

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

Институт машиностроения

(наименования института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(наименование)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроника и робототехника

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Модернизация электронного замка»

Обучающийся

В.Е.Шевандо

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук., доцент, М.В. Позднов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

канд. филол. наук., доцент О.А. Головач

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

## **Аннотация**

Объем 51 страниц, 32 рисунка, 11 таблиц и 30 источников.

Объектом исследования являются схемотехнические решения, направленные на защиту физической собственности и методы взаимодействия с ними:

Цель работы — заключается в проведение комплексного анализа лабораторного образца, разработке и тестировании цифровых макетов модернизированного электронного замка с Bluetooth-управлением

В ходе выполнения работы основные задачи принадлежат аппаратному модулю.

Аппаратный модуль включает в себя поиск и составление элементной базы аппаратного комплекса, и проектирование схемотехнического решения для автономной работы составных элементов замка.

Областью применения данной разработки являются безопасность физической и цифровой собственности, однако установка замка возможна на любом другом механизме, работающем по принципу распаивания, однако требует твердой и крепкой площадки крепления замка.

## **Abstract**

The volume is 51 pages, 32 figures, 11 tables, 30 sources.

The object of the research is circuit engineering solutions aimed at protecting physical property and methods of interaction with them:

The purpose of the work is to conduct a comprehensive analysis of a laboratory sample, develop and test digital layouts of an upgraded electronic lock with Bluetooth control

During the execution of the work, the main tasks belong to the hardware module.

The hardware module includes the search and compilation of the element base of the hardware complex and the design of a circuit design solution for the autonomous operation of the components of the lock.

The scope of application of this development is the security of physical and digital property, however, the installation of the lock is possible on any other mechanism operating on the principle of opening, however, it requires a solid and strong pad for fastening the lock.

## Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса .....	6
1.1 Проблема исследования.....	6
1.2 Исследование аналогов и их технических спецификаций. ....	6
1.3 Модернизация устройства .....	9
2 Конструкторское проектирование устройства .....	10
2.1 Анализ компонентной базы устройства .....	10
2.2 Схемотехническое устройство электронного замка .....	22
2.3 Структурная схема .....	43
2.4 Схема зарядного блока на архитектуре LM317T и BC547 .....	43
Заключение.....	48

## Введение

В современных реалиях мы можем наблюдать стремительное развитие информационных технологий, в связи с чем возникает постоянная потребность в совершенствовании систем безопасности и управления доступом. Электронные замки, представляющие собой один из ключевых элементов таких систем, становятся объектом внимания для инженеров и разработчиков, стремящихся обеспечить более удобное и безопасное управление доступом к различным объектам.

С учетом тенденции непрекращающегося роста популярности мобильных устройств и расширения возможностей беспроводных технологий, в частности Bluetooth, возникает необходимость в модернизации существующих электронных замков для адаптации их под современные требования рынка. В этом контексте актуальным становится исследование и разработка эффективных методов интеграции Bluetooth-интерфейса в электронные замки с целью улучшения их функциональности и удобства использования.

Цель данной работы заключается в проведение комплексного анализа лабораторного образца, разработке и тестировании модернизированного электронного замка с Bluetooth-управлением.

Для разработки данной системы были использованы следующие исходные данные:

- 1) Анализ рынка умных замков с Bluetooth управлением и их функциональных возможностей;
- 2) Анализ лабораторного образца электронного замка с Bluetooth-управлением

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 Проблема исследования**

Многие из нас попадали в ситуацию, когда подходишь к входной двери квартиры или воротам гаража, начинаешь искать ключи, обыскиваешь карманы куртки, переворачиваешь сумку, но ключей нет и вот тут возникает вопросы куда же они подевались, где их теперь искать, а самое главное, как теперь попасть в собственную квартиру или гараж.

В этой ситуации необходимо иметь возможность доступа в помещение без традиционного физического ключа, электронный замок с Bluetooth управлением может предложить решение для похожих случаев. Вместо того чтобы терять время на поиск ключей, которые могли быть забыты или потеряны, будет возможность использовать свой смартфон в качестве ключа. Достаточно просто подойти к двери квартиры или воротам гаража, подключиться через Bluetooth к замку, ввести пароль и замок автоматически разблокирует вам доступ в помещение

Таким образом, мы избавляемся от необходимости носить с собой физические ключи и от возможности их потери или забывания, обеспечивая более удобный и безопасный доступ к жилью или гаражу.

### **1.2 Исследование аналогов и их технических спецификаций.**

Повышение сохранности нашего помещения можно назвать одной из ключевых задач умных дверных замков, высокий уровень безопасности, простота и комфорт в удобстве использования позволяет современным моделям становится всё популярней. Особую известность среди них получили замки с управлением по Bluetooth, благодаря которому можно управлять умным замком с помощью смартфона.

