

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(институт)

Кафедра «Промышленная электроника»

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

Промышленная электроника
направленность (профиль)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ МОБИЛЬНОГО
РОБОТА

Студент(ка)	<u>Х.С. Хамроев</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	<u>Е.С. Глибин</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультант	<u>М.В. Емелина</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 2018

Аннотация

Объем 44 с., 42 рис., 2 табл., 35 источников

ПОНИЖАЮЩИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, СИСТЕМА ПИТАНИЯ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Объектом исследования является преобразователь питания для автономного робота

Цель работы: разработка системы питания для мобильного робота

Задачи работы:

1. Обзор мобильных роботов и их систем питания
2. Обзор возможных схемотехнических решений
3. Разработка электрической принципиальной схемы
4. Расчет электрической схемы и выбор компонентов

Работа состоит из 2 глав, в которых решены упомянутые задачи.

Математические расчеты проводились с использованием пакета MathCad.

Степень внедрения: произведены теоретические разработка и расчеты.

Областью применения данной работы являются системы автономных роботов.

В данной работе был произведен обзор ситуации, проанализированы энергопотребление систем управления и возможные типы аккумуляторов. Далее разработана и рассчитана электрическая принципиальная схема.

Таким образом, в данной работе разработан понижающий преобразователь со стабильным выходным напряжением +5В при токе не более 2А, и система индикации степени заряда аккумуляторной батареи. Разработанная схема простая, имеет минимум элементов. Особенностью схемы является возможность регулировки выходного напряжения. Например, при уменьшении напряжения с 5 до 4.5В будет сохранена работоспособность системы управления на Arduino, а энергопотребление уменьшится примерно на 20%. Степень заряда аккумулятора может быть определена при помощи светодиодной системы индикации.

Источником энергии для системы питания является Ni-MH аккумулятор +12 В. Система питания предназначена для питания микроконтроллерных систем управления, построенных на основе Arduino и Raspberry Pi.

Abstract

The given graduation work is devoted to a down-converter, a power supply systems and a direct-voltage transducer.

The object of the research is the power supply converter for an autonomous robot.

The aim of the research is to develop a down-converter of power supply for the autonomous robot.

The objectives of the graduation work are to consider the mobile robots and their power supply systems, to discuss the possible circuit solutions, to develop electrical circuit diagram, to calculate the electrical circuit and to select necessary components.

The work consists of the parts, in which the above mentioned problems are solved.

The mathematical calculations are carried out using the MathCad package.

What concerns the implementation, the theoretical development and the calculations are presented in the graduation work as well.

The results of this work can be used for manufacturing autonomous robots.

In this graduation work, the current situation is explained, as well as the energy consumption of the control systems and the possible types of batteries are analyzed. The graduation work also deals with developing and calculating the electrical circuit diagram.

Thus, in this graduation work, the down-converter with +5V stable output voltage at a current of no more than 3A and the system for indicating the degree of charge of the battery are developed. The developed circuit is simple and has a minimum of elements. The main feature of the circuit is the ability to adjust the output voltage. For example, to reduce the voltage from 5V to 4.5 V, the Arduino control system will keep operating, and the power consumption will be reduced by about 20%. The battery charge level can be identified with the help of the light emitting diode display system.

The power source for the power supply system is Ni-MH battery +12 V. The power system is designed to supply power to the microcontroller control systems built on the basis of Arduino and Raspberry Pi.

Содержание

Введение.....	5
1. Состояние вопроса.....	6
1.1. Формулирование актуальности, цели и задач проекта	6
1.2. Обзор мобильных роботов и их источников питания.....	6
1.3. Анализ энергопотребления роботов на основе Arduino или Raspberry Pi	6
1.3.1. Энергопотребление Arduino	6
1.3.2. Энергопотребление Raspberry Pi	8
1.4. Обзор аккумуляторов для питания мобильных роботов	10
1.4.1. Типы аккумуляторов	10
1.5. Формулирование требований выходным параметрам системы..	18
2. Разработка и расчет системы питания	19
2.1. Составление структурной схемы преобразователя	19
2.2. Обзор схем понижающих DC-DC преобразователей.....	21
2.3. Разработка и расчет схемы понижающего DC-DC преобразователя.....	27
2.4. Обзор систем индикации заряда аккумуляторов.....	33
2.5. Разработка и расчет системы индикации заряда	35
Заключение	39
Список используемой литературы	40

Введение

Задача разработки мобильных роботов получает все большую актуальность. Одной из составляющих мобильных роботов является их система питания. Часто в работе различается напряжение питания силовой части (приводов) от напряжения питания системы управления (микроконтроллера). В данной работе предполагается силовое питание 12 В, получаемое от аккумуляторов и необходимое для питания двигателей. Это напряжение может немного изменяться из-за разной степени заряда аккумулятора и величины потребляемого тока. Однако напряжение питания системы управления составляет 5В. В связи с этим необходима разработки системы питания (понижающего преобразователя), обеспечивающей стабильное напряжение +5 В. Другой задачей, рассматриваемой в данной работе является разработка системы индикация степени заряда аккумулятора.

Таким образом, в данной работе разрабатывается понижающий преобразователь со стабильным выходным напряжением +5В, и система индикации степени заряда аккумуляторной батареи.

1. Состояние вопроса

1.1. Формулирование актуальности, цели и задач проекта

Актуальность работы обусловлена современными тенденциями в развитии мобильных роботов, включающих силовое напряжение питания и пониженное питание (+5В) для микроконтроллерной системы управления.

Цель работы: разработка понижающего преобразователя питания для автономного робота

Задачи работы:

1. Обзор мобильных роботов и их систем питания
2. Обзор возможных схемотехнических решений
3. Разработка электрической принципиальной схемы
4. Расчет электрической схемы и выбор компонентов

1.2. Обзор мобильных роботов и их источников питания

1.3. Анализ энергопотребления роботов на основе Arduino или Raspberry Pi

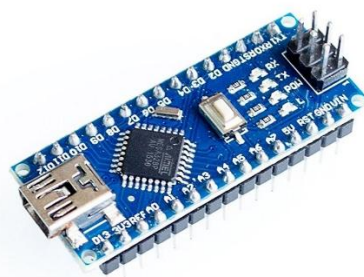
Для формулирования требований к системе питания проанализируем энергопотребление предполагаемой системой управления.

1.3.1. Энергопотребление Arduino

Существует несколько версий платформ Arduino (рис. 1.1)



а) Arduino UNO



б) Arduino nano

Рисунок 1.1 - Примеры платформ Ардуино.

Наибольшее применение находят платы Uno и Nano. Они потребляют примерно одинаково.

Стандартным напряжением питания для них является +5В.

При +5В питания Уно - 21 мА, нано - 20 мА.

Для понижения энергопотребления напряжение питания может быть безопасно снижено до 4.5В. При этом напряжении продолжают работать как сам микроконтроллер, так и вспомогательные элементы (например, жк индикатор).

При 4.5 В питания Уно потребляет: 17 мА

Поскольку энергопотребление системы управления, как правило, значительно меньше энергопотребления двигателей и основных систем, то в снижении напряжения нет особого смысла. Ведь это может негативно сказаться на работе остальных элементов, так же подключенных к +5В.

Еще одним часто применяемым способом снижения энергопотребления является погружение микроконтроллера в режим энергосбережения (сон) на время простоя. Существуют разные режимы сна, энергопотребление микроконтроллера в которых составляет:

```
set_sleep_mode (SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
```

```
SLEEP_MODE_IDLE: 15 mA
```

```
SLEEP_MODE_ADC: 6.5 mA
```

```
SLEEP_MODE_PWR_SAVE: 1.62 mA
```

SLEEP_MODE_EXT_STANDBY: 1.62 mA

SLEEP_MODE_STANDBY : 0.84 mA

SLEEP_MODE_PWR_DOWN : 0.36 mA

Однако на плате Ардуино помимо микроконтроллера существует обвязка, и суммарное энергопотребление всей платой составляет:

SLEEP_MODE_IDLE: 11.5 mA

SLEEP_MODE_ADC: 8.5 mA

SLEEP_MODE_PWR_SAVE: 6.8 mA

SLEEP_MODE_PWR_DOWN: 6 mA

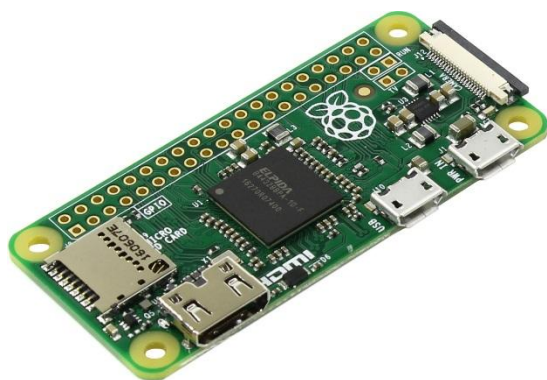
1.3.2. Энергопотребление Raspberry Pi

Raspberry Pi – это инновационный продукт от английских разработчиков. Их главной целью было популяризировать компьютерное образование среди широких слоев населения, сделать программирование более обширной и доступной дисциплиной и побудить больше людей создавать что-то новое при помощи новых технологий. Название продукта Raspberry Pi означает «малиновый пирог», компания-производитель таким образом сделала акцент на том, что этот компьютер предназначен в первую очередь для детей. Энергопотребление различных моделей сведено в таблицу.

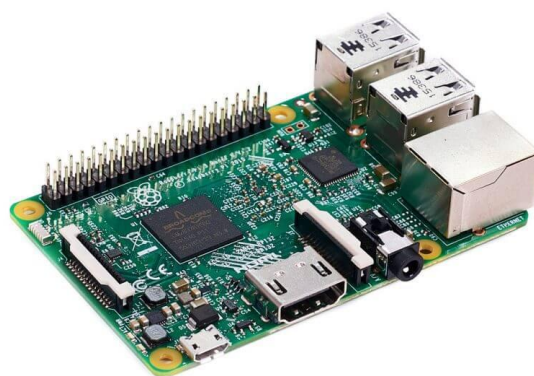
Таблица 1.1 - Энергопотребление различных моделей Raspberry Pi

Модель	Raspberry Pi 3 Model B	Raspberry Pi 2 Model B	Raspberry Pi Model B+
Процессор	Четырехядерный 64-битный ARMv8 Cortex A53 BCM2837	Четырехядерный 32-битный BCM 2836 ARMv7 Cortex A7	Одноядерный 32-битный BCM2835 ARMv11
Тактовая частота	1.2 ГГц / ядро	900 МГц / ядро	700 МГц
Макс. потребление	2.5 А	1.8 А	1.8 А

Питание на Raspberry Pi подается через стандартный microUSB-разъем, как и на большинство современных мобильных гаджетов. Внешний вид Raspberry Pi приведен на рисунке 1.2.



а) Raspberry Pi Zero V1.3



б) Raspberry Pi 3 Model-B

Рисунок 1.2 - Raspberry Pi.

Этот микрокомпьютер весьма требователен к электропитанию — для нормальной работы необходимо использовать источник питания, способный выдавать не менее 2А, а лучше 2,5А тока.

При недостатке питания Raspberry Pi скорее всего запустится, но будет очень сильно тормозить.

Вообще, Raspberry Pi может тормозить по 2 причинам: либо используется медленная microSD-карта (ниже 10 класса скорости), либо не хватает питания. Если не хватает питания, то на подключенном к микрокомпьютеру экране в правом верхнем углу будет отображаться желтый значок молнии.

Питания может не хватать по 2 причинам: слабый источник питания (например, большинство зарядных устройств для смартфоном выдают ток до 1А) или плохой USB-кабель.

1.4. Обзор аккумуляторов для питания мобильных роботов

1.4.1. Типы аккумуляторов

Существуют различные типы аккумуляторов:

- Никель-кадмиевые аккумуляторные батареи;
- Никель-металлгидридные аккумуляторные батареи;
- Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи.
- Литий-полимерные аккумуляторные батареи;
- Литий-ионные аккумуляторные батареи;

Рассмотрим эти типы аккумуляторов.

Никель-кадмиевые аккумуляторные батареи.

На данный момент данный тип является морально устаревшим и не находит широкого применения [2]



Рисунок 1.3 - Внешний вид Ni-Cad аккумуляторов.

