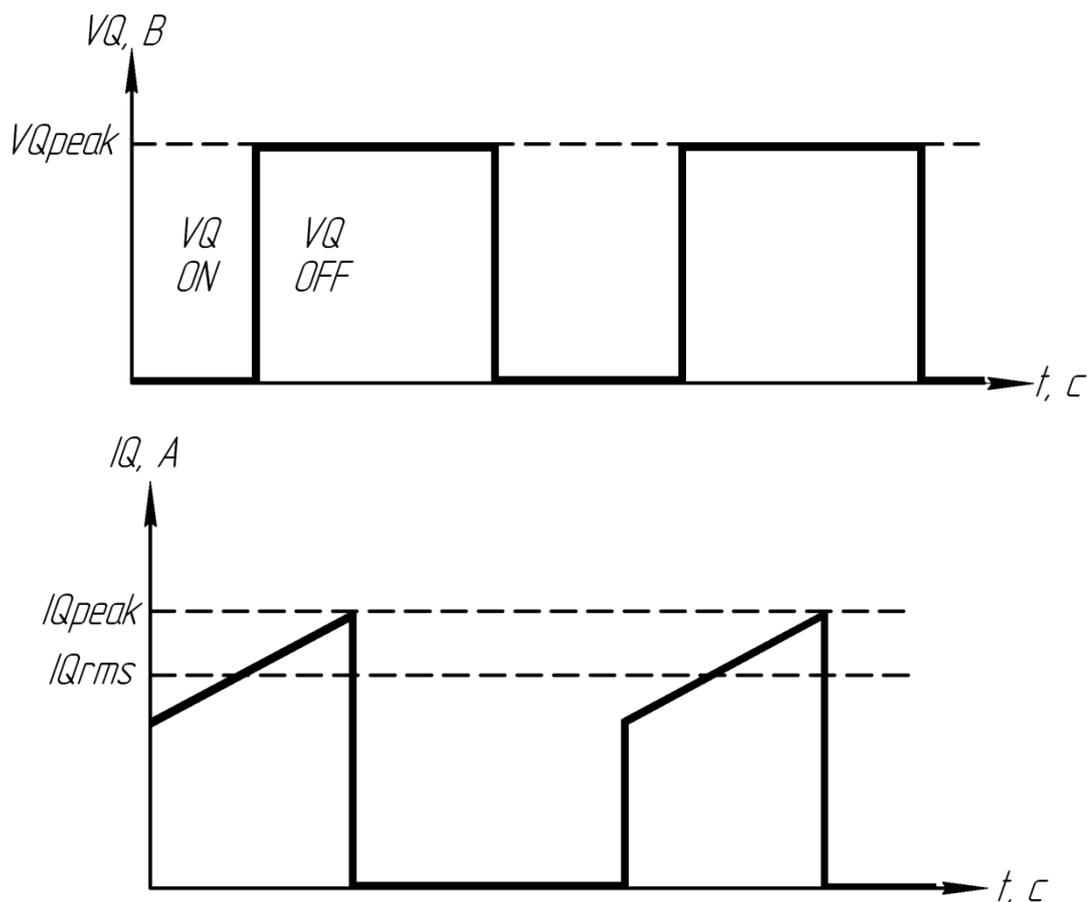


Рисунок 2.6 – Временные диаграммы тока и напряжения через транзистор.

Выберем[17] полевой транзистор типа SI2316BDS-T1-E3 от фирмы Vishay-Siliconix.

Ожидаемые потери мощности составят:

$$P_{Q2} = I_{Q2}(\text{rms})^2 \cdot R_{\text{DS(on)}} \cdot D_{\text{max}} + (V_{\text{in min}} + V_{\text{out}}) \cdot I_{Q2}(\text{peak}) \cdot$$

$$\cdot \frac{Q_{\text{GD}} \cdot f_{\text{sw}}}{I_{\text{G}}} = 1.265^2 \cdot 0.05 \cdot 0.647 + (3 + 5) \cdot 2.04 \cdot \frac{1.1 \cdot 10^{-9} \cdot 330000}{0.3} = 0.078 \text{ Вт.} \quad (2.10)$$

где $RDS(on) = 0.05 \text{ Ом}$, $QGD = 1.1 \text{ нКл}$, ток управления затвором IG для LM3478 равен 0.3 А.

Таблица 2.4. Основные параметры транзистора SI2316BDS-T1-E3.

Параметр	Значение
Напряжение сток-исток, В	30
Максимальное напряжение затвор-исток, В	± 20
Пиковый переключаемый ток транзистора, А	4.5
Сопротивление канала в открытом состоянии, Ом	0.05
Максимальный заряд затвор-сток , нКл	1.1
Максимальная рассеиваемая мощность, Вт	1,66
Рабочая температура, С°	от-55 до +150
Корпус	ТО-236 (SOT-23)

Расчет выходного диода

В преобразователе с топологией SEPIC пиковый ток диода равен пиковому току ключа $I_{Q2(peak)} = 2,04 \text{ А}$.

Минимум для пикового обратного напряжения диода составляет:

$$VD2 = V_{in \max} + V_{out \max} = 14 + 5 = 19 \text{ В.} \quad (2.11)$$

Средний ток диода равен выходному току при полной нагрузке. Для минимизации потерь выбрали[17] диод Шоттки модели B330A фирмы Diodes Inc.

Таблица 2.5. Основные параметры диода B330A.

Параметр	Значение
Максимальное постоянное обратное напряжение, В	30
Средний выпрямленный ток, А	3
Максимально допустимый прямой импульсный ток, А	80
Рабочая температура, С°	от-55 до +125

Расчет разделительного конденсатора

Среднеквадратичный ток через C13:

$$I_{C13(rms)} = I_{out} \cdot \sqrt{\frac{V_{out} + V_D}{V_{in \min}}} = 0.6 \cdot \sqrt{\frac{5+0.5}{3}} = 0.812 \text{ A.} \quad (2.12)$$

Емкость:

$$C13 > L3 \cdot \frac{I_{out}^2}{V_{in}^2} > 4.662 \cdot 10^{-8} \text{ Ф.} \quad (2.13)$$

Пульсация напряжения:

$$\Delta V_{C13} = \frac{I_{out} \cdot D_{\max}}{C13 \cdot f_{SW}} = \frac{0.6 \cdot 0.647}{4.662 \cdot 10^{-8} \cdot 330000} = 0.118 \text{ В.} \quad (2.14)$$

Разделительный конденсатор должен быть рассчитан на больший среднеквадратический ток, чем требуется для получения заданной выходной мощности. Расчетное напряжение для конденсатора выбирается больше, чем максимальное входное напряжение.

По параметрам выбрали[17], из рекомендованных производителем, керамический конденсатор C3225X7R1E106M емкостью 10мкФ фирмы TDK.

Расчет выходного конденсатора

Среднеквадратичный ток через выходной конденсатор:

$$I_{C14(rms)} = I_{C13(rms)} = 0.812 \text{ A.} \quad (2.15)$$

Пусть размах пульсаций от пика до пика составляет 2% от выходного напряжения 5В, тогда ESR (эквивалентное последовательное сопротивление, ЭПС) выходного конденсатора:

$$ESR \leq \frac{V_{ripple} \cdot 0.5}{I_{L3peak} + I_{L4peak}} = \frac{5 \cdot 0.02 \cdot 0.5}{1.32 + 0.72} = 0.025 \text{ Ом.} \quad (2.16)$$

$$V_{ripple} = V_{out} \cdot 2\% = 5 \cdot 0.02$$

где

Пульсация выходного напряжения представлена на рисунке 2.7.

Емкость выходного конденсатора:

$$C14 > \frac{I_{out} \cdot D_{max}}{V_{ripple} \cdot 0.5 \cdot f_{sw}} = \frac{0.6 \cdot 0.647}{5 \cdot 0.02 \cdot 330000} = 2.353 \cdot 10^{-5} = 23 \text{ мкФ} \quad (2.17)$$

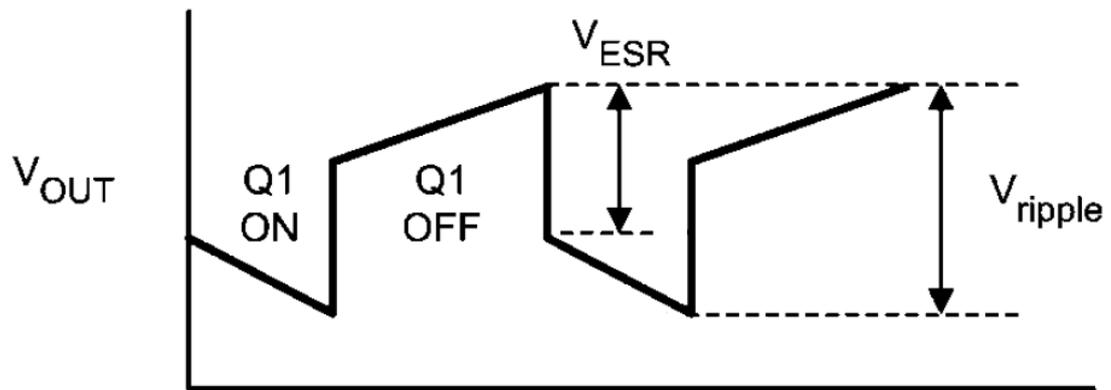


Рисунок 2.7 - Пульсация выходного напряжения.