Рассмотрим лучшие, согласно информации из электронного ресурса [1], умные дверные замки.

AQARA Door lock N100 ZNMS16LM – это умный замок с сенсорной системой (рисунок 1), его можно открыть с помощью отпечатка пальца, через приложение, паролем, картой NFC или аварийным физическим ключом. При пяти неудачных попытках разблокировки дверного замка, устройство активирует звуковой сигнал тревоги, отправит уведомление через мобильное приложение и автоматически заблокирует механизм запираения. Он совместим с приложениями Aqara Home (Android) и Apple HomeKit (iOS). Кроме того, им можно управлять с помощью голосовых помощников Google Assistant, Siri и Amazon Alexa.



Рисунок 1 – AQARA Door lock N100 ZNMS16LM

Xiaomi Smart Lock E – это компактный электронный замок (рисунок 2), разработанный для управления доступом к дому через мобильное приложение, поддерживает шесть способов взаимодействия: отпечаток пальца, пароль, временный пароль, Bluetooth, Apple HomeKit и аварийный механический ключ. Модуль отпечатка пальца встроен непосредственно в ручку замка, что обеспечивает удобный и быстрый способ разблокировки при естественном хвате за ручку. Дополнительно предусмотрен цифровой блок для ввода пароля, расположенный чуть ниже. Также имеется кнопка электронного звонка для удобного оповещения. Xiaomi Smart Door Lock E интегрируется в экосистему умного дома Xiaomi MiHome и Apple HomeKit, позволяя использовать его в различных системах управления.



Рисунок 2 – Xiaomi Smart Lock E

Врезной замок Samsung SHP-P50 (рисунок 3) предлагает стильный дизайн и высокое качество изготовления, характерные для продукции корейского производителя. Он обеспечивает различные способы открытия, такие как отпечаток пальца, пароль, смарт-карту или механический ключ, кроме того, имеется возможность удаленного подключения через Wi-Fi и мобильное приложение, присутствуют звуковая сигнализация при попытке взлома и датчик обнаружения возгорания. Замок обладает функцией двойной аутентификации, защищает пароль от взлома, а также предоставляет автоматическую и ночную блокировки для повышения безопасности. Когда элементы питания замка начнут садиться, то устройство предупредит о необходимости их замены. Также предусмотрена возможность аварийного питания через вход USB Type-C в случае полного разряда батарей.



Рисунок 3 – Samsung SHP-P50



Рассмотренные аналоги электронных замков с Bluetooth управлением как мы убедились предоставляют широкий спектр функций для управления доступом и обеспечивают высокий уровень безопасности. Рынок умных замков постоянно расширяется, так как он реагирует на постоянно меняющиеся технологические тренды и потребности пользователей. В этой молодой отрасли продукты постоянно совершенствуются и развиваются, предлагая новые возможности для удобства пользователей и безопасности их помещений.

### **1.3 Модернизация устройства**

При модернизации умного замка с модулем Bluetooth требуется критерии, для того чтобы продукт в итоге обладал надёжной конструкцией, обеспечивал безопасность помещения и обладал удобным интерфейсом взаимодействия с пользователем. Ключевой критерий, которым мы будем руководствоваться при новых модификациях – это улучшение управления энергопотреблением, а именно внедрение более эффективных методов управления энергопотреблением позволит увеличить срок службы батареи и уменьшит затраты на обслуживание. Выполнить данный критерий нам позволит модификация схемотехнического решения схемы обслуживания аккумуляторной батареи электронного замка.

В процессе модернизации умного замка с модулем Bluetooth важно учитывать технические и эргономические критерии, поскольку это поможет обеспечить высокий уровень надежности

## **2 Конструкторское проектирование устройства**

«Конструкторское проектирование представляет собой процесс создания технического объекта, начиная от формирования технического задания и заканчивая разработкой рабочих чертежей и составлением технических требований к готовому изделию. Этот процесс включает в себя несколько этапов: уточнение технического задания, эскизное конструирование, разработку технического проекта с макетированием и эскизированием, а также создание рабочего проекта. Важными принципами конструкторского проектирования являются унификация и технологичность конструкции, направленные на повышение надежности, качества и эффективности эксплуатации изделия. Методы, используемые в процессе проектирования, включают модификацию, аналогию и объединение, что позволяет адаптировать существующие решения под новые условия или создавать новые конструкции на основе существующих.» [3].

### **2.1 Анализ компонентной базы устройства**

В ходе разработки современного электронного замка с управлением через Bluetooth важно уделять внимание выбору компонентов, составляющих аппаратную часть устройства. Каждый компонент должен обеспечивать надежность, функциональность и простоту интеграции в общую систему. Поэтому для того, чтобы производить модернизацию устройства необходимо изучить его исходное состояние и принципы работы, это позволит нам выявить его сильные и слабые стороны. Начнём с анализа ключевых компонентов, составляющих аппаратную часть замка.