Кривые разряда никель-кадмиевых аккумуляторов при разных режимах показаны на рисунке 1.4. [2]

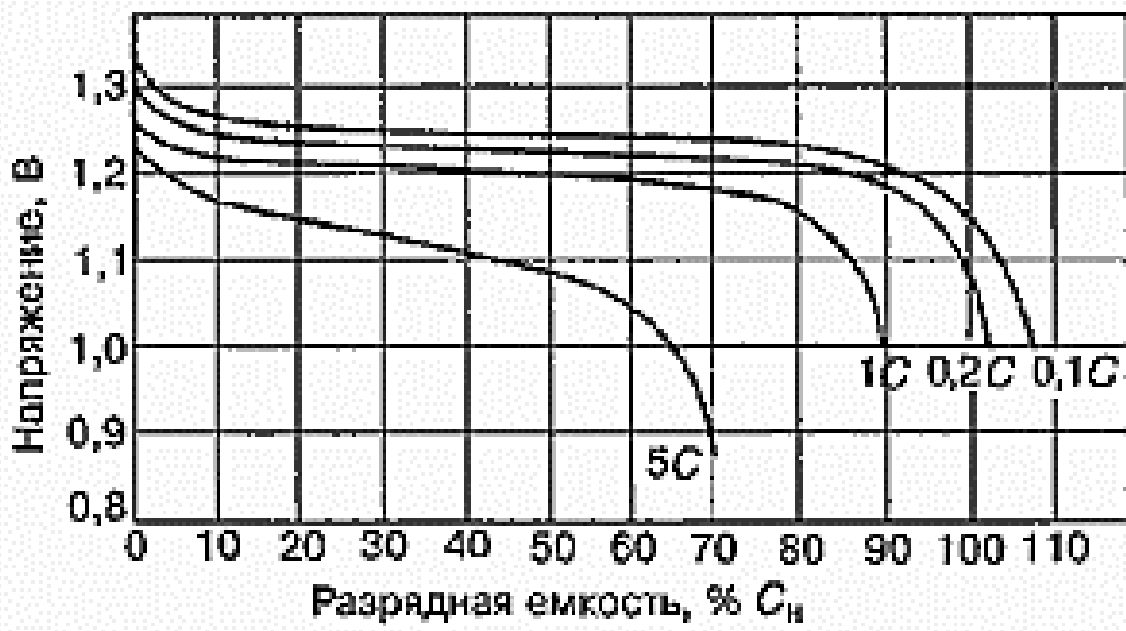


Рисунок 1.4 - Кривые разряда никель-кадмиевых аккумуляторов

Емкость аккумуляторов зависит от температуры и тока разряда (рисунок 1.5 и 1.6).

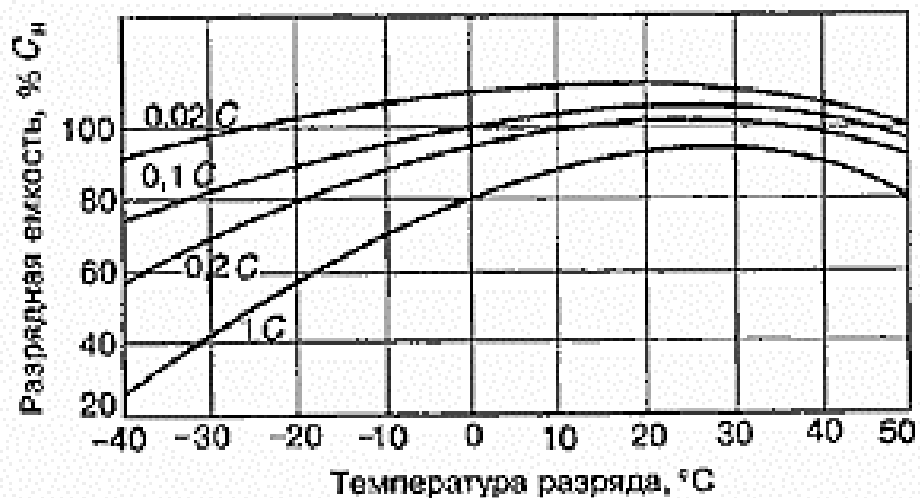


Рисунок 1.5 –Зависимости разрядной емкости от температуры

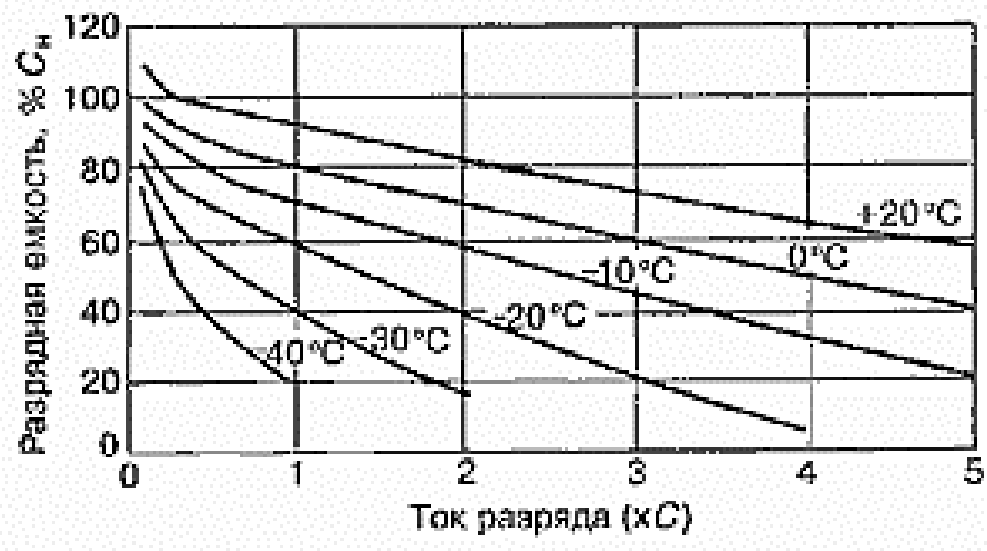


Рисунок 1.6 – Кривые зависимости разрядной емкости от токов нагрузки

Данный вид аккумуляторов склонен к саморазряду, увеличивающемуся при нагреве аккумуляторов (Рис. 1.7).

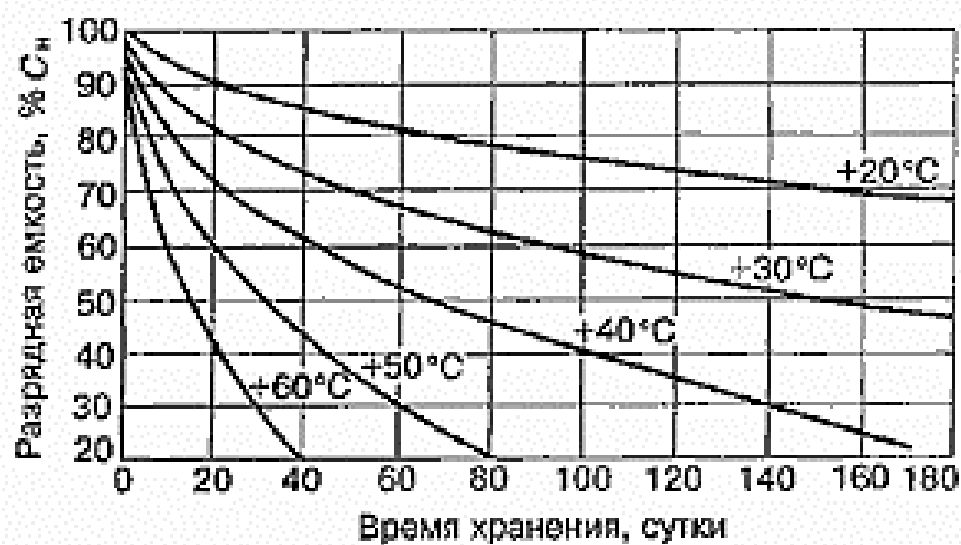


Рисунок 1.7 – Зависимость саморазряда от температуры хранения

Никель-металлгидридные аккумуляторные батареи.

Они часто применяются для питания аппаратуры. Чаще всего выпускаются в форм-факторах AA и AAA.



Рисунок 1.8 - Внешний вид Ni-MH аккумуляторов.

Разряд аккумуляторов проиллюстрирован на рис. 1.9.

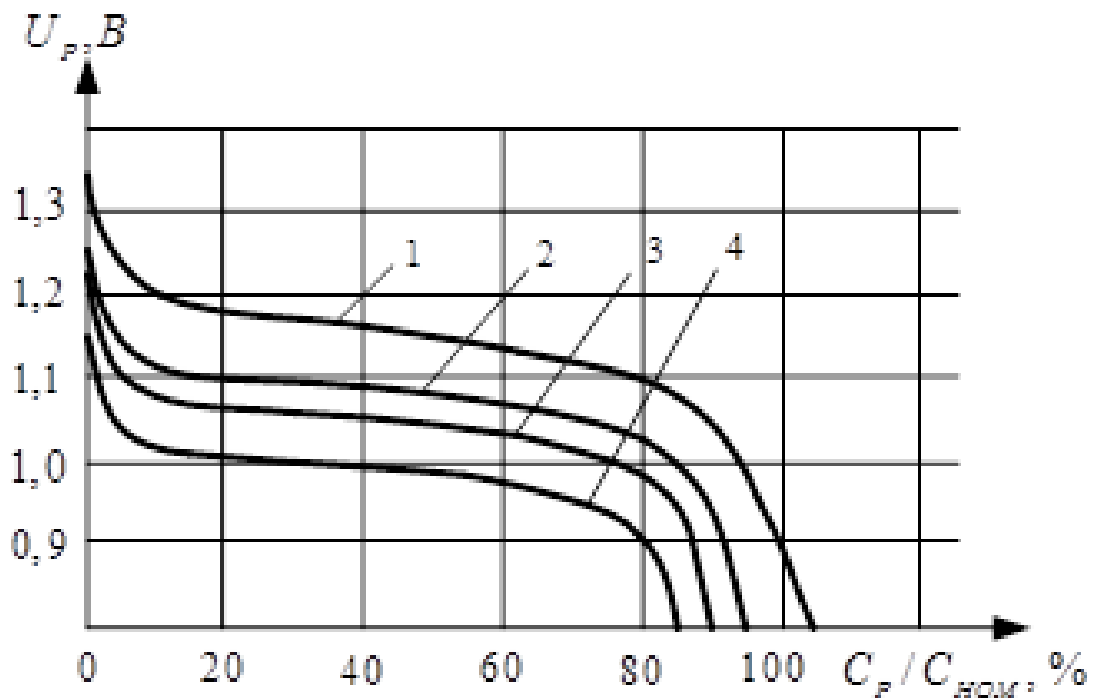


Рисунок 1.9- Разряд Ni-MH аккумуляторов при разных токах нагрузки:
1-0,2C; 2-1C; 3-2C; 4-3C.

Емкость так же зависит и от температуры (см. рисунок 1.10).

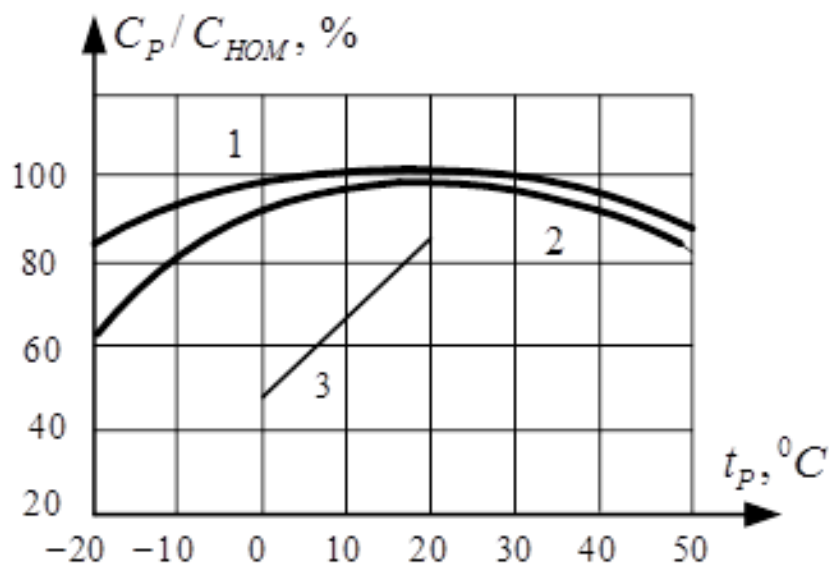


Рисунок 1.10 - Зависимость емкости от температуры при разных токах разряда: 1-0,2С; 2-1С; 3-3С.

Хранение рекомендуется производить при небольших температурах во избежании саморазряда. (см. рисунок 1.11).

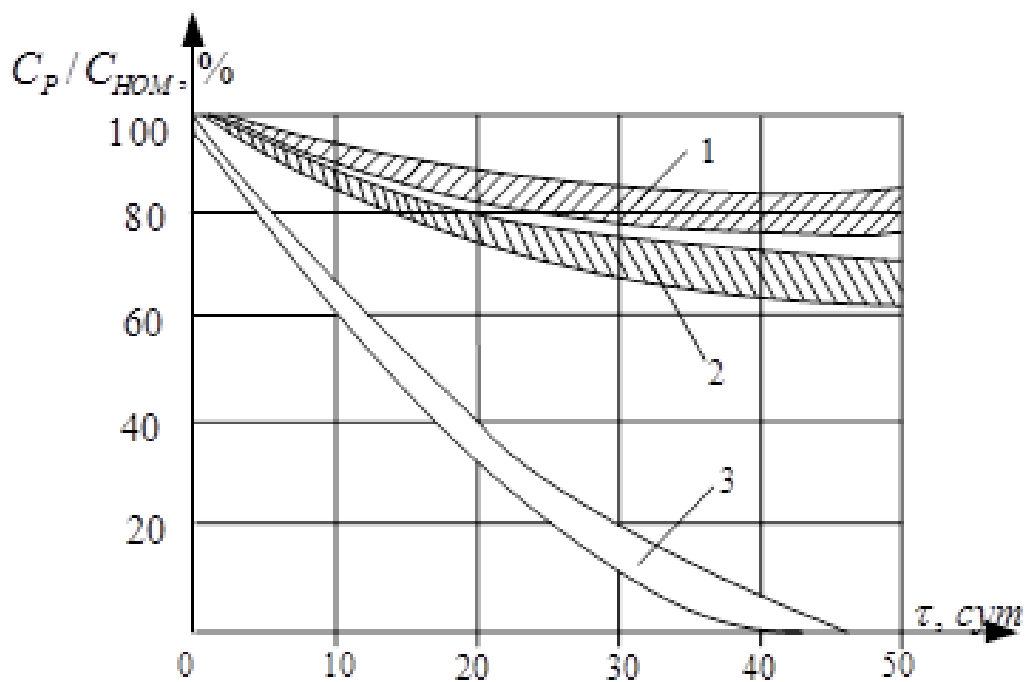


Рисунок 1.11 - Зависимость емкости Ni-MH аккумулятора от времени хранения при разных температурах: 1-0°C; 2-20°C; 3-40°C

Литий-ионные аккумуляторные батареи.