Для поверхностного монтажа рекомендуется использовать конденсаторы следующих типов: танталовые, с полимерным электролитом, полимерные танталовые или многослойные керамические. Исходя из этих параметров, выбрали[17] электролитический конденсатор APXE100ARA121MF61G фирмы Nippon Chemi-Con.

Таблица 2.6 .- Основные параметры конденсатора APXE100ARA121MF61G.

Параметр	Значение
Емкость, мкФ	120
Среднеквадратичный ток I _{rms} , мА	2530
Эквивалентное последовательное сопротивление ESR, мОм	25
Рабочая температура, С°	от-55 до +105

Расчет входного конденсатора

В преобразователе SEPIC имеется емкость на входе. Среднеквадратичное значение входного тока:

$$I_{C9(rms)} = \frac{\Delta I_{L3}}{\sqrt{12}} = \frac{0.4}{\sqrt{12}} = 115 \text{ мА.} \quad (2.18)$$

Исходя из этих параметров, выбрали[17] UUD1E151MCL1GS фирмы Nichicon.

Таблица 2.7 .- Основные параметры конденсатора UUD1E151MCL1GS.

Параметр	Значение
Емкость, мкФ	150
Среднеквадратичный ток I_{rms} , мА	450
Эквивалентное последовательное сопротивление ESR, мОм	170
Рабочая температура, С°	от-55 до +105

Для повышения производительности при входном напряжении ниже $V_{in} < 8$ В, рекомендуется использовать RC цепочку из резистора R10 емкостью 20 Ом и керамического конденсатора C12 емкостью 1 мкФ подключенный как изображено на рисунке 2.7. Подобрали резистор CRCW040220R0FKED фирмы Vishay-Dale. Подобрали конденсатор CC1206KRX7R9BB104 фирмы Yageo America.

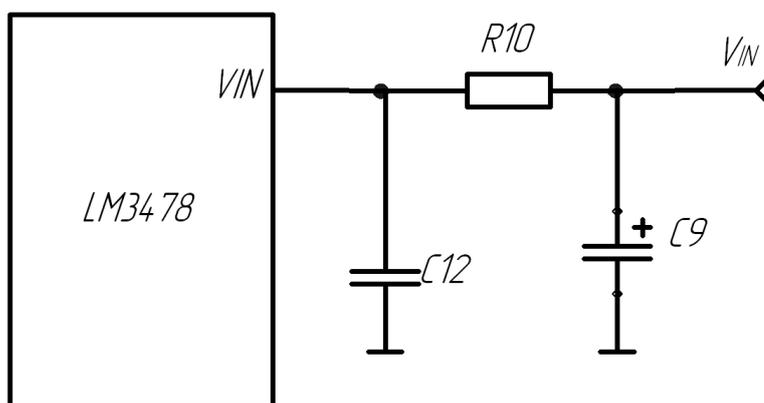


Рисунок 2.7 - Схема уменьшения входного шума.

Расчет резисторов обратной связи

R9 – резистор верхний, R13 – резистор нижний для делителя напряжения.

Опорное напряжение для обратной связи V_{ref} равно 1.26 В. Зададимся $R_{13} = 30\text{кОм}$, откуда:

$$R_9 = \frac{V_{ref}}{V_{out} - V_{ref}} \cdot R_{13} = \frac{1.26}{5 - 1.26} \cdot 30000 = 10.106 \cdot 10^3 \text{ Ом.} \quad (2.19)$$

Исходя из этих параметров, выбрали[17] резисторы R9- CRCW040210K0FKED и R13- CRCW040230K0FKED фирмы Vishay-Dale.

Таблица 2.8 .- Основные параметры резисторов R9- CRCW040210K0FKED и R13- CRCW040230K0FKED

Параметр	Значение R9	Значение R13
Сопротивление, кОм	10	30
Максимальное V_{max} , В	50	50
Рассеиваемая мощность, мВт	63	63
Рабочая температура, С°	от-55 до +155	от-55 до +155

Расчет резистора задающего частоту

Сопротивление R11 выбирается по графику (рис.2.8) и приблизительно равно 55кОм.

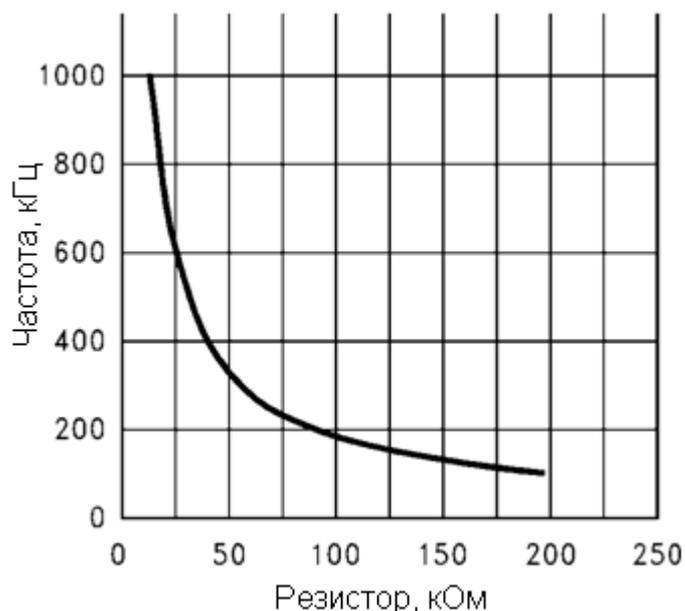


Рисунок 2.8 - График зависимости частоты от резистора R11.

Исходя из этих параметров, выбрали[17] резистор CRCW040255K0FKED фирмы Vishay-Dale.

Таблица 2.9 .- Основные параметры резистора CRCW040255K0FKED

Параметр	Значение
Сопротивление, кОм	55
Максимальное Vmax, В	50
Рассеиваемая мощность, мВт	63
Рабочая температура, С°	от-55 до +155

Расчет токозадающего резистора

Напряжение срабатывания схемы защиты по току для LM3478 равно 120 мВ. За вычетом напряжение компенсирующего пилообразного напряжения, остается приблизительно 75 мВ. Откуда, сопротивление шунтового резистор:

$$R_{12} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{I_{Q2(\text{peak})}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{2.04} = 0.036 \text{ Ом} \quad (2.20)$$

Исходя из этих параметров, выбрали[17] резистор CSR0402FT35L0 фирмы Stackpole Electronics Inc.

Таблица 2.10 .- Основные параметры резистора CSR0402FT35L0

Параметр	Значение
Сопротивление, Ом	0.035
Максимальное Vmax, В	50
Рассеиваемая мощность, Вт	0.125
Рабочая температура, С°	от-55 до +155

Согласно рекомендациям на микросхему, подобрали[17] резистор CRCW040250R0FKED фирмы Vishay-Dale.

Таблица 2.11 .- Основные параметры резистора CRCW040250R0FKED

Параметр	Значение
Сопротивление, Ом	250
Максимальное Vmax, В	50
Рассеиваемая мощность, мВт	63
Рабочая температура, С°	от-55 до +155

По параметрам выбрали[17] керамический конденсатор С3225JB1Н155К емкостью 1,5 мкФ фирмы TDK.

Полос на частоте $1/(2\pi \cdot R8 \cdot C10)$ компенсирует ноль от ESR, равный $1/(2\pi \cdot ESR \cdot C14)$:

$$C10 = \frac{C14 \cdot ESR}{R8} = \frac{2.353 \cdot 10^{-5} \cdot 0.025}{2.5 \cdot 10^3} = 2.305 \cdot 10^{-9} = 2,3 \text{ нФ} \quad (2.26)$$

По параметрам выбрали[17] керамический конденсатор С1005JB1Н332К емкостью 3,3 нФ фирмы TDK.

2.2 Разработка и расчет блока заряда аккумулятора и блока аккумуляторных батарей

2.2.1 Разработка принципиальной схемы

Принципиальную схему оставим согласно datasheet[12] на микросхему MAX1501. Схема электрическая принципиальная представлена на рисунке 2.12.

2.2.2 Расчет схемы

Микросхема управления

Выбрали [17] микросхему MAX1501- Высоко интегрированное устройство для заряда Li+ и NiMH/NiCd аккумуляторов постоянным током и постоянным напряжением. Прибор содержит токочувствительный резистор,

проходной р- канальный МОП транзистор и не требует внешнего диода Шоттки для блокирования обратного тока.

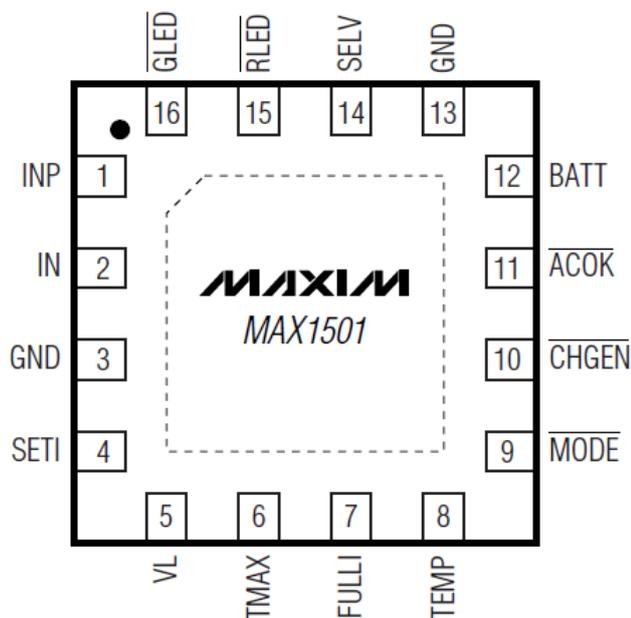


Рисунок 2.9 – Цокалевка корпуса.