#### **2.1.1 Анализ микроконтроллера**

Подобно тому, как мозг человека управляет всеми процессами в организме, микроконтроллер координирует работу всех компонентов замка, принимая и обрабатывая сигналы, принимая решения и управляя выполнением задачи, в нашем случае мозгом устройства является микроконтроллерная плата Arduino Nano. Arduino Nano — это небольшая полнофункциональная микроконтроллерная отладочная плата, построенная на базе чипа ATmega328P от компании Atmel, предназначена для создания электронных устройств и проектов, которые работают с цифровыми и аналоговыми сигналами. Плата имеет небольшой размер, что делает её удобной для использования в проектах, где важен каждый миллиметр пространства. Программирование микроконтроллера осуществляется в интегрированной среде разработки Arduino IDE, которая предлагает простой и интуитивно понятный интерфейс для написания, компиляции и загрузки программного кода на устройство, данная среда поддерживает популярные языки программирования Си и C++, подключение внешних библиотек к Arduino IDE значительно расширяет возможности работы с проектами, Эти библиотеки облегчают работу с аппаратными компонентами, например LCD дисплей, шаговые моторы, сетевые модули и открывают доступ к управлению и контролю процессов, что делает Arduino отличной платформой для реализации различных инженерных и хоббийных проектов. Технические характеристики Arduino Nano приведены в таблице 1, а на рисунке 4 изображён общий вид микроконтроллерной платы. К сильным сторонам Arduino Nano можем отнести габариты платы, поскольку компактный размер делает её идеальным для проектов, требующих небольшого и портативного микроконтроллера, стоимость в 400 рублей и доступность приобретения делает плату привлекательным вариантом для любителей, студентов и профессионалов, а также Arduino Nano отличается своей простотой использования, за счёт огромного количества справочных материалов по данной плате. Слабыми сторонами платы можно назвать отсутствие встроен-

ных модулей Wi-Fi или Bluetooth и ограниченный объем оперативной памяти может затруднить создание сложных программ. Детальнее с микроконтроллером Arduino Nano можете ознакомиться в источниках [5], [12], [13], [14].

Таблица 1 – Паспортные характеристики платы Arduino Nano

Микроконтроллер	ATmega328
EEPROM, КБ	1
Флеш-память, КБ	32
ОЗУ, КБ	2
Тактовая частота, МГц	16
Габариты платы, мм	42 × 18.5
Масса, г	6
Рабочее напряжение, В	5
Входное напряжение (предельное), В	6-20
Входное напряжение (рекомендуемое), В	7-12
Постоянный ток через вход/выход, мА	40
Цифровые входы/выходы	14
Аналоговые входы	8



Рисунок 4 – Общий план Arduino Nano

В качестве альтернативы Arduino Nano проект может разрабатываться на базе архитектуры следующих микроконтроллеров:

Teensy - семейство микроконтроллеров (рисунок 5) с высокой производительностью и гибкостью, поддерживающее Arduino IDE и предлагающее расширенные возможности ввода-вывода. К преимуществам можно отнести совместимость с Arduino IDE, высокая скорость обработки данных и большое количество GPIO (аббревиатура от General Purpose Input/Output) — это интерфейс, который содержит входы и выходы общего назначения, он позволяет связывать компоненты компьютерной системы, такие как микропроцессоры, с различными периферийными устройствами. Но его минусом является высокая стоимость в 4800 рублей, против 400р. за Arduino Nano;