Li-Ion аккумуляторы являются современным типом и широко используются в аппаратуре. Напряжение Li-Ion аккумулятора составляет 3,7В.



Рисунок 1.12 - Внешний вид Li-Ion аккумуляторных батарей.

Разряд Li-Ion аккумуляторов представлен на рисунках 1.13 и 1.14.

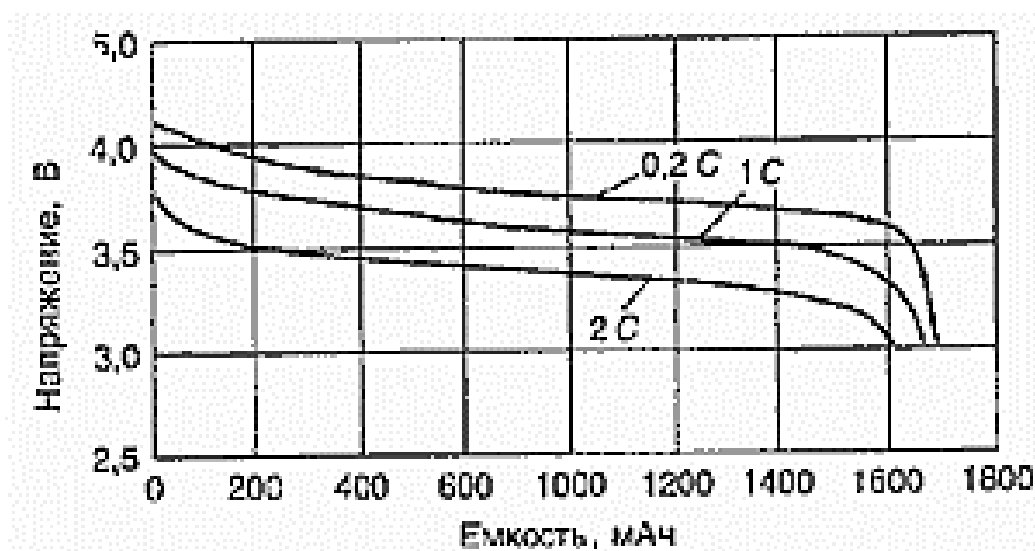


Рисунок 1.13 - Разрядные Li-Ion аккумулятора при различных токах нагрузки.

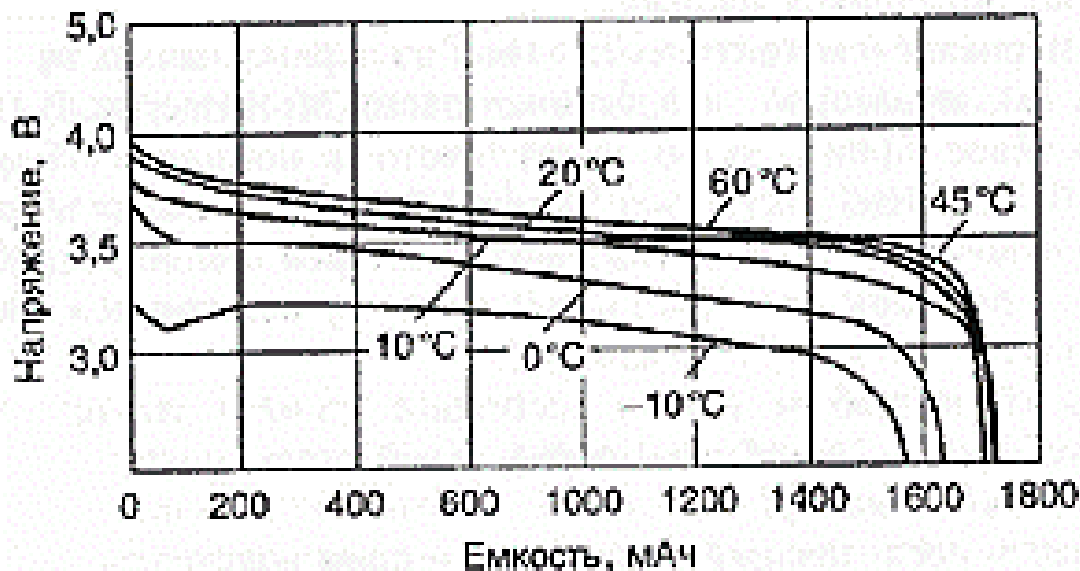


Рисунок 1.14 – Разряд Li-Ion аккумуляторов в зависимости от температуры

Литий-полимерные аккумуляторные батареи

Схожи с предыдущим рассмотренным типом. Они имеют тонкопрофильную геометрию, проще в производстве и безопасны.

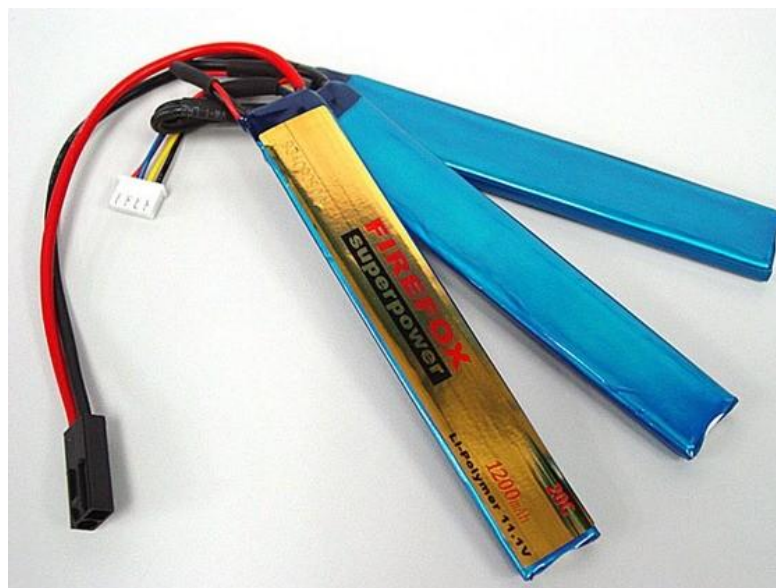


Рисунок 1.15 - Литий-полимерные аккумуляторы. Внешний вид.

Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи

В качестве самых дешевых аккумуляторов применяются свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (рис. 1.16)



Рисунок 1.16 - Автомобильный свинцово-кислотный аккумулятор

О степени заряженности аккумулятора можно судить по напряжению на нем (рисунок 1.17).



Рисунок 1.17 – Связь между зарядом и напряжением на аккумуляторе.

Разрядные характеристики показаны на рисунке 1.18 (при различных токах нагрузки).

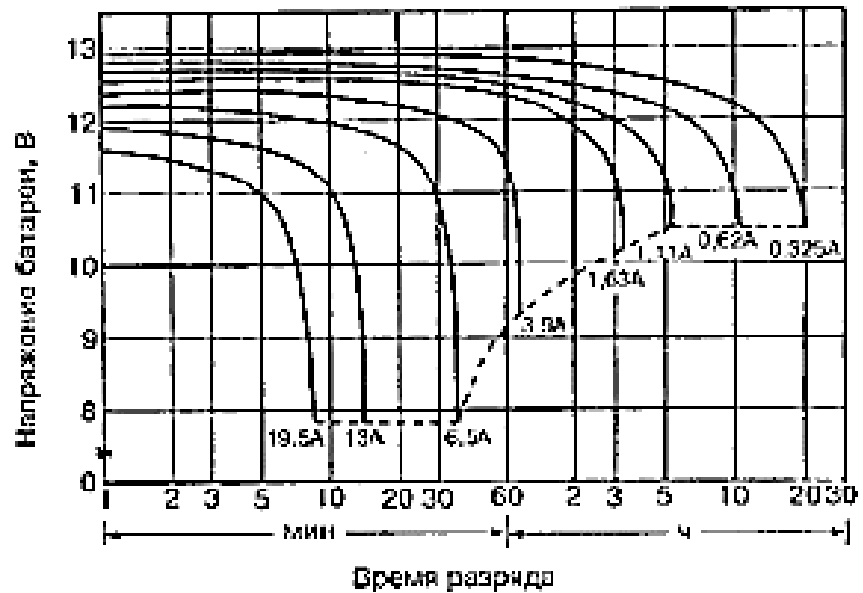


Рисунок 1.18 - Разрядные характеристики для свинцово-кислотной аккумуляторной батареи

1.5. Формулирование требований выходным параметрам системы

В результате обзора энергопотреблений различных систем питания формируем задание для системы питания: выходное напряжение +5 В, длительный выходной ток 2А, не длительный выходной ток 2.5 А. В качестве типа аккумулятора для питания системы выбрали 12В NI-MH аккумулятор.

2. Разработка и расчет системы питания

2.1. Составление структурной схемы преобразователя

Составили структурную схему системы питания.

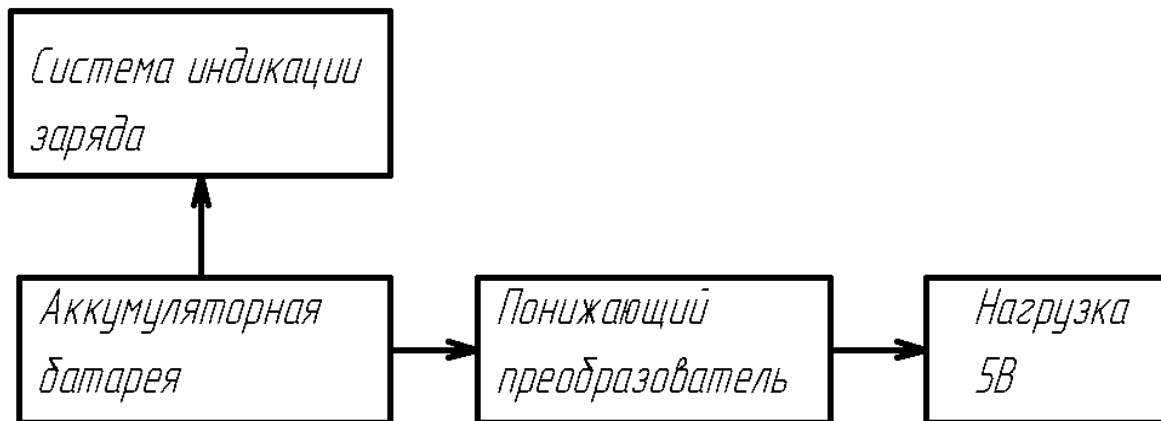


Рисунок 2.1. – Структурная схема системы питания

Источником энергии является аккумуляторная батарея. К ней подключена система индикации заряда, отображающая состояние заряда батареи. Понижающий преобразователь понижает и стабилизирует напряжение с 12 до 5 В.

Для лучшего понимания полная схема, разрабатываемая далее в данном разделе изображена на рис. 2.2. Однако перед ее разработкой провели обзор возможных схемотехнических решений составляющих ее блоков.

Выходное напряжение будет подключаться к система питания робота через разъем XS1 типа KLS2-128I-5.00-03P-4S, Клеммник винтовой 3 конт., шаг 5.0 мм.