Таблица 2.12 – Описание Выводов микросхемы MAX1501.

PIN	Имя	Функции
1	INP	Сильноточный зарядный вход. INP обеспечивает ток зарядки для батарей.
2	IN	Слаботочный зарядный вход.
3, 13	GND	Общий
4	SETI	Токочувствительный выход крутизны усиления. Резистор подключается от SETI к GND, чтобы выбрать максимальный ток заряда и контролировать ток заряда.
5	VL	Линейный выход для выбора логического уровня логики микроконтроллера
6	TMAX	Вход для выбора максимального времени заряда.
7	FULLI	Вход выбора тока дозаряда.
8	TEMP	Вход для термоконтроля.

PIN	Имя	Функции
9	MODE	Вход выбора режима зарядки.
10	CHGEN	Вход разрешения зарядки.
11	АСОК	Индикатор входного напряжения.
12	BATT	Выход для подключения к аккумуляторной батарее. Подключается к положительному полюсу батареи. BATT потребляет меньше 5 мкА при завершении работы.
14	SELV	Вход выбора напряжения заряда батарей.
15	RLED	Выход индикатора процесса зарядки аккумулятора. Красный светодиод подключается катодом к RLED а анодом к IN.
16	GLED	Выход индикатора полного заряда. Зеленый светодиод подключается катодом к GLED а анодом к IN.

Таблица 2.13. – Предельные значения параметров микросхемы MAX1501

Параметр	Значение
Входное напряжение, В	4.5-13
Входное рабочее напряжение, В	4.5-6.5
Мощность рассеивания в непрерывном режиме, мВт	1702
Количество и тип заряжаемых аккумуляторов	1 Li+, 3 NiMH/NiCd
Максимальный ток заряда, А	1.4
Выходное напряжение в режиме заряда Li+, В	4.1/4.2
Выходное напряжение в режиме заряда NiCd/NiMH, В	4.5/4.95
Рабочая температура, С°	от-40 до +85
Корпус	16 –pin QFN

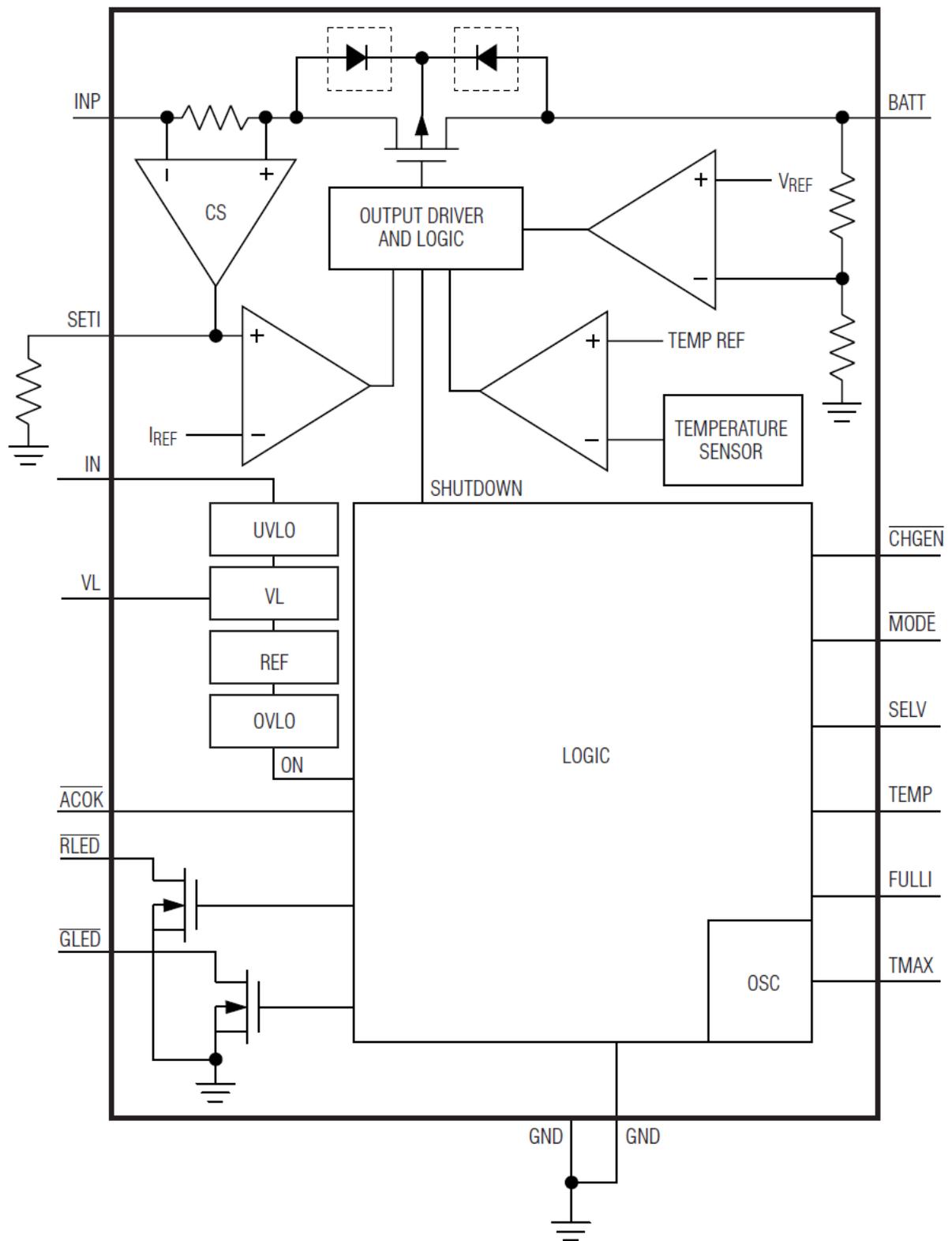


Рисунок 2.10 – Структурная схема микросхемы MAX1501.

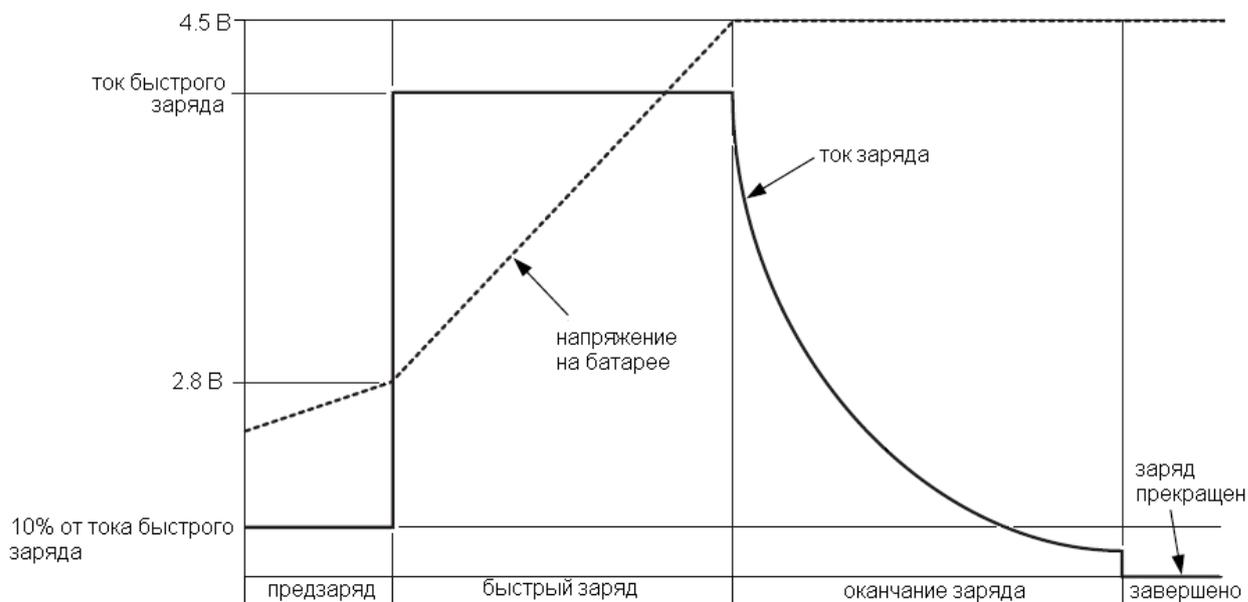


Рисунок 2.11 – График последовательности заряда NiMH/NiCd.

При включении, микросхема заряжает аккумулятор малым током – примерно 10% от номинального зарядного тока, задаваемого резистором R1. После достижения напряжения 2,8 на аккумуляторе вольта, зарядный ток увеличивается, то есть включается режим быстрой зарядки (fast charge). При достижении напряжения 4.5 или 4.2 вольта для NiMH/NiCd и Li+ соответственно, зарядный ток уменьшается. При снижении тока до уровня 30% от номинального зажигается зеленый светодиод HL1, означающий окончание заряда. В течение всего цикла заряда горит красный светодиод HL2.