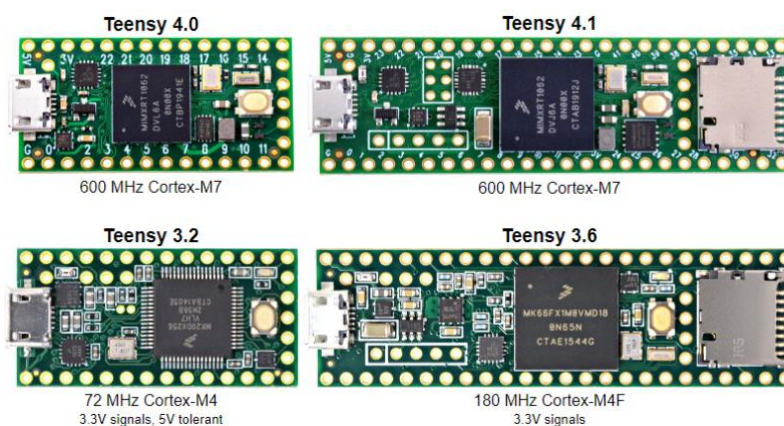


Рисунок 5 – Семейство контроллеров Teensy

– Raspberry Pi Pico – микроконтроллерная плата (рисунок 6) на базе RP2040 оснащённый двухъядерным процессором Arm Cortex-M0 с 264 Кб встроенной оперативной памяти, с гибкой тактовой частотой до 133 МГц (у Arduino Nano 16 МГц), и поддержкой дополнительных периферийных устройств. Его преимуществами считают высокую производительность, большой объём встроенной флэш-памяти в 2 МБ, против 32 КБ у Arduino Nano, а также Raspberry Pi Pico поддерживает язык программирования MicroPython – это версия языка программирования Python, которая создана для работы на

микроконтроллерах. В её состав входят: компилятор и среда выполнения, которые запускаются прямо на микроконтроллере; интерактивная консоль для запуска программ. MicroPython содержит модули, которые позволяют разработчикам использовать низкоуровневые возможности микроконтроллеров, например, взаимодействовать с аппаратными устройствами и периферией. Благодаря этому MicroPython является эффективным инструментом для создания встраиваемых систем и IoT-устройств, подробнее ознакомиться с данным языком программирования можете в источнике [26]. Однако это преимущество может стать и недостатком, поскольку в сравнении с Arduino Nano, у Raspberry Pi Pico более сложный процесс программирования. Также к минусам этой микроконтроллерной платы можно отнести её размеры 51 мм × 21 мм. Для более подробной информации можете обратиться к источникам [27], [28];



Рисунок 6 – Общий вид Raspberry Pi Pico

– ESP32 – китайский микроконтроллер (рисунок 7), разработанный компанией Espressif Systems, использует 32-битный процессор RISC (сокращенный набор команд) на базе ядра Tensilica Xtensa LX6, работающий на частоте до 240 МГц, плата обладает интегрированным Wi-Fi модулем, который позволяет обойтись без внешнего Bluetooth-модуля и имеет возможность подключения к интернету. Однако к его минусам стоит отнести сложность в программировании, т.к. потребуются использование специализи-

рованных сред разработки (например, STM32CubeIDE, за подробностями обратитесь к источнику [29]) и настройке (потребуется дополнительно установить ядро, драйвер, настроить плату), а также более высокое энергопотребление (300 мА при запуске и передаче данных, 35 мА во время работы, 80 мА в режиме точки доступа), для подробностей можете обратиться к источникам [11], [22], [23].



Рисунок 7– Изображение модуля ESP32

Сведём данные по аналогам в единую таблицу 2.

Таблица 2 – Сравнение микроконтроллеров

Параметр	Arduino Nano	Teensy	Raspberry Pi Pico	ESP32
Процессор	ATmega328P	ARM Cortex-M7	RP2040	Tensilica Xtensa LX6
Тактовая частота, МГц	16	600	133	240
ОЗУ, КБ	2	512	264	520
Флеш-память, КБ	32	2048	2048	4096
Входное напряжение, В	7-12	5	3.3	3.3
GPIO, кол-во	14	34	26	34
Цена, руб	400	4800	700	800
Плюсы	Доступность, низкая цена, простота использования	Высокая производительность, совместимость с Arduino IDE	Высокая производительность, поддержка MicroPython	Высокая производительность, встроенные Wi-Fi и Bluetooth модули
Минусы	Отсутствие встроенного Wi-Fi и Bluetooth модулей, малый объём ОЗУ	Высокая цена, сложность интеграции	Крупные габариты, сложность программирования	Высокое потребление энергии, сложность в настройке

Подытожим, среди исследованных микроконтроллеров Arduino Nano, Raspberry Pi Pico и ESP32 каждый имеет свои сильные стороны. Arduino Nano отличается простотой использования и большой поддержкой со стороны сообщества. Raspberry Pi Pico выделяется благодаря двухъядерному процессору и низкой цене, а ESP32 предлагает встроенные возможности Wi-Fi и Bluetooth, что делает его отличным выбором для беспроводных приложений., но необходимо учитывать, что смена микроконтроллера будет влечь за собой обновление программного обеспечения устройства, а также изменение настроек электрокаспадов.