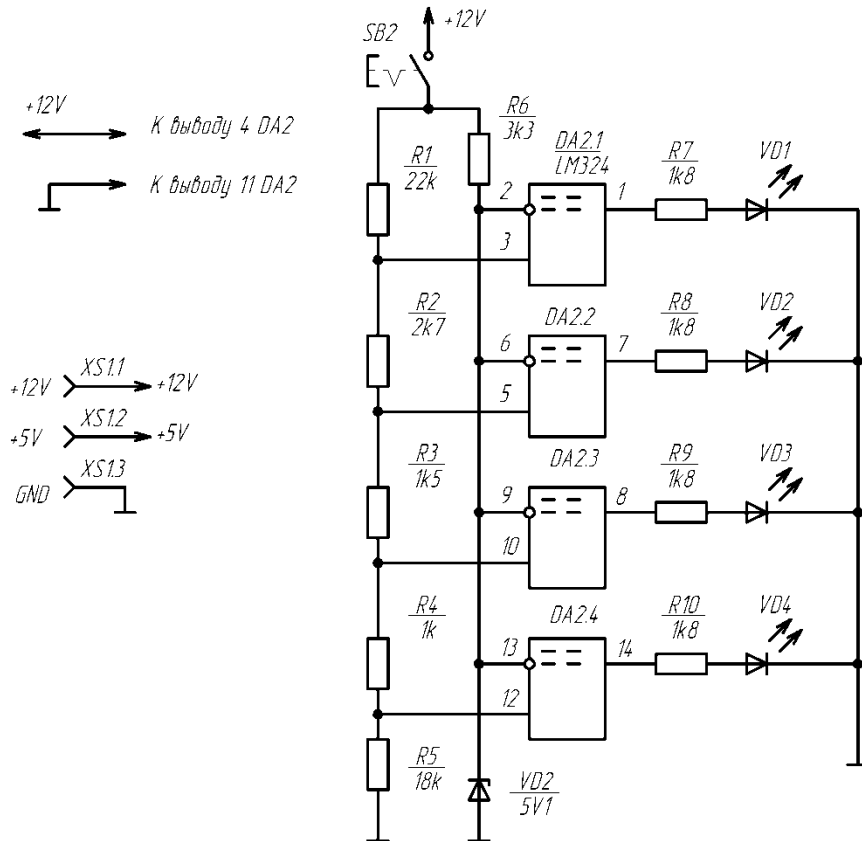
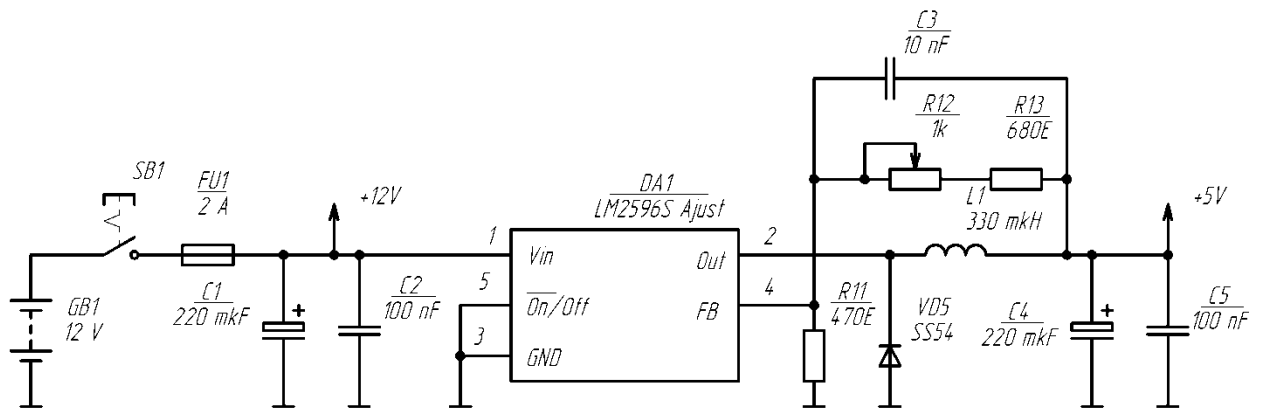


Рисунок 2.2. – Электрическая принципиальная схема системы питания.

2.2. Обзор схем понижающих DC-DC преобразователей

Преобразователь постоянного напряжения (ППН) понижающего типа может быть построен на основе различных схемотехнических решений. Например.

2.2.1. Понижающий ППН

Самый распространённый вид понижающего ППН (рис.2.3)

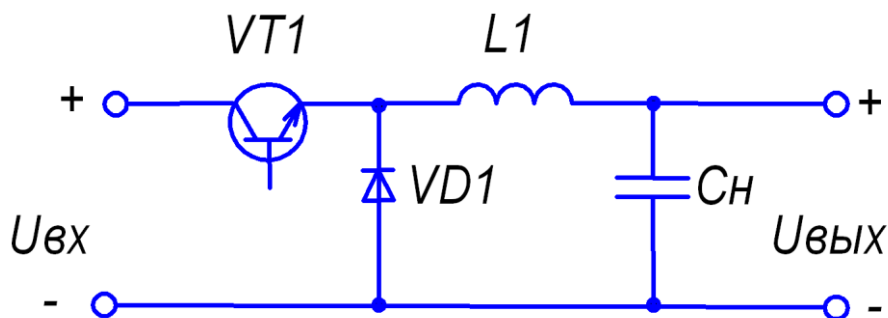


Рисунок 2.3 – Понижающий ППН

Рабочий цикл схемы состоит из двух фаз: фазы накачки энергии и фазы разряда на нагрузку (рис. 2.4).

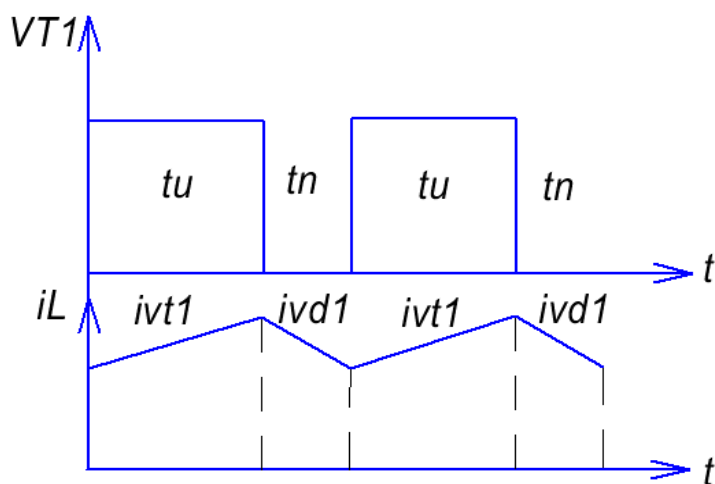


Рисунок 2.4. – Временные диаграммы работы ППН

В 1-ю фазу протекает на протяжении времени t_u . Транзистор $VT1$ открыт и проводит ток i_{vt1} , течет от питания $U_{вх}$ через дроссель к нагрузке $L1$, по цепи $U_{вх} - VT1 - L1 - C_n$, подзаряжается конденсатор C_n .

По окончании фазы происходит выключение транзистора, ток i_{vd1} замыкается через диод VD1. Ток уменьшается. Через некоторое промежуток времени t_n транзистор снова открывается и процесс повторяется.

2.2.2. Универсальный ППН

Так же возможно использование универсального ППН [6], который работает как в понижающем, так и в повышающем режимах (рис. 2.5). Работа осуществляется следующим образом: сначала VT2 закрыт, а VT1 работает в ключевом режиме схема представляет собой понижающий преобразователь, и работает аналогично схеме на рисунке 2.5. После заряда C_n до $U_{вх}$ открывается VT1, а VT2 начинает работать в ключевом режиме.

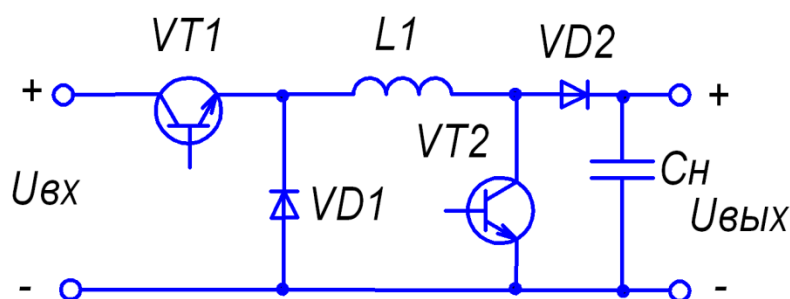


Рисунок 2.5 – Универсальный ППН

2.2.3. Преобразователь Кука

К ППН относится также преобразователь Кука (рис.2.6). Временные диаграммы работы изображены на рис.2.7. Работу можно разделить на 2 этапа. На первом энергия поступает из источника и ток увеличивается, а на втором ток уменьшается.

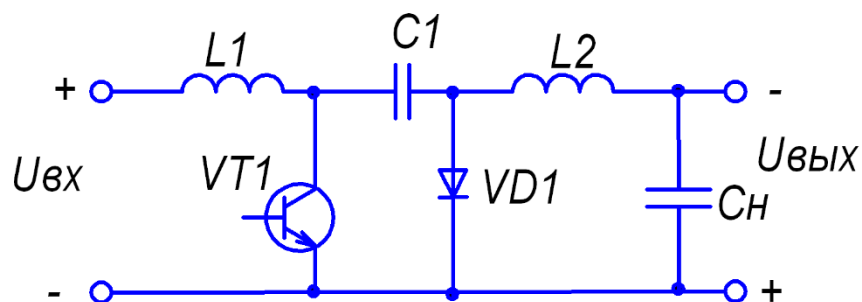


Рисунок 2.6 – Преобразователь Кука

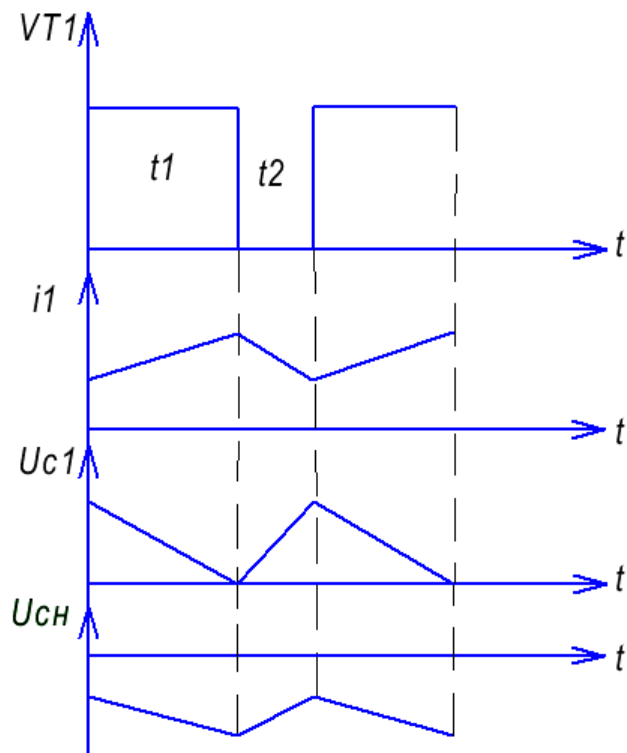


Рисунок 2.7 – Временные диаграммы работы ППН

Недостатком схемы является необходимость использования двух дросселей.

2.2.4. Преобразователь SEPIC

Похожей на вышерассмотренную схему является преобразователя типа SEPIC (рис.2.8).

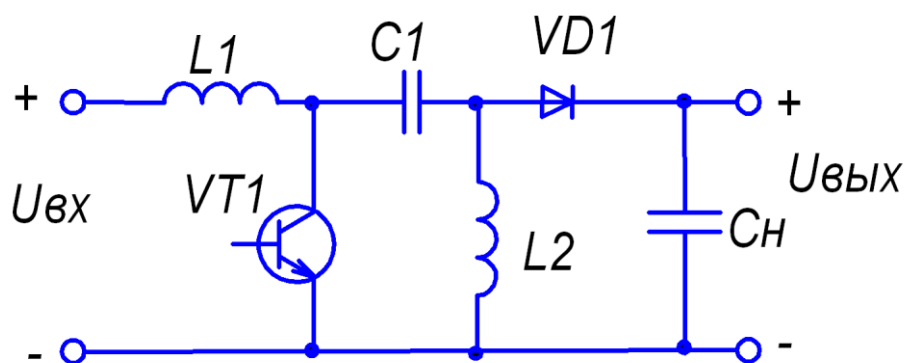


Рисунок 2.8 – Преобразователь SEPIC

2.2.5. Использование специализированных микросхем.

Для построения DC-DC часто используются специализированные микросхемы. Чаще всего именно на них строится система управления. В этом случае для работы системы управления помимо микросхемы необходима «обвязка» (в основном - резисторы и конденсаторы). А для полной системы DC-DC дополнительно необходимы силовые элементы (транзисторы, дроссели, трансформаторы и фильтровые конденсаторы).

Таким образом, зачастую для построения DC-DC в качестве основы берется специализированная микросхема и согласно ее документации и примерам использования подбираются обвязка и силовые элементы.

Существуют управляющие микросхемы, требующие минимум внешних элементов, например рис. 2.9.

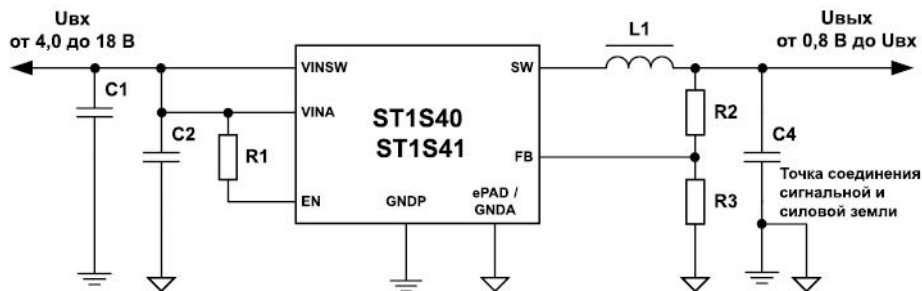


Рисунок 2.9 - Понижающий ППН на ST1S40.