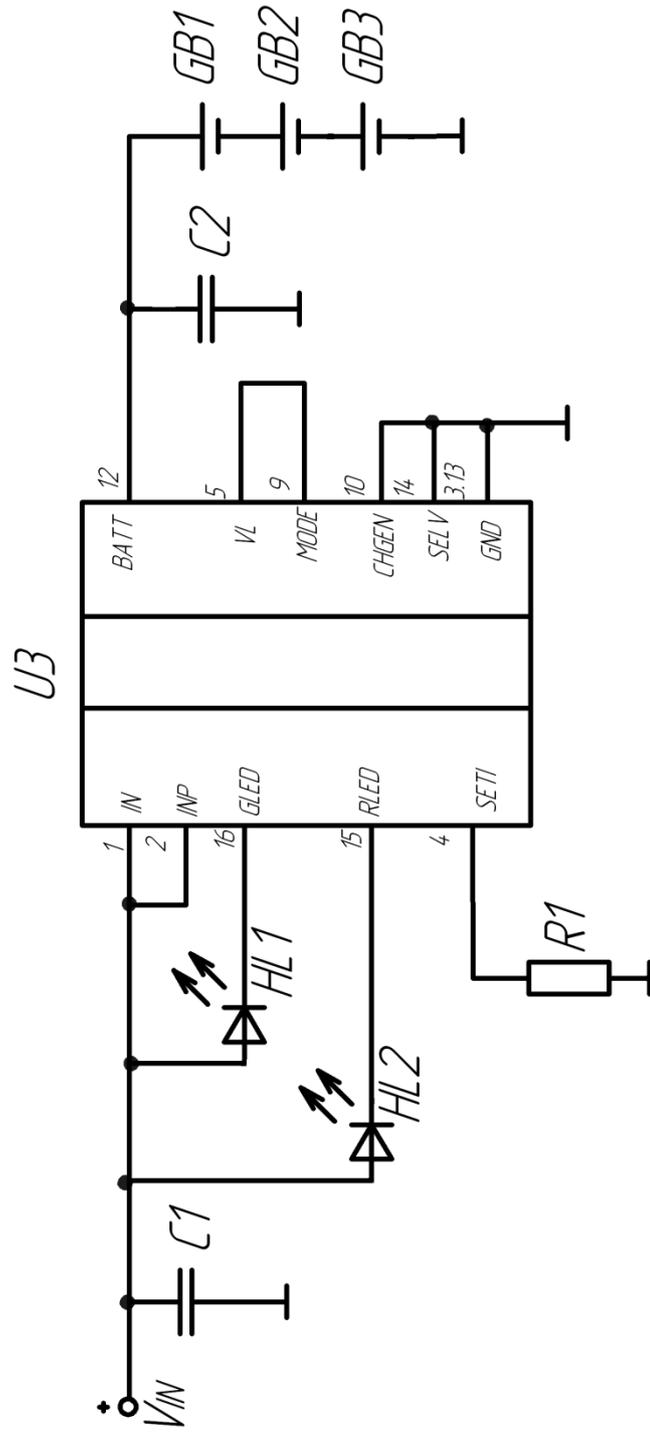


Рисунок 2.12 – Принципиальная схема подключения MAX1501

Расчет токозадающего резистора

$$R1 = 1000 \cdot \frac{1.4}{I_{batt}} = 1000 \cdot \frac{1.4}{0.5} = 2800 = 2.8 \text{ кОм}, \quad (2.27)$$

где I_{batt} – ток заряда аккумулятора 500 мА.

Выбрали[17] резистор CRCW040228K0FKED

Выбор стабилизирующих конденсаторов

Производитель микросхемы MAX1501 рекомендует использовать в качестве стабилизации, керамические конденсаторы с диэлектриком X5R и емкостями для $C1$ – 1мкФ, $C2$ – 10мкФ. Подобрали[17] $C1$ – 1210YD108KAT2A, $C2$ - 1210YD107KAT2A.

Выбор LED индикации

Выбрали[16] красный светодиод ARL-3004URD-150mcd

Выбрали[16] зеленый светодиод ARL-3514PGD-6сd

Таблица 2.14 .- Основные параметры светодиодов ARL-3004URD-150mcd и ARL-3514PGD-6сd

Параметр	Значение для HL2	Значение для HL1
Цвет свечения	красный	зеленый
Тип светодиода	одноцветный	
Минимальная сила света I_v мин, Кд	0.1	1.5
Максимальная сила света I_v макс, Кд	0.15	2.5
Длина волны, нм	630	530
Максимальный прямой ток, мА	30	
Материал	AlGaInP	

Параметр	Значение для HL2	Значение для HL1
Тип линзы	диффузная	
Угол обзора, град.	60	
Максимальное прямое напряжение, В	2.3	
Максимальное обратное напряжение, В	5	
Максимальная рассеиваемая мощность, мВт	140	
Максимальный импульсный прямой ток, мА	100	
Рабочая температура, С°	от-40 до +80	

2.3 Разработка и расчет входного понижающе-повышающего преобразователя

2.3.1 Расчет схемы

Расчет схемы, аналогичен расчету выходного понижающе-повышающего преобразователя, представленному в главе 2.1.

По исходным данным, сформулированным в первой главе, составим исходные данные для входного понижающе-повышающего преобразователя.

Исходные данные:

- Входное напряжение (V_{in}): 3.0-14.0 В;
- Выходное напряжение (V_{out}): 5 В;
- Выходной ток (I_{out}): 1.1 А;
- Частота переключений (f_{SW}): 330 кГц;

Принципиальную схему оставим согласно datasheet на микросхему LM3478. Схема электрическая принципиальная представлена на рисунке 2.13.

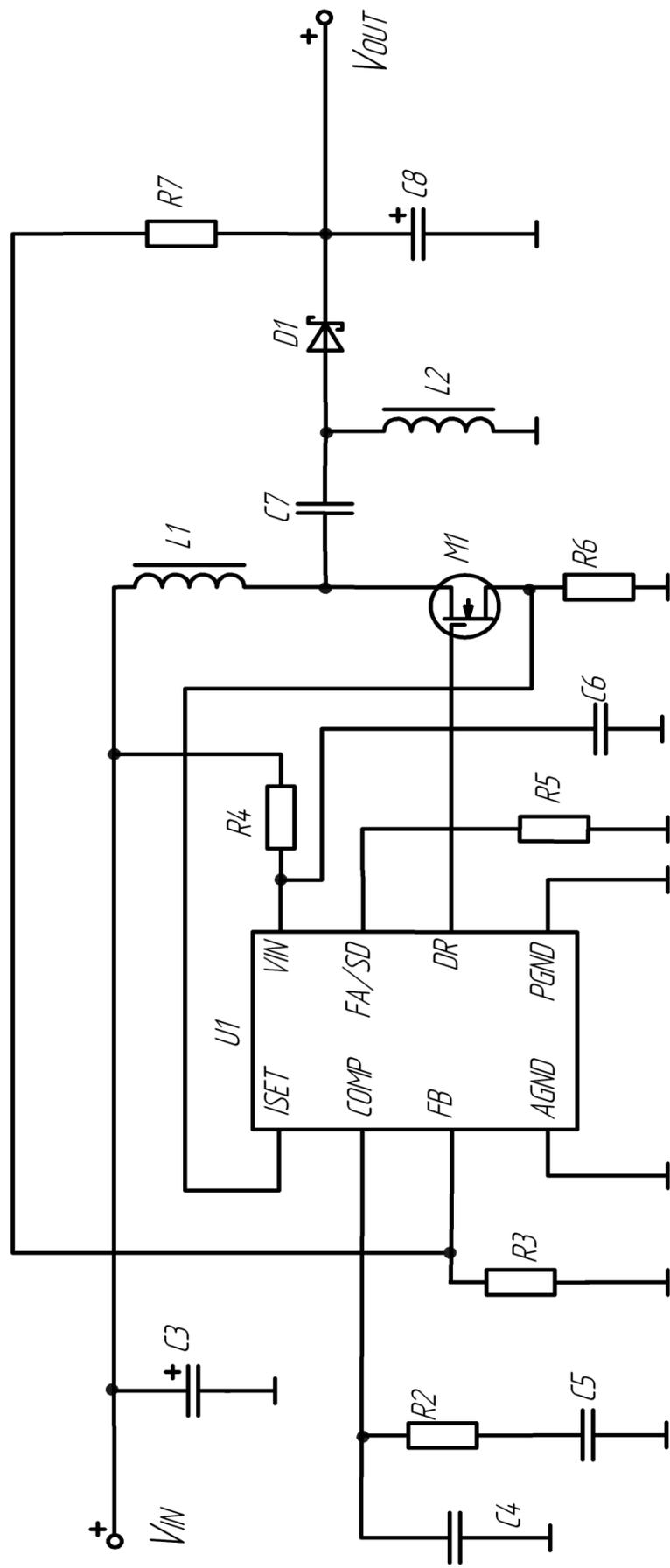


Рисунок 2.13 – Входной понижающее-повышающий преобразователь.