### **2.1.2 Анализ Bluetooth-модуля**

Следующим ключевым компонентом умного замка является Bluetooth-модуль HC-04, его можно сравнить с нервной системой. Как нервы передают сигналы между мозгом и различными частями тела, так и модуль Bluetooth обеспечивает беспроводную связь между замком и мобильным устройством, передавая команды и данные. HC-04 – это популярный Bluetooth-модуль (рисунок 8), поддерживающий режимы Master и Slave, поддерживает версии Bluetooth начиная с 2.0, на открытом пространстве способен обеспечивать связь до 30 метров. Для подключения к Arduino используются интерфейсы UART (RX, TX) и линии питания (Vcc, GND). Перед началом работы с модулем его необходимо сконфигурировать, выбрав режим, а также установив уникальное имя и пароль, режим конфигурируется через компьютер с помощью специализированного программного обеспечения. Bluetooth-модуль HC-04 на фоне аналогов выделяется своей простотой использования, поскольку его легко подключить к микроконтроллеру или другому устройству через интерфейс UART, а его цена в 230 рублей делает его вполне бюджетным вариантом. Технические характеристики модуля HC-04 приведены в таблице 3.



Таблица 3 – Технические характеристики модуля HC-04

Чип	BC417143B компании CSR
Версия Bluetooth	2.0 и выше
Напряжение питания постоянные, В	3.6-6
Ток потребления, мА	20 - 60
Рабочая частота, ГГц	2.4 - 2.48
Мощность передатчика, дБм	3

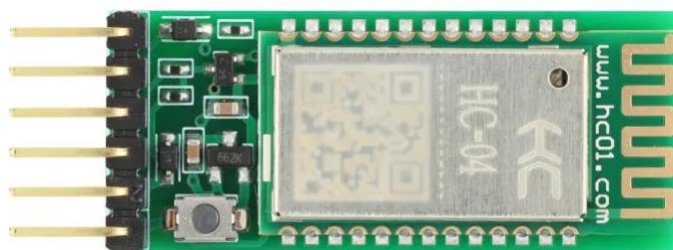


Рисунок 8 – Bluetooth модуль HC-04

Рассмотрим альтернативные варианты Bluetooth модулей, которые можно использовать для обмена информацией:

- HC-05 – широко используемый и универсальный модуль беспроводной связи, который обеспечивает подключение по Bluetooth 2.0 и 4.0, он способен обеспечивать беспроводную связь на расстоянии до 10 метров, однако в помещениях дальность может быть немного меньше, используется для обмена данными с микроконтроллерами Arduino;

- HC-06 – более упрощенная версия, совместимая с протоколами Bluetooth версии 2.0 и 4.0. Обладает меньшим количеством функциональных возможностей по сравнению с HC-05, более детальное сравнение представлено в источнике [9];

- HM-10 – модуль поддерживающий стандарт Bluetooth 4.0 из достоинств обладает низким энергопотреблением, хороший выбор для проектов, работающих от АКБ или иных автономных источников питания;

– BLE Nano – это компактный модуль с поддержкой Bluetooth Low Energy (BLE), который обеспечивает беспроводную связь для различных проектов, обладает компактными габаритами 26 мм x 18 мм.

Сведём данные по аналогам в единую таблицу 4 для более наглядного анализа.

Таблица 4 – Сравнение Bluetooth-модулей

Параметр	НС-04	НС-05	НС-06	НМ-10	BLE Nano
Версия Bluetooth	2.0	2.0	2.0	4.0	4.0
Диапазон, м	30	10	10	100	50
Ток потребления, мА	40	50	35	8	15
Поддержка мастер/слейв режимов	+	+	-	+	+
Совместимость с AT-командами	-	+	+	+	+
Цена, руб	120	150	140	300	600
Плюсы	Низкая цена, простота использования	Поддержка мастер/слейв, совместимость с AT-командами	Низкая цена, простота использования	Низкое энергопотребление	Высокая производительность, поддержка BLE
Минусы	Ограниченные возможности, отсутствие поддержки AT-команд	Высокое энергопотребление, ограниченный диапазон	Ограниченные возможности, отсутствие поддержки мастер режима	Более высокая цена	Высокая цена, сложность интеграции

Итак, анализ модулей НС-04, НС-05, НС-06, НМ-10 и BLE Nano показал, что они имеют различные возможности и применяются в разных ситуациях. НС-05 и НС-06 отличаются стабильностью и надёжностью соединения, но имеют ограниченные возможности по сравнению с BLE Nano, который поддерживает современные стандарты Bluetooth Low Energy, обеспечивая низкое энергопотребление и высокую скорость передачи данных. Модуль НМ-10 также поддерживает BLE, предлагая хорошую совместимость и гибкость в использовании.

### 2.1.3 Анализ механического замка

Следующим важным компонентом является нашего устройства является сам механический замок, его можно сравнить со скелетом человека, как кости защищают внутренние органы от повреждений, так и замок Falcon Eye обеспечивает физическую безопасность помещения, защищая его от злоумышленников. Falcon Eye FE-2369i – это накладной электромеханический замок (рисунок 9), который обладает высокой надежностью и функциональностью. Может быть открыт с использованием физического ключа или при подаче кратковременного электрического импульса. Характеристики этой модели расположены в таблице 5. Детальнее с моделью можете ознакомиться в источнике [24].