Существуют управляющие микросхемы, включающие в свой состав силовой ключ (или ключи). Однако ввиду невозможности помещения мощных транзисторов в малогабаритную микросхему такие решения применимы только для маломощных ППН. Наиболее распространенными параметрами для применения таких микросхем являются напряжения в несколько десятков вольт и токи в несколько ампер. Примерами таких микросхем являются LM2569, LM2596, LM2621, MC34063 и т.д.

Рассмотрим построение и работу понижающего ППН на основе микросхемы LM2569 [9]. Описание принципа работы понижающего ППН приведено в п.2.2.1 данного обзора.

Микросхема удобна в применении в качестве понижающего ППН: мощный биполярный ключ уже находится внутри. Необходимо добавить остальные компоненты регулятора — быстрый диод, индуктивность и выходной конденсатор, также возможно поставить входной конденсатор — всего 5 элементов. В версии LM2596ADJ также потребуется схема задания выходного напряжения, это два резистора или один переменный резистор.

Схема понижающего ППН на LM2569 представлена на рис. 2.10, внутреннее строение микросхемы — на рис.2.11, и упрощенное внутренне строение вместе со внешними элементами — на рис.2.12.

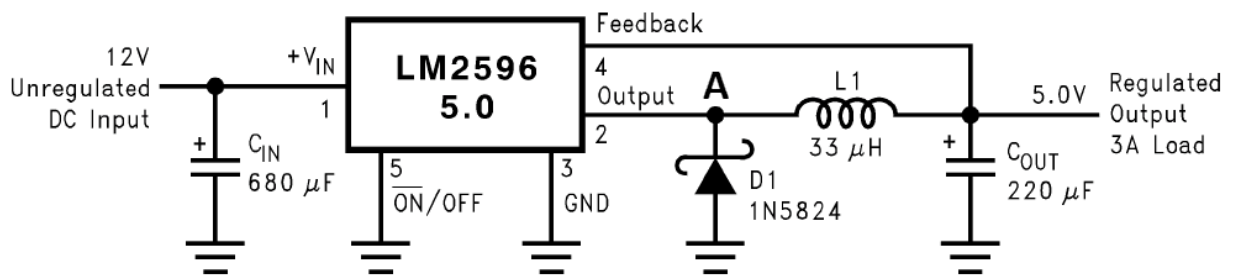


Рисунок 2.10 - Понижающий DC-DC на основе микросхемы LM2569.

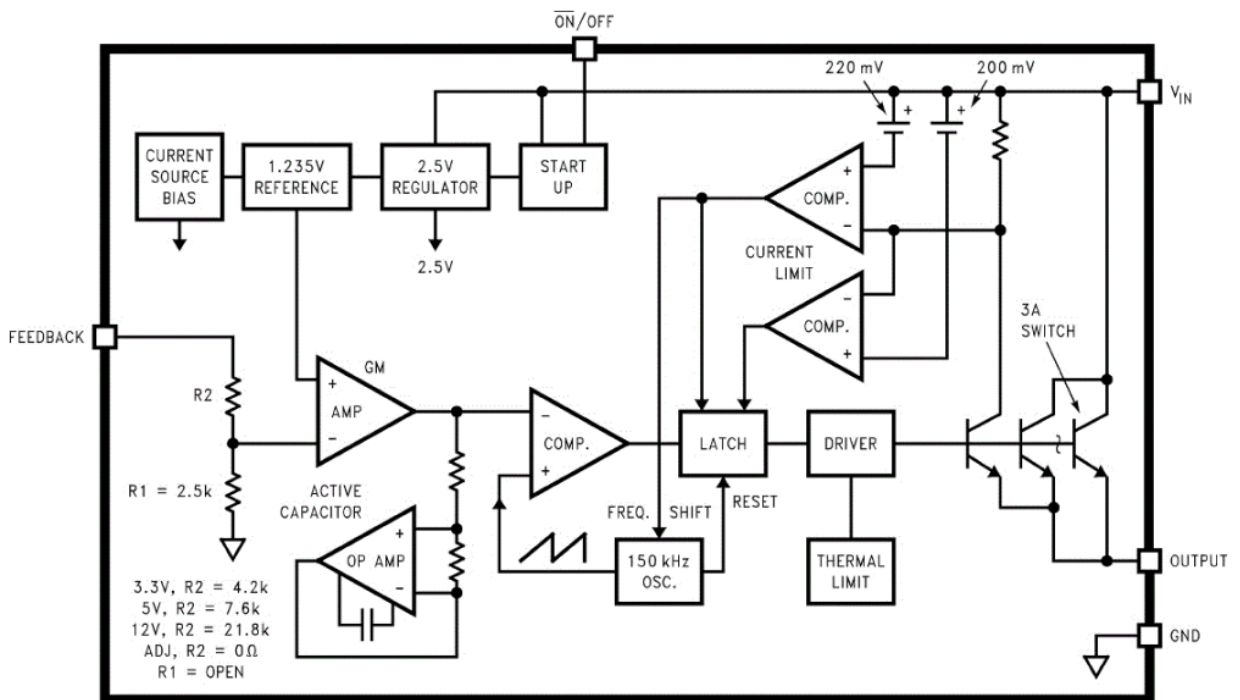


Рисунок 2.12 - Внутреннее строение микросхемы LM2569.

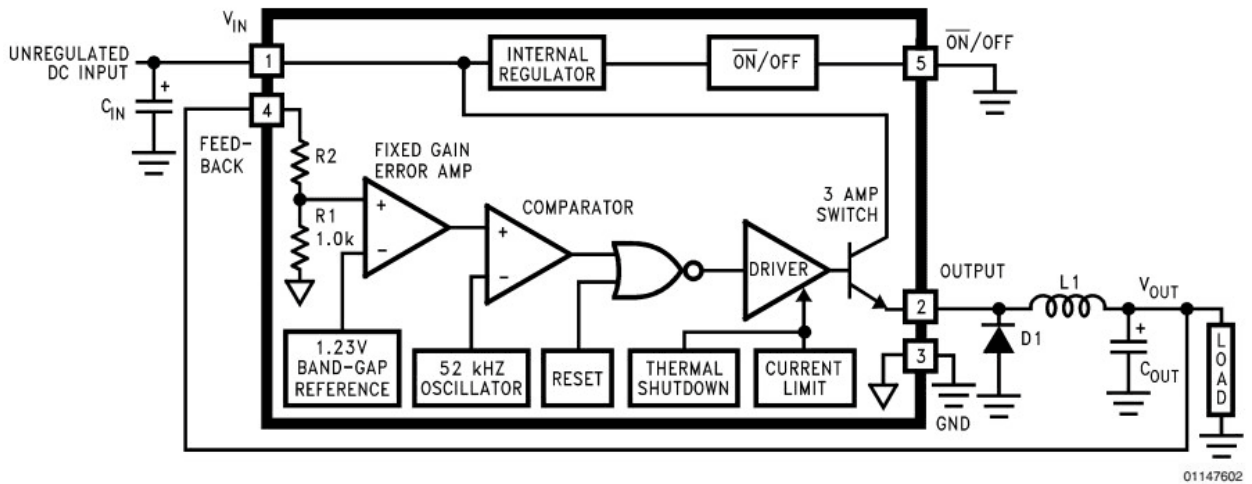


Рисунок 2.13 - Упрощенное внутреннее строение микросхемы LM2569 вместе со внешними элементами.

Управляемый ШИМ–сигналом мощный (3-х амперный) ключ то открывается (подавая напряжение на внешнюю индуктивность), то закрывается (ток протекает через внешний диод и индуктивность). В точке А (рис.2.10) *часть* времени присутствует полное напряжение, и (1–*часть*) времени напряжение равно нулю. LC–фильтр сглаживает эти колебания, выделяя постоянную составляющую, равную *части* напряжения питания. Диод замыкает цепь, когда транзистор выключен.

Варианты выпускаемых микросхем. Модуль выпускается в четырёх версиях: с напряжением 3.3В (индекс –3.3), 5В (индекс –5.0), 12В (индекс – 12) и регулируемая версия LM2596ADJ. Регулируемая версия требует два дополнительных внешних резистора.

Варианты корпусов. Существует два варианта корпусов: корпус для планарного монтажа ТО–263 (модель LM2596S) и корпус для монтажа в отверстия ТО–220 (модель LM2596T) (рис.3.7).

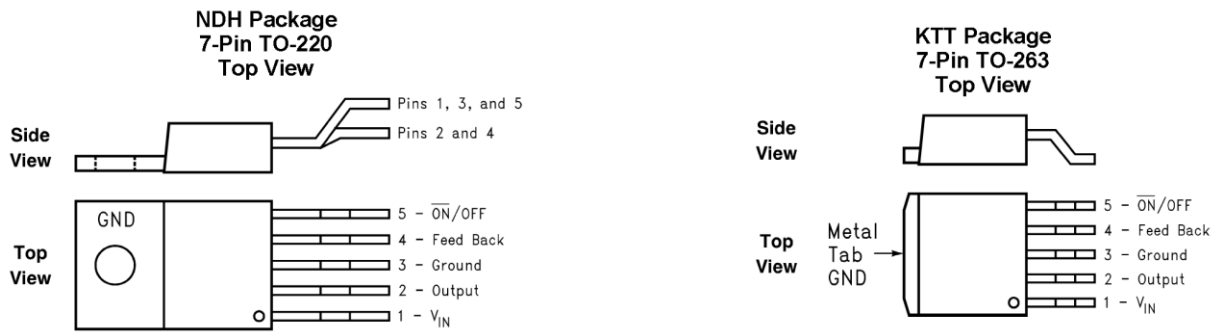


Рисунок 2.12 - Виды корпусов для микросхемы LM2596.

В случае применения планарной версии LM2596S радиатором является сама плата, и отпадает необходимость покупать дополнительный внешний радиатор. К тому же её механическая стойкость гораздо выше, в отличие от TO-220, которую обязательно надо к чему-то привинчивать, хотя бы даже к плате — но тогда проще установить планарную версию.

2.3. Разработка и расчет схемы понижающего DC-DC преобразователя

Понижающий преобразователь построим на основе популярной микросхемы LM2596S Adjustable. LM2596S - понижающий преобразователь постоянного тока, он выпускается часто в виде готовых модулей, около 1 доллара ценой (в поиске LM2596S DC-DC 1.25-30 В 3А). Приписка Adjustable означает возможность регулирования выходного напряжения посредством внешних резисторов.

Ниже приводится принципиальная схема данной платы преобразователя (ключевые компоненты отмечены на картинке в конце). На входе есть защита от переплюсовки - диода D2. Это позволит предотвратить повреждения регулятора неправильно подключенным входным напряжением. Несмотря на то, что микросхема lm2596 может обрабатывать согласно даташита входные напряжения вплоть до 45 В, на практике входное напряжение не должно превышать 35 В при длительном использовании.

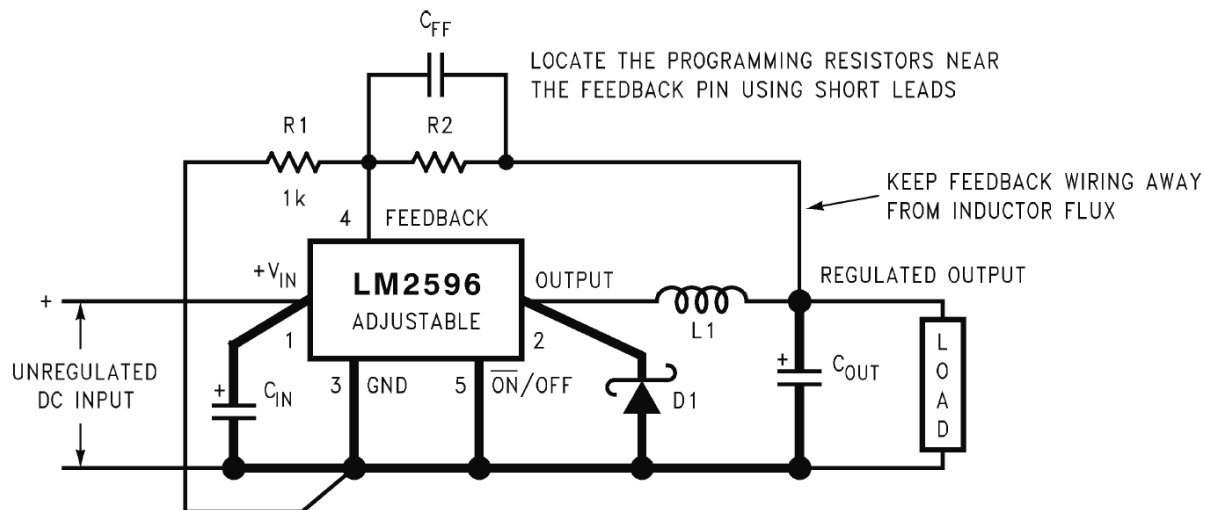


Рис. 2.13 - Стандартная схема включения LM2596.

Для lm2596, выходное напряжение определяется уравнением, приведённым ниже. Резистором R2 выходное напряжение можно регулировать в пределах от 1.23 до 25 В.