Схема электрическая принципиальная

Расчет относительной длительности импульсов

Для преобразователя SEPIC, работающего в режиме непрерывных токов (continuous conduction mode, CCM), коэффициент заполнения (duty cycle) можно рассчитать по формуле:

$$D_{\min} = \frac{V_{\text{out}} + V_D}{V_{\text{in}} + V_{\text{out}} + V_D} = \frac{5 + 0.5}{14 + 5 + 0.5} = 0.282 \quad (2.28)$$

$$D_{\max} = \frac{V_{\text{out}} + V_D}{V_{\text{in min}} + V_{\text{out}} + V_D} = \frac{5 + 0.5}{3 + 5 + 0.5} = 0.647 \quad (2.29)$$

где V_{out} – выходное напряжение, V_{in} – Входное напряжение, $V_{\text{in min}}$ – минимальное входное напряжение, V_D – падение напряжения на диоде D1 (см в даташите “Forward Voltage”, по умолчанию принимается 0.5 В)

Расчет индуктивности

$$\Delta I_{L1} = \Delta I_{L2} = I_{\text{out}} \cdot \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in min}}} = 1.1 \cdot \frac{5}{3} = 0.73 \text{ A}; \quad (2.30)$$

$$L1 = L2 = \frac{V_{\text{in min}}}{\Delta I_{L1} \cdot f_{\text{SW}}} \cdot D_{\max} = \frac{3}{0.73 \cdot 330000} = 8.021 \cdot 10^{-5} = 8 \text{ мкГ}; \quad (2.31)$$

Пиковый ток в индуктивности:

$$I_{L1\text{peak}} = I_{\text{out}} \cdot \frac{V_{\text{out}} + V_D}{V_{\text{in min}}} \cdot \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 1.1 \cdot \frac{5 + 0.5}{3} \cdot \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 2.42 \text{ A}; \quad (2.32)$$

$$I_{L2\text{peak}} = I_{\text{out}} + \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \cdot I_{\text{out}} = 1.1 + \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \cdot 1.1 = 1.32 \text{ A}; \quad (2.33)$$

Значения токов $I_{L\text{peak}}$ и ΔI_L изображены на рисунке 2.14.

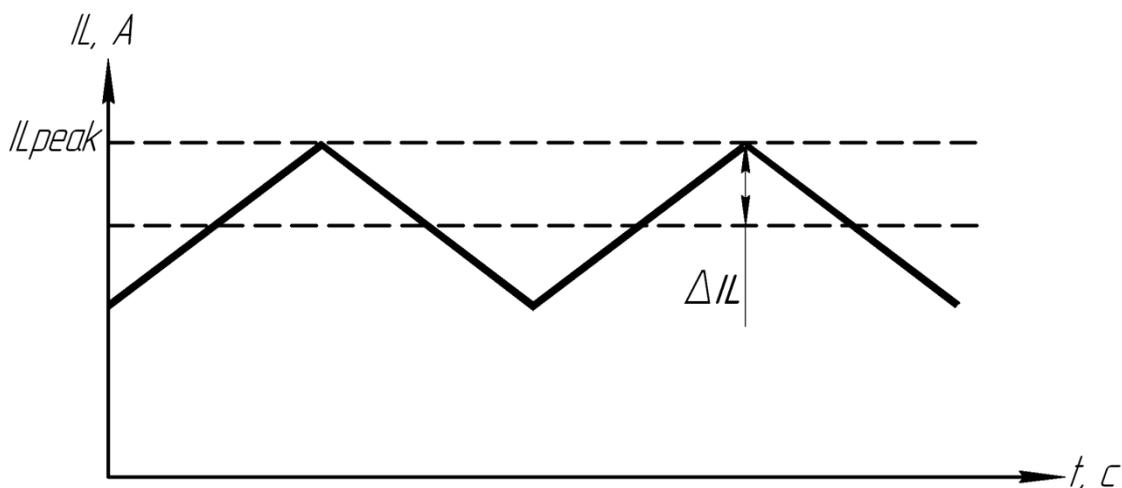


Рисунок 2.14 – Временная диаграмма тока через индуктор.

Исходя из этих параметров, выбрали[17] индуктивности L1 и L2 модели SDR1005-150ML.

Таблица 2.15. Основные параметры индуктора MSS1038-183ML.

Параметр	Значение
Емкость, мкГ	10
I _{rms max} , А	2.5
Рабочая температура, С°	от-40 до +125
Сопротивление на постоянном токе RDC max, Ом	0.12
Материал сердечника	Феррит
Материал провода обмотки	Эмалированная медь

Расчет силового полевого транзистора

Пиковое напряжение на ключе равно:

$$V_{Q1(\text{peak})} = V_{\text{in max}} + V_{\text{out}} = 14 + 5 = 19 \text{ В.} \quad (2.34)$$

Пиковый ток через полевой транзистор:

$$I_{Q1(\text{peak})} = I_{L1\text{peak}} + I_{L2\text{peak}} = 2.42 + 1.32 = 3.74 \text{ А.} \quad (2.35)$$

Среднеквадратичный ток:

$$I_{Q1}(\text{rms}) = I_{\text{out}} \cdot \sqrt{\frac{(V_{\text{out}} + V_{\text{in min}}) \cdot V_{\text{out}}}{V_{\text{in min}}^2}} = 1.1 \cdot \sqrt{\frac{(5+3) \cdot 5}{3^2}} = 2.319 \text{ A.} \quad (2.36)$$

Расчетное напряжение на стоке полевого транзистора должно быть выше, чем значение V_{Q1} .

Временные диаграммы тока и напряжения через полевой транзистор изображено на рисунке 2.15.

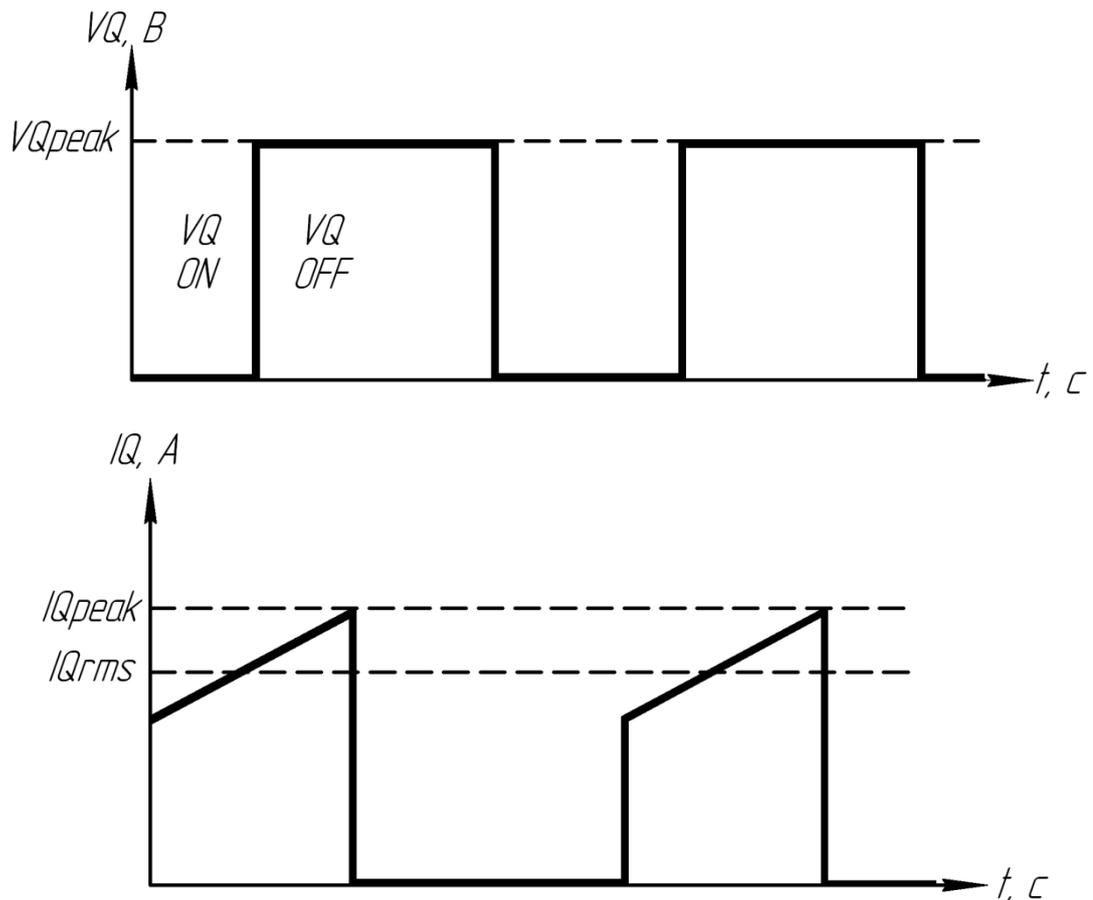


Рисунок 2.15 – Временные диаграммы тока и напряжения через транзистор.

Выберем[17] полевой транзистор типа SI2366DS-T1-EG3 от фирмы Vishay-Siliconix.