Таблица 5 – Параметры электромеханического замка FE2369i

Сила удержания, кг	500
Тип	Электромеханический
Материал	Нержавеющая сталь
Рабочее напряжение, В	9-12
Потребляемый ток, А	3-4
Время подачи отпирающего сигнала	Не более 3 сек.
Размеры, мм	127 x 105 x 40
Рабочая температура, °С	От -40 до +50



Рисунок 9 – Электромеханический замок Falcon Eye FE-2369i

## 2.1.4 Анализ питающего элемента

Рассмотрим компонент, без которого система не сможет работать в автономном режиме, а именно аккумуляторную батарею или сокращённо АКБ. Аккумулятор можно сравнить с сердцем человека. Как сердце обеспечивает циркуляцию крови и питание всех органов и тканей, так и аккумулятор питает все компоненты замка, обеспечивая их работу. В нашем прототипе используется аккумуляторная батарея свинцового-кислотного типа GS1.3-6 (рисунок 10), данный аккумулятор обеспечивает надежное и стабильное питание устройства, позволяя ему работать автономно в течение длительного времени. Основные технические характеристики модуля АКБ приведены в таблице 6, детальные характеристики приведены в источнике [8].

Таблица 6 – Основные технические параметры GS1.3-6

Номинальная емкость, А*ч	1.3
Напряжение, В	6
Размер, мм	97x24x57
Серия	GS
Технология	agm
Масса, г	279
Оптимальная рабочая температура, °С	25
Максимальный ток заряда, А	0,39



Рисунок 10 – Свинцовый АКБ GS1.3-6

Рассмотрим в целом наиболее популярные типы АКБ. Начнём со свинцовых аккумуляторов.

Свинцово-кислотные аккумуляторы остаются популярными благодаря их низкой стоимости и высокой емкости. Свинцово-кислотные аккумуляторы используются в автомобилях, резервных системах питания и других приложениях, где важна надежность. Однако они имеют ограниченный срок службы (около 200 циклов зарядки), большой вес и требуют длительного времени для зарядки. Кроме того, они могут выделять вредные газы и требуют регулярного технического обслуживания.

Литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы являются одними из наиболее популярных типов аккумуляторов благодаря их высокой плотности энергии и малому весу. Они широко используются в портативных устройствах, таких как мобильные телефоны, ноутбуки и электроинструменты. Основные преимущества Li-ion аккумуляторов включают высокую емкость, короткое время зарядки и отсутствие эффекта памяти. Однако они имеют ограниченный срок службы (около 500 циклов зарядки), требуют защиты от перегрева и перезарядки, а также являются относительно дорогими.

Никель-металл-гидридные (NiMH) аккумуляторы часто используются в бытовой электронике и являются улучшенной версией никель-кадмиевых (NiCd) аккумуляторов. Они обладают высокой емкостью и длительным сроком службы, достигающим до 1000 циклов зарядки. NiMH аккумуляторы не подвержены эффекту памяти и являются более экологически чистыми по сравнению с NiCd. Однако они имеют низкое номинальное напряжение (1.2 В), относительно долгое время зарядки и более высокую стоимость по сравнению с NiCd аккумуляторами.

Литий-железо-фосфатные (LiFePO<sub>4</sub>) аккумуляторы характеризуются высокой безопасностью и долгим сроком службы. Они обладают стабильной химией, что делает их менее подверженными перегреву и возгоранию. Данные аккумуляторы могут выдерживать до 2000 циклов зарядки, имеют высокую токоотдачу и быстро заряжаются. Однако их стоимость выше по

сравнению с традиционными Li-ion аккумуляторами.

Суперконденсаторы, также известные как ультраконденсаторы, используются в приложениях, где требуется быстрое накопление и отдача энергии. Они имеют очень долгий срок службы (до 100000 циклов зарядки) и могут заряжаться за считанные секунды. Основные недостатки суперконденсаторов включают низкую емкость и высокую стоимость. Они чаще всего применяются в комбинации с другими аккумуляторами для улучшения характеристик систем энергосбережения.

Что мы имеем, то, что анализ различных типов аккумуляторов (Li-ion, NiMH, LiFePO<sub>4</sub>, суперконденсаторы и свинцовые аккумуляторы) показал, что каждый из них имеет свои преимущества и недостатки в зависимости от требований к емкости, времени заряда, стоимости и надежности. Свинцовые аккумуляторы, например, предлагают высокую надежность и низкую стоимость, но имеют большой вес и объем. Li-ion аккумуляторы обладают высокой энергоемкостью и малым весом, но требуют тщательного контроля заряда и разряда.