Хотя микросхема lm2596 рассчитана на максимальный ток 3 А непрерывной работы, малая поверхность фольги-массы не достаточно, чтобы рассеять выделяемое тепло во всём диапазоне работы схемы. Также отметим, что КПД этого преобразователя варьируется весьма сильно в зависимости от входного напряжения, выходного напряжения и тока нагрузки. Эффективность может колебаться от 60% до 90% в зависимости от условий эксплуатации. Поэтому теплоотвод является обязательным, если непрерывная работа идёт при токах более чем 1 А. Согласно документации выходное напряжение считается как:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (2.1)$$

где $V_{REF}=1.23$ В. – опорное напряжение

Отсюда выразим

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

Согласно даташиту, конденсатор прямой связи необходимо устанавливать параллельно резистору R2, особенно когда напряжение на выходе превышает 10 В - это нужно для обеспечения стабильности. Но этот конденсатор часто не присутствует на китайских недорогих платах инверторов. В ходе экспериментов были проверены несколько экземпляров DC преобразователей в различных условиях эксплуатации. В итоге пришли к выводу, что стабилизатор на LM2596 хорошо подходит для низких и средних токов питания цифровых схем, но для более высоких значений выходной мощности необходим теплоотвод.

Упрощенная схема получившегося ППН изображена на рис 2.14.

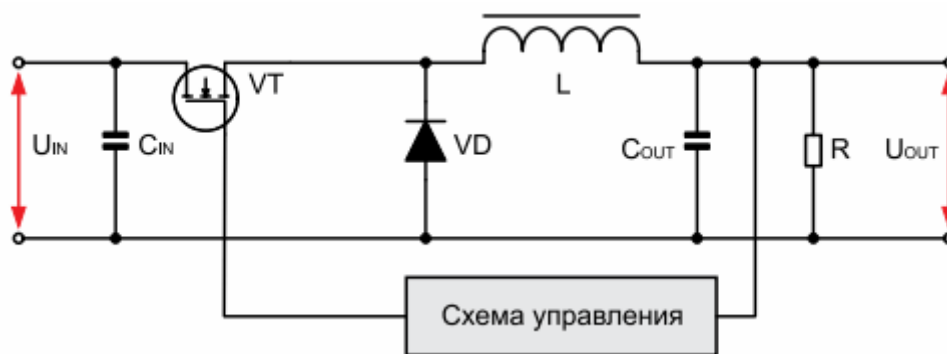
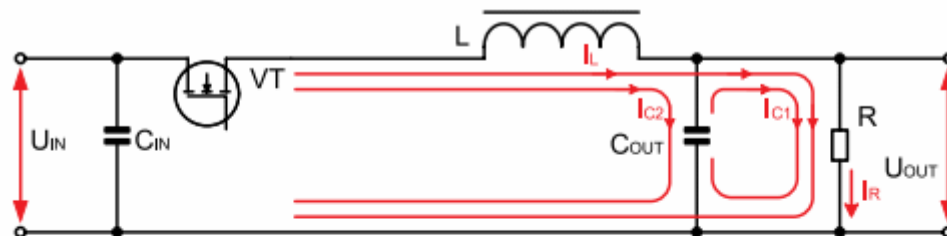
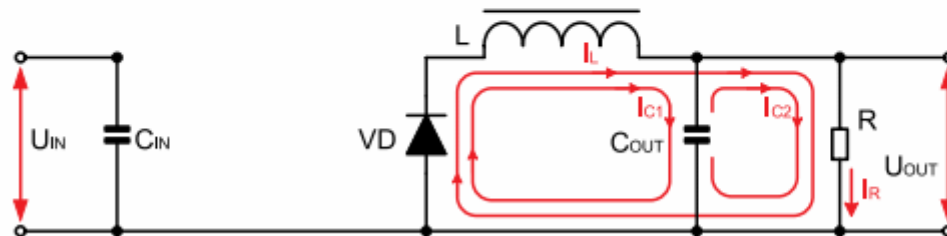


Рисунок 2.14 - Упрощенная схема ППН.

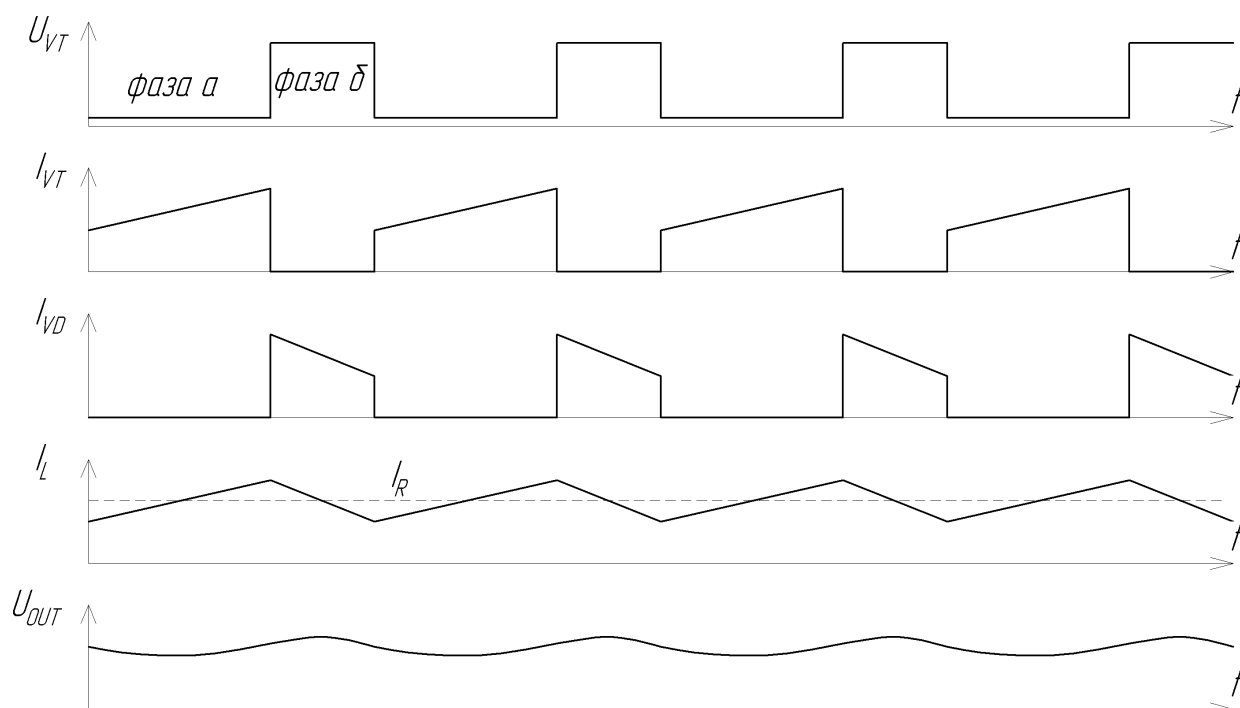
Работа ППН заключается в чередовании двух фаз – накачки и разряда (рис. 2.15).



а) Фаза наработки



б) Фаза разряда



в) временные диаграммы

Рисунок 2.15 - Схемы замещения и временные диаграммы работы ППН.

На основе вышеприведенной информации разработали схему ППН (рис. 2.16). С целью предотвращения путаницы нумерацию элементов оставили совпадающей с полной схемой (см. рис. 2.2).

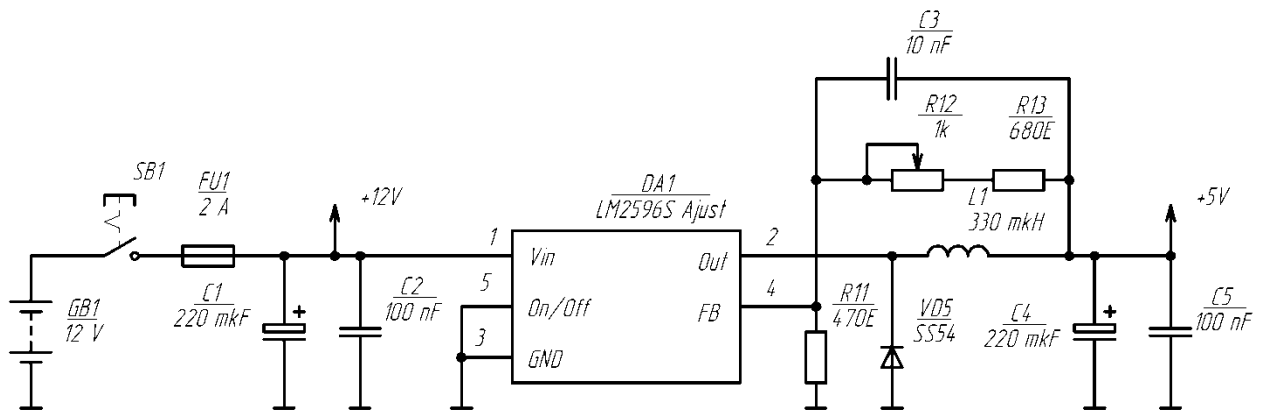


Рисунок 2.16 - Разработанная схема ППН.

В этой схеме GB1 – 12 вольтовая Ni-MH аккумуляторная батарея.

Конденсаторы C1 и C2 служат для сглаживания входного напряжения, а C4 и C5 – выходных пульсаций. Конденсатор C3 – поставлен согласно рекомендациям для повышения скорость обработки резкого изменения нагрузки.

Резисторы R10,11,12 служат для организации обратной связи и задают выходное напряжение. Подберем их таким образом, чтобы иметь возможность регулирования выходного напряжения в пределах от $U_{min}=3$ В (на этом напряжении уже работает Ардуино, хоть и не работают большинство ЖК индикаторов) до $U_{max} = 5.5$ В – это напряжение все еще является безопасным для микроконтроллеров. Расчет производим согласно (2.2). Зададимся резистором $R10=470$ Ом. Для реализации минимального выходного напряжения в $U_{min}=3$ В и максимального $U_{max}=5.5$ выберем резисторы R12 и R11:

$$R12 = R10 \cdot (U_{min} / V_{ref} - 1) = 470 \cdot (3 / 1.23 - 1) = 676 \approx 680 \text{ Ом}$$

Далее найдем резистор R11:

$$R11 = R10 \cdot (U_{max} / V_{ref} - 1) - R12 = 470 \cdot (5.5 / 1.23 - 1) - 680 = 950 \approx 1000 \text{ Ом}$$

В качестве дросселя L1 технической документации приведен дроссель 68 мкФ. Однако для уменьшения уровня пульсации выходного напряжения

выберем дроссель на 220 мкФ. Его ток насыщения должен превышать необходимый выходной ток ППН 2 А. Выбрали дроссель типа

MCPD5022MT221, INDUCTOR, UN-SHIELDED, 220UH, SMD с параметрами:

Индуктивность 220мкГн

Упаковка Cut Tape

Ток СКЗ (Irms) 2.4А

Максимальное DC Сопротивление 0.38Ом

Допуск Индуктивности $\pm 20\%$

Корпус Силового Индуктора 18.54mm x 15.24mm x 7.11mm

Конструкция Проводника Unshielded

Диод VD2 выбрали диод шоттки типа SS54 с параметрами:

Количество элементов на ИС 1

Ширина 6.22mm

Пиковое обратное повторяющееся напряжение 40V

Число контактов 2

Пиковое прямое напряжение 0.55V

Diode Configuration Single

Максимальный непрерывный прямой ток 5А

Минимальная рабочая температура -55 °С

Тип диода Schottky

Тип монтажа Surface Mount

Пиковый обратный ток 50mA

Размеры 7.11 x 6.22 x 2.41мм

Длина 7.11mm

Тип корпуса SMC

Максимальная рабочая температура +150 °С

Высота 2.41mm

2.4. Обзор систем индикации заряда аккумуляторов

Индикация заряда аккумулятора необходима для визуальной оценки его состояния. Существуют различные схемы, например, рис.2.17.

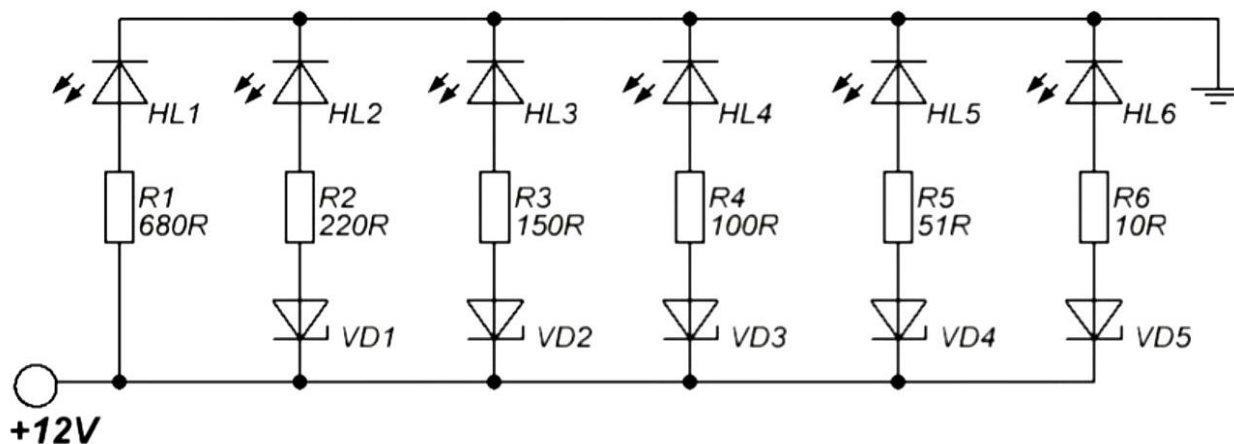


Рисунок 2.17 - Аналоговая схема индикации заряда

В этой схеме используются стабилитроны, которые открываются на разных напряжениях. Яркость свечения светодиодов изменяется в зависимости от входного напряжения, что не очень хорошо смотрится.