Ожидаемые потери мощности составят:

$$P_{Q1} = I_{Q1}(\text{rms})^2 \cdot R_{\text{DS(on)}} \cdot D_{\text{max}} + (V_{\text{in min}} + V_{\text{out}}) \cdot I_{Q1}(\text{peak}) \cdot$$

$$\frac{Q_{\text{GD}} \cdot f_{\text{sw}}}{I_{\text{G}}} = 2.319^2 \cdot 0.05 \cdot 0.647 + (3 + 5) \cdot 2.319 \cdot \frac{1.1 \cdot 10^{-9} \cdot 330000}{0.3} = 0.072 \text{ Вт.} \quad (2.37)$$

где $R_{DS(on)} = 0.05 \text{ Ом}$, $Q_{GD} = 1.3 \text{ нКл}$, ток управления затвором I_G для LM3478 равен 0.3 А .

Таблица 2.16. Основные параметры транзистора SI2316BDS-T1-E3.

Параметр	Значение
Напряжение сток-исток, В	30
Максимальное напряжение затвор-исток, В	± 20
Пиковый переключаемый ток транзистора, А	4.5
Сопrotивление канала в открытом состоянии, Ом	0.05
Максимальный заряд затвор-сток, нКл	1.1
Максимальная рассеиваемая мощность, Вт	1,66
Рабочая температура, $^{\circ}\text{C}$	от -55 до +150
Корпус	ТО-236 (SOT-23)

Расчет выходного диода

В преобразователе с топологией SEPIC пиковый ток диода равен пиковому току ключа $I_{Q1(\text{peak})} = 3.74 \text{ А}$.

Минимум для пикового обратного напряжения диода составляет:

$$V_{D1} = V_{in \text{ max}} + V_{out \text{ max}} = 14 + 5 = 19 \text{ В.} \quad (2.38)$$

Средний ток диода равен выходному току при полной нагрузке. Для минимизации потерь выбрали диод Шоттки модели B530A фирмы Diodes Inc.

Таблица 2.17. Основные параметры диода B530A.

Параметр	Значение
Максимальное постоянное обратное напряжение, В	30
Средний выпрямленный ток, А	5
Максимально допустимый прямой импульсный ток, А	100
Рабочая температура, $^{\circ}\text{C}$	от -55 до +125
Корпус	SMC

Расчет разделительного конденсатора

Среднеквадратичный ток через C7:

$$I_{C7(rms)} = I_{out} \cdot \sqrt{\frac{V_{out+VD}}{V_{in\ min}}} = 1.1 \cdot \sqrt{\frac{5+0.5}{3}} = 1.489 \text{ A.} \quad (2.39)$$

Емкость:

$$C7 > L1 \cdot \frac{I_{out}^2}{V_{in}^2} > 4.952 \cdot 10^{-8} \text{ Ф.} \quad (2.40)$$

Пульсация напряжения:

$$\Delta V_{C7} = \frac{I_{out} \cdot D_{max}}{C7 \cdot f_{SW}} = \frac{1.1 \cdot 0.647}{8.54 \cdot 10^{-8} \cdot 330000} = 0.216 \text{ В.} \quad (2.41)$$

Разделительный конденсатор должен быть рассчитан на больший среднеквадратический ток, чем требуется для получения заданной выходной мощности. Расчетное напряжение для конденсатора выбирается больше, чем максимальное входное напряжение.

По параметрам выбрали[17], из рекомендованных производителем, керамический конденсатор C3225X7R1E106M емкостью 10мкФ фирмы TDK.

Расчет выходного конденсатора

Среднеквадратичный ток через выходной конденсатор:

$$I_{C8(rms)} = I_{C7(rms)} = 1.489 \text{ A.} \quad (2.42)$$

Пусть размах пульсаций от пика до пика составляет 2% от выходного напряжения 5В, тогда ESR (эквивалентное последовательное сопротивление, ЭПС) выходного конденсатора:

$$ESR \leq \frac{V_{ripple} \cdot 0.5}{I_{L1peak} + I_{L2peak}} = \frac{5 \cdot 0.02 \cdot 0.5}{2.42 + 1.32} = 0.01 \text{ Ом.} \quad (2.43)$$

$$V_{ripple} = V_{out} \cdot 2\% = 5 \cdot 0.02$$

где

Пульсация выходного напряжения представлена на рисунке 2.7.

Емкость выходного конденсатора:

$$C8 > \frac{I_{out} \cdot D_{max}}{V_{ripple} \cdot 0.5 \cdot f_{sw}} = \frac{1.1 \cdot 0.647}{5 \cdot 0.02 \cdot 330000} = 4.314 \cdot 10^{-5} = 43 \text{ мкФ} \quad (2.44)$$

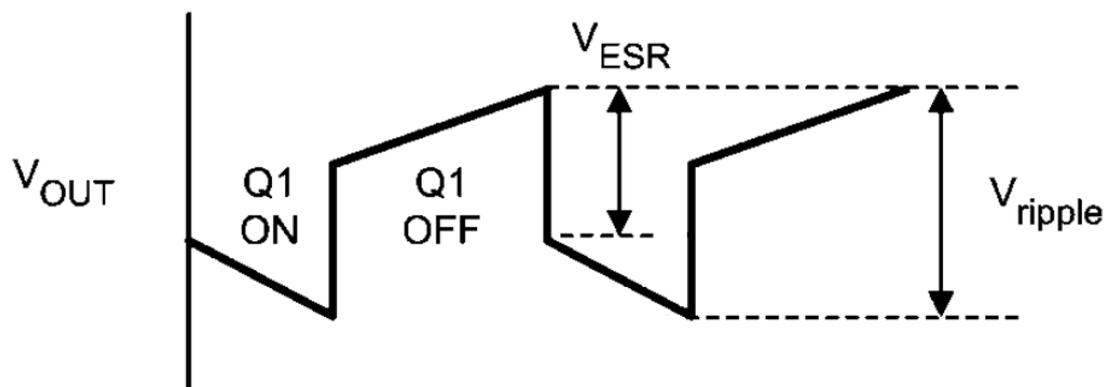


Рисунок 2.16 - Пульсация выходного напряжения.

Для поверхностного монтажа рекомендуется использовать конденсаторы следующих типов: танталовые, с полимерным электролитом, полимерные танталовые или многослойные керамические. Исходя из этих параметров, выбрали[17] электролитический конденсатор APXE100ARA121MF61G фирмы Nippon Chemi-Con.

Таблица 2.18 .- Основные параметры конденсатора APXE100ARA121MF61G.

Параметр	Значение
Емкость, мкФ	120
Среднеквадратичный ток Irms, мА	2530
Эквивалентное последовательное сопротивление ESR, мОм	25
Рабочая температура, С°	от-55 до +105

Расчет входного конденсатора

Среднеквадратичные значения тока во входном конденсаторе

$$I_{C3(rms)} = \frac{\Delta I_{L1}}{\sqrt{12}} = \frac{2.42}{\sqrt{12}} = 212 \text{ мА.} \quad (2.45)$$

Исходя из этих параметров, выбрали[17] UUD1E151MCL1GS фирмы Nichicon.

Таблица 2.19 .- Основные параметры конденсатора UUD1E151MCL1GS.

Параметр	Значение
Емкость, мкФ	150
Среднеквадратичный ток Irms, мА	450
Эквивалентное последовательное сопротивление ESR, мОм	170
Рабочая температура, С°	от-55 до +105

Для повышения производительности при входном напряжении ниже $V_{in} < 8 \text{ В}$, рекомендуется использовать RC цепочку из резистора R4 емкостью 20 Ом и керамического конденсатора C6 емкостью 1 мкФ подключенный как изображено на рисунке 2.17. Подобрали резистор CRCW040220R0FKED фирмы Vishay-Dale. Подобрали конденсатор CC1206KRX7R9BB104 фирмы Yageo America.

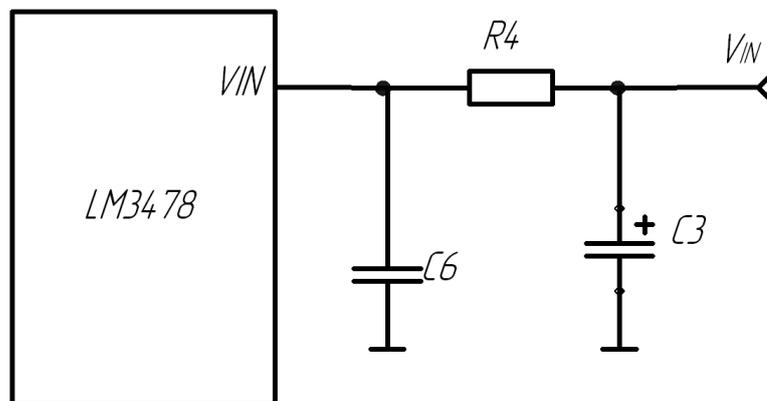


Рисунок 2.17 - Схема уменьшения входного шума.

Расчет резисторов обратной связи

R3 – резистор верхний, R7 – резистор нижний для делителя напряжения. опорное напряжение для обратной связи Vref равно 1.26 В. Выберем R7 = 30кОм, отсюда:

$$R3 = \frac{V_{ref}}{V_{out} - V_{ref}} \cdot R7 = \frac{1.26}{5 - 1.26} \cdot 30000 = 10.106 \cdot 10^3 \text{ Ом.} \quad (2.46)$$

Исходя из этих параметров, выбрали[17] резисторы R3- CRCW040210K0FKED и R7- CRCW040230K0FKED фирмы Vishay-Dale.