Мы провели анализ всех ключевых компонентов электронного замка. Рассмотрение различных типов микроконтроллеров, модулей связи и аккумуляторов показало, что каждый из компонентов имеет свои уникальные особенности, преимущества и недостатки, этот анализ дал понять, что в текущем лабораторном образце используются оптимальные компоненты, учитывая специфику их применения и требования к функциональности и надежности устройства.

## **2.2 Схемотехническое устройство электронного замка**

Рассмотрев и изучив ключевые компоненты аппаратной части замка, перейдём к изучению схемотехнической составляющей электронного замка.

## 2.2.1 Схема зарядного устройства на базе двух LM317T

Поскольку в функционале нашего устройства заложена функция автономного питания от свинцового АКБ, то логично, что нам необходимо разработать схему зарядного устройства батареи, с обеспечением необходимого напряжения подзаряда АКБ (при средней температуре окружающей среды 25°C напряжение подзаряда GS1.3-6 составляет 6,4 В)

Схема зарядного блока выполняет задачу контроля напряжения заряда аккумуляторной батареи и автоматического снижения силы тока зарядки до нуля при достижении заданного уровня напряжения в 6,4 вольта, предотвращая тем самым перезарядку аккумулятора, что продлевает его срок службы.

Изучим используемый вариант зарядного устройств на базе двух LM317T, схема которого приведена на рисунке 11.

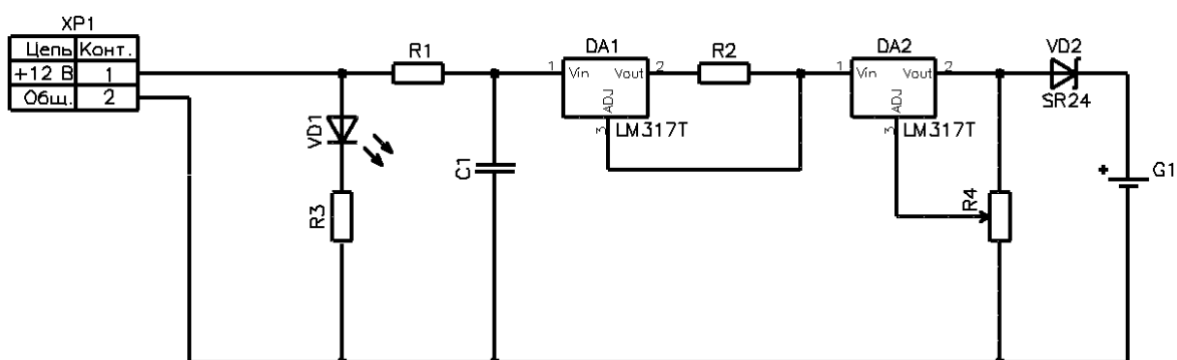


Рисунок 11 – Схема зарядного блока с использованием двух LM317T

Сначала рассмотрим состав схемы:

- G1 – это свинцовая аккумуляторная батарея GS1.3-6;
- Разъём XP1 – является входным разъёмом для подключения источника питания постоянного тока. Мы используем зарядное блок питания для подключения в электросеть 220 В, на выходе которого снимаем 12 В;

- R1, R3 – являются резисторами;
- R4 – фактически является делителем напряжения;
- C1 – конденсатор сглаживающий;
- DA1, DA2 (LM317T) – это регулируемый стабилизатор напряжения с возможностью ограничения тока, широко используется в схемах зарядных устройств для аккумуляторов. Данный элемент электроники обладает такими сильными сторонами как высокий коэффициент подавления помех на входе, наличие защиты от перегрева, надёжность и простота. Данные факты позволяют использовать LM317T в самых разнообразных проектах, для более глубоко ознакомления данного элемента, можете обратиться к источнику [25];

- VD2 (SR24) – является диодом Шоттки, когда он включён в прямом смещении (т.е. на него подаётся прямое напряжение), то в этом режиме электроны могут легко переходить через барьерный слой с металлической стороны на сторону полупроводника P-типа, создавая ток, направленный от металлического контакта к полупроводнику P-типа. При отсутствии напряжения питания, предохраняет аккумулятор от саморазряда. Описание работы данного диода можно найти в источнике [20].

Основные характеристики регулируемого стабилизатора напряжения LM317T приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Основные характеристики LM317T

Выходное напряжение, В	1,2...37
Максимальный ток нагрузки, А	1,5
Максимальное входное напряжение, В	40
Корпус	to-220sg
Тип выхода	регулируемый
Диапазон рабочей температуры, °С	0...+125



В таблице 8 указаны основные технические параметры диода Шотки SR24.