Можно использовать схему на компараторах, например рис.2.18, в которой светодиоды будут зажигаться при превышении входным напряжением заданных порогов.

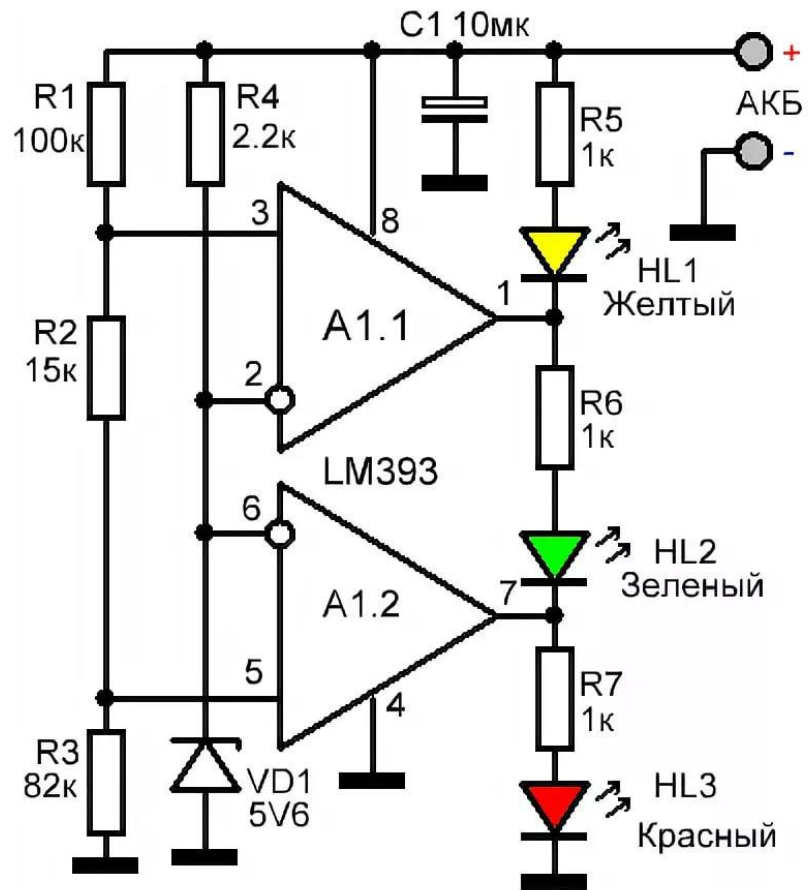


Рисунок 2.18 - Схема на компараторах.

Или термokonмпенсированную схему по рис. 2.20.

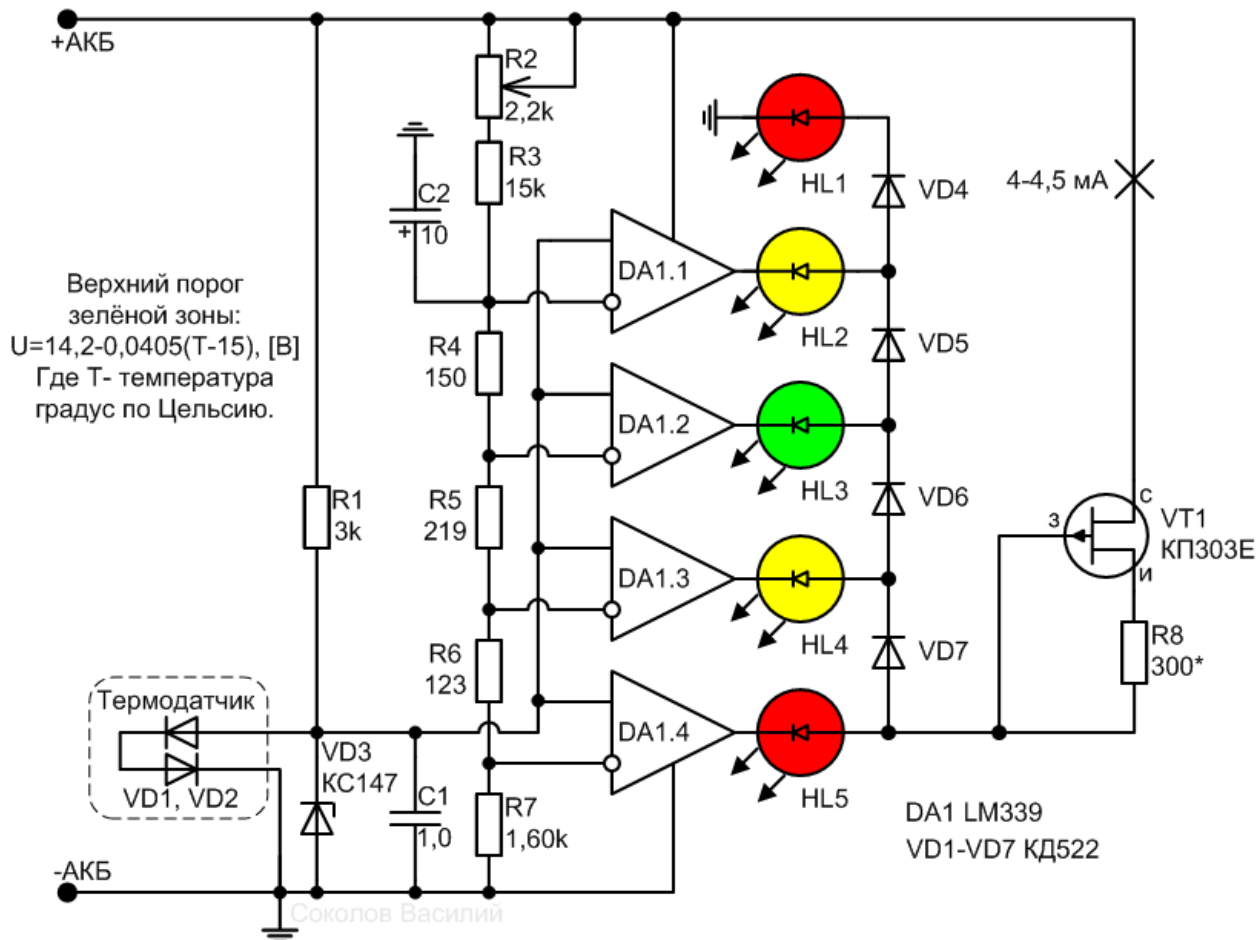


Рисунок 2.20 - Схема индикации с термокомпенсацией.

2.5. Разработка и расчет системы индикации заряда

На основе вышеприведенной информации разработали схему индикации (рис. 2.21). С целью предотвращения путаницы нумерацию элементов оставили совпадающей с полной схемой (см. рис. 2.2).

В данной схеме компараторы сравнивают уровень входного напряжения с заданными уровнями и зажигают светодиоды. Уровни напряжения формируются делителями на R1-R5 и сравниваются с опорным напряжением, сформированным на VD2.

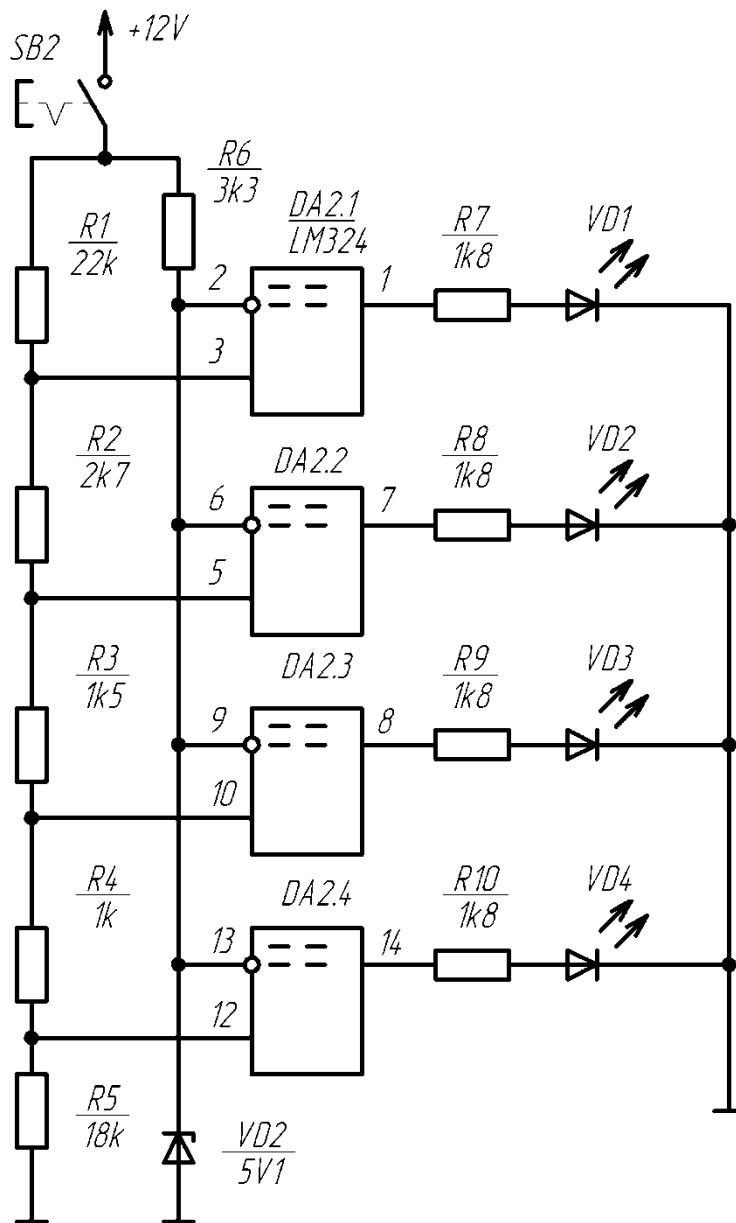


Рисунок 2.21 - Схема индикации напряжения аккумуляторной батареи.

Для расчета резисторов R1-R5 воспользуемся известным соотношением для делителя рис. 2.22.

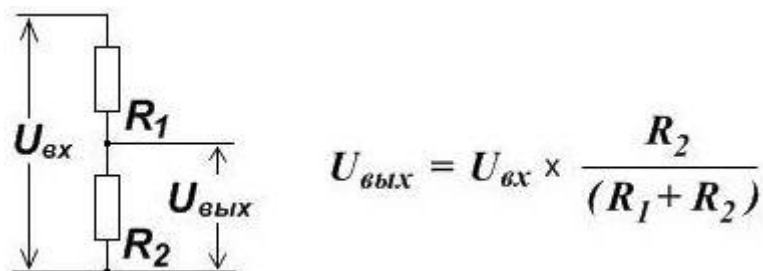


Рисунок 2.22 - Резистивный делитель.

Например, светодиод VD1 зажжется, если напряжение батареи +12В превысит уровень:

$$U1 := U \cdot \frac{R1 + R2 + R3 + R4 + R5}{R2 + R3 + R4 + R5}, \text{ где} \quad (2.3)$$

$U = 5.1 \text{ В}$ – напряжение на стабилитроне

В программном пакете MathCAD составили программу расчета (рис. 2.23) при помощи которой подобрали значения резисторов.

$$\underline{R1} := 22 \quad \underline{R2} := 2.7 \quad \underline{R3} := 1.5 \quad \underline{R4} := 1 \quad \underline{R5} := 18$$

$$U := 5.1$$

$$U1 := U \cdot \frac{R1 + R2 + R3 + R4 + R5}{R2 + R3 + R4 + R5} = 9.936$$

$$U2 := U \cdot \frac{R1 + R2 + R3 + R4 + R5}{R3 + R4 + R5} = 11.245$$

$$U3 := U \cdot \frac{R1 + R2 + R3 + R4 + R5}{R4 + R5} = 12.133$$

$$U4 := U \cdot \frac{R1 + R2 + R3 + R4 + R5}{R5} = 12.807$$

Рисунок 2.23 - Программа для расчета номиналов резисторов.

Таким образом, светодиод VD1 зажжется, если напряжение батареи +12В превысит уровень 9.9 В, VD2 – 11.2 В, VD3 – 12.1 В, VD4 – 12.8 В. Чем больше горит светодиодов, тем выше напряжение на аккумуляторной батарее (степень ее заряда).

С целью экономии энергии схема индикации может быть отключена (кнопкой с фиксацией SB2).

Светодиоды для индикации выбрали типа GNL-3012GD, Светодиод зеленый 60" d=3мм 7мКд 565нМ (Green).

Подобрали токоограничительные резисторы R7..R10 величиной 1.8кОм, в этом случае ток светодиода составит

$$I_{vd} = (12\text{В} - U_{vd}) / R = (12 - 2.5 / 1.8) = 5.2 \text{ мА}, \text{ где}$$

12В – напряжение аккумуляторной батареи, от которого запитаны компараторы.