Таблица 2.20 .- Основные параметры резисторов R3- CRCW040210K0FKED и R7- CRCW040230K0FKED

Параметр	Значение R3	Значение R7
Сопротивление, кОм	10	30
Максимальное Vmax, В	50	50
Рассеиваемая мощность, мВт	63	63
Рабочая температура, С°	от-55 до +155	от-55 до +155

Расчет резистора задающего частоту

Сопротивление R5 выбирается по графику (рис 2.18) и приблизительно равно 55кОм.

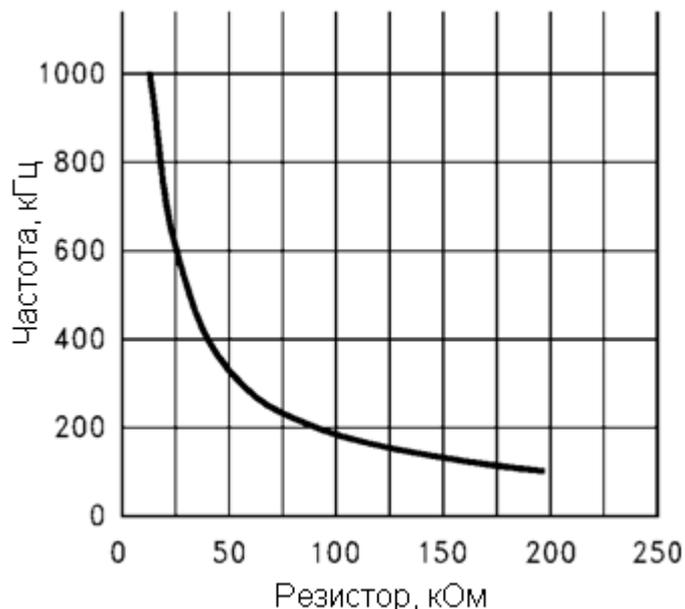


Рисунок 2.18 - График зависимости частоты от резистора R5.

Исходя из этих параметров, выбрали[17] резистор CRCW040255K0FKED фирмы Vishay-Dale.

Таблица 2.21 .- Основные параметры резистора CRCW040255K0FKED

Параметр	Значение
Сопротивление, кОм	55
Максимальное V_{max} , В	50
Рассеиваемая мощность, мВт	63
Рабочая температура, С°	от-55 до +155

Расчет токозадающего резистора

Напряжение срабатывания схемы защиты по току для LM3478 равно 120 мВ. За вычетом напряжение компенсирующего пилообразного напряжения, остается приблизительно 75 мВ. Откуда, сопротивление шунтового резистора::

$$R_6 = \frac{75}{I_{Q2(\text{peak})}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{3.74} = 0.02 \text{ Ом} \quad (2.47)$$

Исходя из этих параметров, выбрали[17] резистор CSR0402FT20L0 фирмы Stackpole Electronics Inc.

Таблица 2.22 .- Основные параметры резистора CSR0402FT20L0

Параметр	Значение
Сопротивление, Ом	0.02
Максимальное Vmax, В	50
Рассеиваемая мощность, Вт	0.125
Рабочая температура, С°	от-55 до +155

Подобрали[17] резистор CRCW040195R0FKED фирмы Vishay-Dale.

Таблица 2.23 .- Основные параметры резистора CRCW040340R0FKED

Параметр	Значение
Сопротивление, Ом	340
Максимальное Vmax, В	50
Рассеиваемая мощность, мВт	63
Рабочая температура, С°	от-55 до +155

C5 выбираем для обеспечения 1/4 от частоты среза:

$$C5 = \frac{4}{2\pi \cdot f_c \cdot R2} = \frac{4}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.963 \cdot 10^8 \cdot 338} = 6.345 \cdot 10^{-7} = 63 \text{ мкФ} \quad (2.52)$$

По параметрам выбрали[17] керамический конденсатор C5750JF1C107Z емкостью 100 мкФ фирмы TDK.

Полос на частоте $1/(2\pi \cdot R2 \cdot C4)$ компенсирует ноль от ESR, равный $1/(2\pi \cdot \text{ESR} \cdot C8)$:

$$C4 = \frac{C8 \cdot \text{ESR}}{R2} = \frac{4.314 \cdot 10^{-5} \cdot 0.01}{338} = 1.315 \cdot 10^{-9} = 1,3 \text{ нФ} \quad (2.53)$$

По параметрам выбрали[17] керамический конденсатор C1005JB1H332K емкостью 3,3 нФ фирмы TDK.

2.4 Разработка и расчет остальных компонентов схемы

2.4.1 Выбор переключателя

В качестве переключателя SW1 выбрали[17] KN3(B)-403(0)HD3.

Таблица 2.24 .- Основные параметры предохранителя KN3(B)-403(0)HD3

Параметр	Значение
Номинальные значения при переменном токе	10А 125В ; 6А 250В.
Контактное сопротивление, МОм	20
Сопротивление изоляции при 500В пост. тока, МОм	100
Диэлектрическая прочность пер. ток за 1 мин, В	1500
Механический ресурс, циклов	20000
Рабочая температура, С	-55...85

2.4.2 Выбор выходного разъема

В качестве выходного разъема выбрали[16] розетка на плату USB тип А, модель DS1095-04 фирмы Connfly Electronic

2.4.3 Выбор входных разъемов

В качестве входных разъемов выбрали[16]:

1.Розетка SMD на плату MiniUSB-A, модели DS1104 фирмы Connfly Electronic.

2. Розетка на плату USB тип В, модели DS1099 фирмы Connfly Electronic.

2. Клеммник нажимной на панель РТ-213-03.

3. Гнездо питания на панель DS-225.

4. Батарейный отсек ВН331А на 3 батареи типа АА.

2.4.4 Выбор предохранителей

Самовосстанавливающийся предохранитель[18] FU1 марки MF-MSMF110

Таблица 2.25 .- Основные параметры предохранителя MF-MSMF110

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	6
Номинальный ток, А	100
Максимальная мощность, Вт	0.8
Ток, не приводящий к срабатыванию, I hold, А	1,1
Ток, приводящий к срабатыванию I trip, А	2,2
Способ монтажа на печатную плату	SMD1812
Допустимый диапазон температур, С	-40...85

Самовосстанавливающийся предохранитель[18] FU2 марки MF-MSMF250/16

Таблица 2.26 .- Основные параметры предохранителя MF-MSMF250/16

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	16
Номинальный ток, А	100
Максимальная мощность, Вт	0.8
Ток, не приводящий к срабатыванию, I hold, А	2.5
Ток, приводящий к срабатыванию I trip, А	5
Способ монтажа на печатную плату	SMD1812
Рабочая температура, С	-40...85

2.4.5 Выбор диодов Шоттки

Выбрали[17] диоды D3-D6 марки SBR3U30P1.

Таблица 2.27. Основные параметры диода SBR3U30P1.

Параметр	Значение
Максимальное постоянное обратное напряжение, В	30
Средний выпрямленный ток, А	3
Максимально допустимый прямой импульсный ток, А	75
Рабочая температура, С°	от-65 до +155
Корпус	SMC

2.5 Расчет коэффициента полезного действия

Для проверки коэффициента полезного действия (КПД), в понижающе-повышающих преобразователях, воспользуемся программным комплексом WEBENCH Power Designer[13], представленном на сайте производителя микросхемы LM3478.

2.5.1 Расчет КПД выходного понижающе-повышающего преобразователя

Таблица 2.28.- Зависимость КПД от входного напряжения и выходного тока.

Входное напряжение, В	КПД, %; при выходном токе					
	0.1А	0.2А	0.3А	0.4А	0.5А	0.6А
3	83.5	82.7	81.0	78.7	76.4	74.2
3.6	83.6	83.5	82.3	80.8	78.8	77.1
4	83.6	83.7	82.8	81.5	80.0	78.5
4.6	83.2	83.9	83.3	82.2	81.1	79.8
5	82.8	83.9	83.5	82.6	81.6	80.5
6	82.3	83.8	83.7	83.1	82.4	81.6
7	81.7	83.8	83.8	83.4	82.8	82.1
8	81.1	83.7	83.7	83.5	83.0	82.5
9	80.4	83.4	83.6	83.5	83.1	82.7
10	79.7	82.8	83.4	83.4	83.1	82.7
11	79.0	82.3	83.2	83.3	83.1	82.7
12	78.3	82.0	83.0	83.1	82.9	82.6
13	77.6	81.5	82.7	82.7	82.8	82.5
14	76.9	81.1	82.5	82.6	82.7	82.4

Средне значение КПД 82%.

По данным таблицы 2.28 составим графики КПД для входных напряжений 3, 3.6, 4.5 В.