$U_{vd} = 2.5 \text{ В}$ – напряжение на светодиоде

$R = 1.8 \text{ кОм}$ – выбранный номинал резистора

Временные диаграммы работы приведены на рис.2.24.

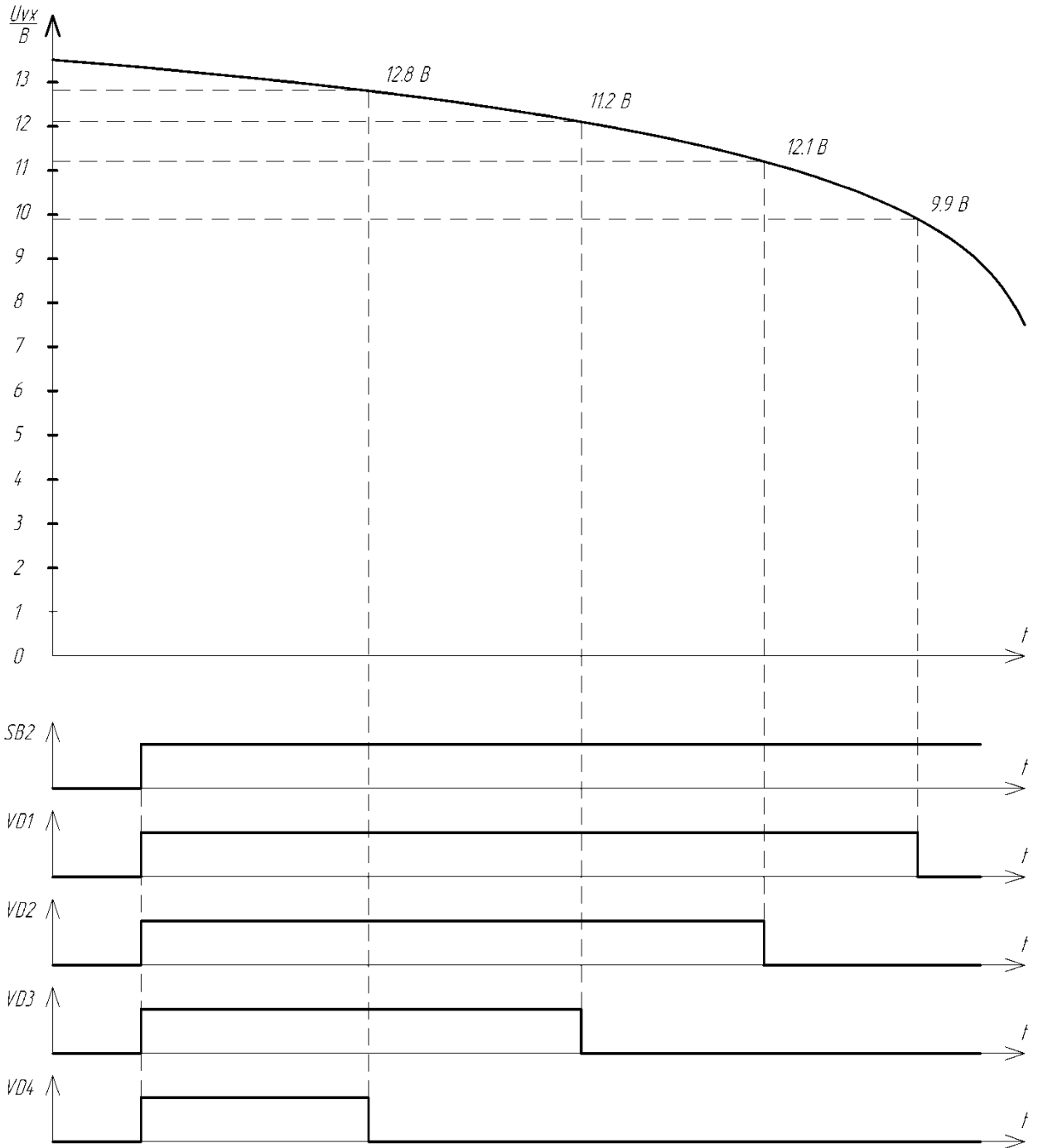


Рисунок 2.24 - Временные диаграммы работы системы индикации.

Заключение

В данной работе был произведен обзор ситуации, проанализированы энергопотребление систем управления и возможные типы аккумуляторов. Далее проведены обзоры возможных схем построения понижающих преобразователей постоянного напряжения и систем индикации степени заряженности аккумулятора.

Таким образом, в данной работе разработан понижающий преобразователь со стабильным выходным напряжением +5В (2А), и система индикации степени заряда аккумуляторной батареи. Разработанная схема простая, имеет минимум элементов. Особенностью схемы является возможность регулировки выходного напряжения. Например, при уменьшении напряжения с 5 до 4.5В будет сохранена работоспособность системы управления на Arduino, а энергопотребление уменьшится примерно на 20%. Степень заряда аккумулятора может быть определена при помощи светодиодной системы индикации по следующему интуитивно понятному принципу: «Чем больше светодиодов горит, тем больше уровень заряда аккумулятора». Благодаря дросселю, выбранному с запасом, система может обеспечивать выходной ток в 2.5 А, необходимый для включения некоторых моделей RaspberryPi.

Список используемой литературы

1. Химические источники тока: Справочник / Под ред. Н. В. Коровина и А. М. Скундина. – М.: Издательство МЭИ, 2003. 740 с., ил.
2. Хрусталеv Д. А. Аккумуляторы. – Москва: Изумруд, 2003.
3. Скоков Я.М. Химические источники тока. Стационарные аккумуляторы: Практическое пособие – Минск: ЗАО «Техноперспектива», 2004.
4. Таганова, А.А. Диагностика герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов и универсальный алгоритм их отбора в батарею [Текст]: дис. канд. тех. наук. Ленинград, 1990. - 150 с.
5. Бухаров А. И. и др. Средства заряда аккумуляторов и аккумуляторных батарей: Справочник / А. И. Бухаров, И. А. Емельянов, В. П. Суднов. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 288 с.: ил.
6. Болотовский, В. И. Эксплуатация, обслуживание и ремонт свинцовых аккумуляторов [Текст] / В.И. Болотовский, З.И. Вайсгант. Ленинград: Энергоатомиздат, 1988. - 196 с.
7. Орлов, В.А. Малогабаритные источники тока [Текст] / В.А. Орлов. - 2 изд. Москва: Воениздат, 1970. – 224 с.
8. Романов, В.В. Химические источники тока [Текст] / В.В. Романов, М.Ю. Хашев. Москва: Химиздат, 1968. – 307 с.
9. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. – М.: Высш. шк.1991. – 622 с.
10. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.: ил.
11. Конденсаторы: Справочник / И. И. Четвертков, М. Н. Дьяконов, В. И. Присняков и др.: Под ред. И. И. Четверткова, М. Н. Дьяконова. – М.: Радио и связь. – 1993. – 392 с.: ил.

12. Кузнечиков С.Ю. Магнитопроводы из композиционных магнитомягких порошковых материалов. // Электротехника 1994г. №8, с.54.
13. Намитоков К.К. и др. Аппараты для защиты полупроводниковых устройств / К.К. Намитоков, Н.А. Ильина, И.Г. Шкловский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.
14. Полупроводниковые приборы: Справочник / А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев, В.В. Мокряков и др. Под ред. А.В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1988. – 528 с., ил.
15. Процессы гранулирования в промышленности. Вилесов Н.Г., Скрипко В.Я., Ломазов В.Л., Танченко И.М. – Киев: «Техника», 1976. – 192с.
16. Резисторы: Справочник / В. В. Дубровский, Д. М. Иванов, Н. Я. Пратусевич и др.; Под. ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.: ил.
17. Сидоров И.Н. и др. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник / И.Н. Сидоров, В.В. Мукосеев, А.А. Христинин. – М.: Радио и связь, 1985. – 416с., ил.
18. Силовые полупроводниковые приборы. Пер. с англ. Под ред. В.В. Токарева. Первое издание. – Воронеж: «Элист», 1995. – 664 с.
19. Транзисторы малой мощности: Справочник / Под ред. А. В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1989.
20. Трансформаторы и преобразователи «Электроагрегат». Каталог. – Санкт Петербург.: Электроагрегат, 2003. – 38 с.
21. Аксенов А.И., Нефедов А.В. Отечественные полупроводниковые приборы. Справочное пособие., М.: СОЛОН., 1999 г.
22. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база/ Масленников М.Ю., Соболев Е.А., Соколов Г.В. и др.; Под ред. Масленникова М.Ю. М.: Радио и связь, 1996.
23. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с., ил.

24. Шило В.Л. Популярныe микросхемы КМОП. Справочник. – М.: Изд-во «Ягуар», 1993. – 64 с.
25. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.platan.ru](http://www.platan.ru) (дата обращения: 07.05.2017)
26. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.chip-dip.ru](http://www.chip-dip.ru) (дата обращения: 07.05.2017)
27. Миловзоров О. В. Электроника : учеб. для вузов / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. - Изд. 4-е, стер. ; Гриф МО. - М. : Высш. шк., 2008. - 288 с.
28. Воронин, П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение/ П.А. Воронин. - М.:Издательский дом “Додека-XXI”, 2001. – 384 с.
29. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: учеб.пособ./ Зиновьев, Г.С. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. - 664с.
30. Ямпурин Н. П. Электроника [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. П. Ямпурин, А. В. Баранова, В. И. Обухов. - М. : Академия, 2011 (дата обращения: 07.05.2017).
31. LM2596 SIMPLE SWITCHER ® Power Converter 150-kHz [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf> (дата обращения: 07.05.2017)
32. LM2596TADJG-ON-Semiconductor-datasheet-11796857.pdf [Электронный ресурс]. URL: https://docviewer.yandex.ru/view/928506/?*=3xrwNyJvsOPLurHF9A6SsD1BWzF7InVybCI6Imh0dHBzOi8vZGF0YXNoZWV0Lm9jdG9wYXJ0LmNvbS9MTTI1OTZUQRKRy1PTi1TZW1pY29uZHVjdG9yLWRhdGFzaGVldC0xMTc5Njg1Ny5wZGYiLCJ0aXRsZSI6IkxNMjU5N1RBREpHLU9OLVNlbWljb25kdWN0b3ItZGF0YXNoZWV0LTEXNzk2ODU3LnBkZiIsInVpZCI6IjkyODUwNiIsInl1IjoioTU4MTI3OTcyMTUyMzkyNzUyNyIsIm5vaWZyYW11Ijp0cnVILCJ0cyI6MTUyNzYwNzg1MjYyMywic2VycFBhcmFtcyI6Imxhbmc9ZW4mbmFtZT1MTTI1OT

ZUQURKRy1PTi1TZW1pY29uZHVjdG9yLWRhdGFzaGVldC0xMTc5Njg1Ny5wZGYmdG09MTUyNzYwNzc4OSZ0bGQ9cnUmdGV4dD1sbTI1OTYmdXJsPW h0dHBzJTNBjTjGJTjGZGF0YXNoZWV0Lm9jdG9wYXJ0LmNvbSUyRkxNMj U5NIRBREpHLU9OLVNIbWljb25kdWN0b3ItZGF0YXNoZWV0LTExNzk2OD U3LnBkZiZscj0yNDAMBWltZT1wZGYmbDEwbj1ydSZzaWduPTFjOGU4MzEz MmNiODJkZjRiOTc4ODg0MWVhNDQ0Y2YxJmtleW5vPTAifQ%3D%3D&lan g=en D%3D&lang=en (дата обращения: 07.05.2017)

33. DC-to-DC converter - Wikipedia [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/DC-to-DC_converter (дата обращения: 07.05.2017)

34. Buck converter [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Buck_converter (дата обращения: 07.05.2017)

35. 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)

Инв. № подл.	Изм. Лист	№ док.им.	Подп.	Дата	Система питания мобильного робота	Лит.	Лист	Листов
Инв. № подл.	Пров.	Глибин Е.С.			Перечень элементов	Д	1	1
	Н.контр.					ТГУ, Элб-1401		
Утв.								
Подп. и дата	Разъемы							
	XS1	KLS2-128I-5.00-03P-4S			1			
Подп. и дата	Диоды							
	VD1-4	GNL-3012GD				565нМ (Green)		
Взам. инв. №	Кнопки							
	SB1, SB2	R16-504AD-G Lock			2	Кнопка с фиксацией		
Инв. № дораб.	Резисторы							
	R1	МЛТ-0,25-22 кОм ±5%			1			
Подп. и дата	Дроссели							
	L1	MCPD5022MT221, INDUCTOR, UN-SHIELDED, 220UH, SMD			1			
Подп. и дата	Предохранитель							
	FU1	H520 (ZH214), 2 А, 250В (ВПБ6-10)			1			
Справ. №	Микросхемы							
	DA1	LM2596S Adj			1			
Подп. примен.	Конденсаторы							
	C1, C4	K50-35-16 В-220 мкФ ±10 %			2			
Подп. примен.	Микроконтроллеры							
	C2, C5	K10-17Б-50 В-100 нФ ±10 %			2			
Подп. примен.	Микроконтроллеры							
	C3	K10-17Б-50 В-10 нФ ±10 %			1			

Копировал

Формат А4