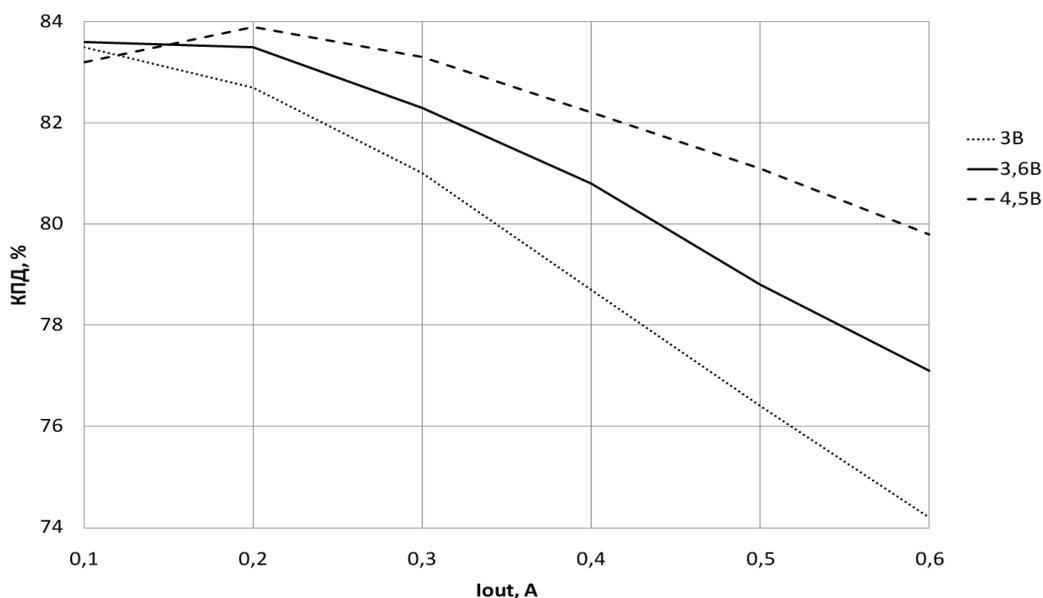


Рисунок 2.19 – Графики КПД выходного понижающе-повышающего преобразователя.

2.5.2 Расчет КПД входного понижающе–повышающего преобразователя

Таблица 2.29.- Зависимость КПД от входного напряжения и выходного тока.

Входное напряжение, В	КПД, %; при выходном токе					
	0.1А	0.3А	0.5А	0.6А	0.8А	1А
3	83.1	84.1	82.7	81.7	79.9	78
4	82.2	84.5	83.8	83.3	82.1	80.8
5	81.5	84.5	84.3	83.9	83.0	82.0
6	80.6	84.4	84.5	84.2	83.4	82.6
7	79.8	84.2	84.4	84.1	83.7	82.9
8	78.9	84.1	84.1	83.9	83.6	83.0
9	78.0	83.6	84.1	84.0	83.6	83.1
10	77.1	83.1	83.9	83.8	83.5	83.2
11	76.2	82.6	83.5	83.5	83.5	83.1
12	75.2	82.2	83.3	83.6	83.4	83.0
13	74.3	81.8	83.1	83.2	83.3	82.9
14	73.4	81.4	82.9	82.9	82.9	82.8

Средне значение КПД 82%.

По данным таблицы 2.29 составим графики КПД для входных напряжений 3, 5, 9, 14 В.

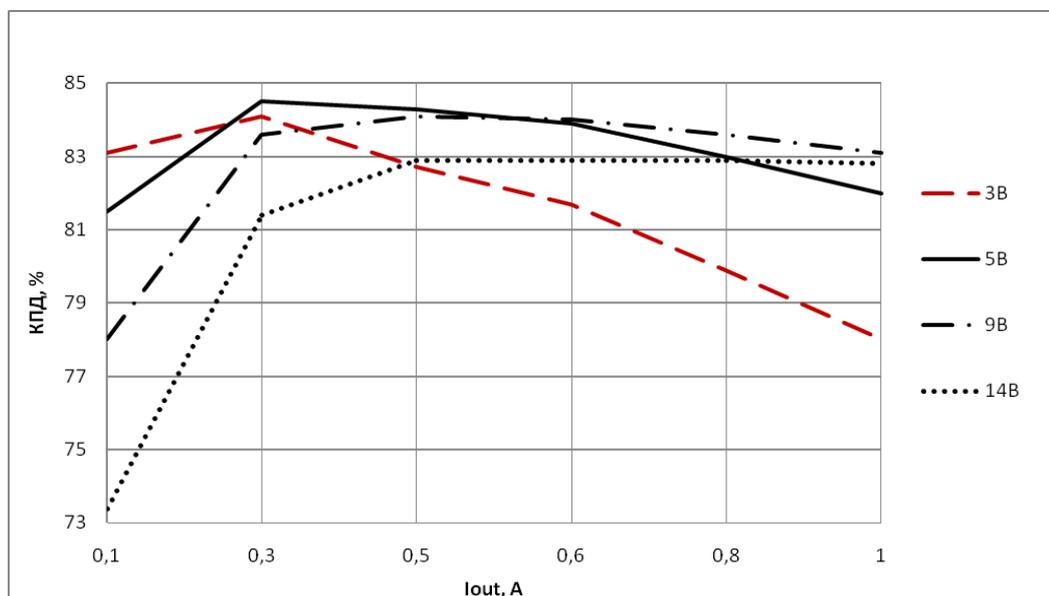


Рисунок 2.20 – Графики КПД входного понижающе-повышающего преобразователя.

3. Разработка печатного узла

Согласно принципиальной схеме разработали печатную плату для системы управления зарядным устройством и составили сборочный чертеж.

Для разводки платы использовали программу DipTrace, а для оформления чертежей программу Компас.

Заключение

В данной работе разработали устройства подзарядки/заряда мобильных устройств с заданными характеристиками.

В ходе разработки был проведен обзор и структурирование материала по преобразователям постоянного тока, разработана принципиальная схема системы и выбор ее элементов, конструкторский расчет, технико-экономическое обоснование разработки, проверка безопасности при изготовлении.

Разработанное устройство обладает следующими характеристиками:

Входное напряжение: 3-14В;

Выходное напряжение: 5В;

Выходной ток: 0,6А;

Тип используемых аккумуляторов: 3 съемных Ni-MH типа AA;

Индикация процесса и окончания заряда: красный и зеленый светодиоды;

Выходной разъем: USB A;

Входные разъемы: MiniUSB A,

USB B,

Клеммник нажимной,

Гнездо питания.

Список используемой литературы

1. Imax B6 — Универсальный зарядочный комбайн [Электронный ресурс]. URL:<https://habr.com/ru/company/dronk/blog/150213> (дата обращения: 17.02.2019)
2. Походное зарядное устройство для мобильных телефонов [Электронный ресурс]. URL: http://www.compdoc.ru/portable_tech/mobils/field_charger_for_mobile/ (дата обращения: 17.02.2019)
3. Buck converter [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Buck_converter (дата обращения: 07.03.2019)
4. LM2596 SIMPLE SWITCHER ® Power Converter 150-kHz [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf> (дата обращения: 07.03.2019)
5. Buck converter [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Buck_converter (дата обращения: 07.03.2019)
6. DC-DC Converter Technologies for Electric/Hybrid Electric Vehicles [Электронный ресурс]. URL: <http://www.powerguru.org/dc-dc-converter-technologies-for-electrichybrid-electric-vehicles/> (дата обращения: 07.05.2017)
7. Аккумуляторы, батарейки и другие источники питания [Электронный ресурс] URL:<http://www.powerinfo.ru> (дата обращения: 29.04.2019)
8. Хрусталеv Д. Аккумуляторы. – М.: Изумруд, 2003.- 224с.: ил.
9. Таганова А.А., Бубнов Ю.И., Орлов С.Б. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации: Справочник. – СПб.: ХИМИЗДАТ. 2005. – 264с.: ил.

10. Ni-Cd, Ni-MH, Li-Ion batteries. Overview. // Radio force. 2013. [Электронный ресурс] URL: <http://www.radiosila.com/lastnews/363-ni-cd-ni-mh-li-ion-akkumulator.html>. (Дата обращения: 21.05.2018).
11. Заряжаем светлое будущее! [Электронный ресурс] URL: http://www.gpbatteries.ru/faq/user_helper.php (Дата обращения: 21.05.2018).
12. Maxim Integrate [Электронный ресурс] URL: <http://www.maxim-ic.com> (Дата обращения: 21.05.2018).
13. Electronic Components Datasheets [Электронный ресурс] URL: <http://www.datasheets.ru> (дата обращения: 17.02.2019)
14. Интернет магазин электронных компонентов «Импульс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.impulsi.ru> (дата обращения 04.06.2019).
15. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.platan.ru> (дата обращения: 17.05.2019)
16. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.chip-dip.ru> (дата обращения: 17.05.2019)
17. РадиоЛоцман [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rlocman.ru> (дата обращения: 17.05.2019)
18. Электроника и наноэлектроника, управление в технических системах, электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы / сост. Позднов М.В., Прядилов А.В. - Тольятти: ТГУ, 2019. - 41 с.
19. Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.12.2017 решение №94 : [Электронный ресурс]. URL: https://www.tltsu.ru/upravlenie/educational-methodical-management/regulatory-documents-of-educational-process/7_Положение%20о%20ВКР-дек_pdf.pdf (Дата обращения: 08.03.2013).
20. Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tltsu.ru/upravlenie/educational-methodical-management/regulatory->

documents-of-educational-

process/16_Порядок%20обеспечения%20самостоятельности%20выполнения
%20письменных%20работ%20в%20ТГУ.pdf (Дата обращения: 08.03.2019).

21. ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам [Текст]. - Введ. 1996-07-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 1994.- 19с.: ил.

22. ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления [Текст]. - Введ. 2002-07-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 2001.- 23с.

23. ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения схем.- Введ. 2012-01-01. - М.: Стандартиформ: Изд-во стандартов, 2011.- 22с.: ил.