Таблица 8 – Технические характеристики диода SR24

Макс. постоянное обратное напряжение диода, В	40
Макс. переменное обратное напряжение диода, В	28
Макс. средний прямой ток за период,	2
Постоянное прямое напряжения диода, при 1А, В	0,5
Постоянный обратный ток диода, при 25°С, мА	0,5
Корпус	SMA / DO-214AC
Диапазон рабочей температуры, °С	от -55 до +150

Рассмотрим принцип работы данной схемы. Мы можем разбить данную схему на два каскада 1ый «каскад ограничения по силе тока» и 2ой «каскад ограничения по напряжению»

Рассмотрим первый каскад ограничения по току, изображённый на рисунке 12.

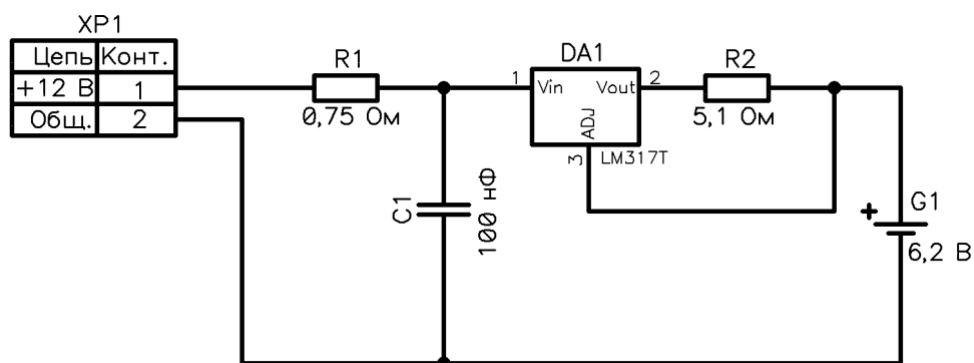


Рисунок 12 – Каскад ограничения по силе тока

Каскад функционирует на базе LM317T в режиме стабилизатора тока с обратной связью R2. Силу тока на выходе стабилизатора  $I_{\text{ВЫХ}}$  можем рассчитать по формуле (1):

$$I_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_2}, \quad (1)$$

где  $R_2$  – сопротивление токоограничивающего резистора, Ом;

$U_{\text{ВЫХ}}$  – выходное напряжение, В.

Преобразуем формулу (1) для нахождения сопротивления  $R_2$  и получим:

$$R_2 = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВЫХ}}}, \quad (2)$$

В 0,2 ампера возьмём значение выходного тока, поскольку данное значение удовлетворяет условию, что данная величина меньше значения максимального тока зарядки аккумулятора 0,39 ампера. Мы знаем, что на LM317T падает 1,25 В поскольку это напряжение, которое должно упасть на  $R_2$ , чтобы начала действовать обратная связь. Поэтому теперь, мы можем рассчитать резистор  $R_2$  по формуле (2):

$$R_2 = \frac{1,25 \text{ В}}{0,2 \text{ А}} = 6,25 \text{ Ом}. \quad (3)$$

Поскольку в реальности мы не найдём резистор с номиналом в 6 Ом, нам следует подобрать подходящее значение реального резистора, таковым является номинал в 5,1 Ом. Теперь рассчитаем силу тока при заданном сопротивлении токоограничивающего резистора по формуле (1):

$$I_{\text{ВЫХ}} = \frac{1,25 \text{ В}}{5,1 \text{ Ом}} = 0,245 \text{ А} = 245 \text{ мА}. \quad (4)$$

Представим, что микросхема LM317T это умный силовой транзистор, который сравнивает разность потенциалов между своими выходами ADJustable (-) и Voutput (+), поэтому если напряжение на  $R_2$  меньше 1,25В, то и на выходах оно будет меньше, то транзистор условно говоря будет открыт, т.е. как будто ни на что не реагирует. Но как только ток начинает расти и становится более 0,245 А, транзистор моментально начинает закрываться,

тем самым, не давая току вырасти более.

Для проверки режима, проведём цифровое моделирование каскада в программе «Tina-Ti – это бесплатное программное обеспечение, разработанное компанией Texas Instruments, предназначенное для проектирования, моделирования и анализа электрических и электронных систем» [30]. Tina-Ti позволяет спроектировать схему и увидеть результат моделирования схемы в анализе постоянного тока, анализе переменного тока, переходном процессе и многих других видах анализа. Оно основано на SPICE, стандартном программном обеспечении для моделирования электронных схем. Детальнее про spice модели изложено в источнике [4]. Является базовым инструментом для инженеров-электронщиков, обладает ограничением в количестве узлов, а именно 20 штук, а также ограниченной библиотекой электронных компонентов Texas Instruments.

Для создания цифровой макета каскада, необходимо скачать и установить SPICE-модель (мат.модель) LM317T, для этого мы воспользовались источником [25]. Затем мы собрали цифровую модель схемы, результат на рисунке 13.

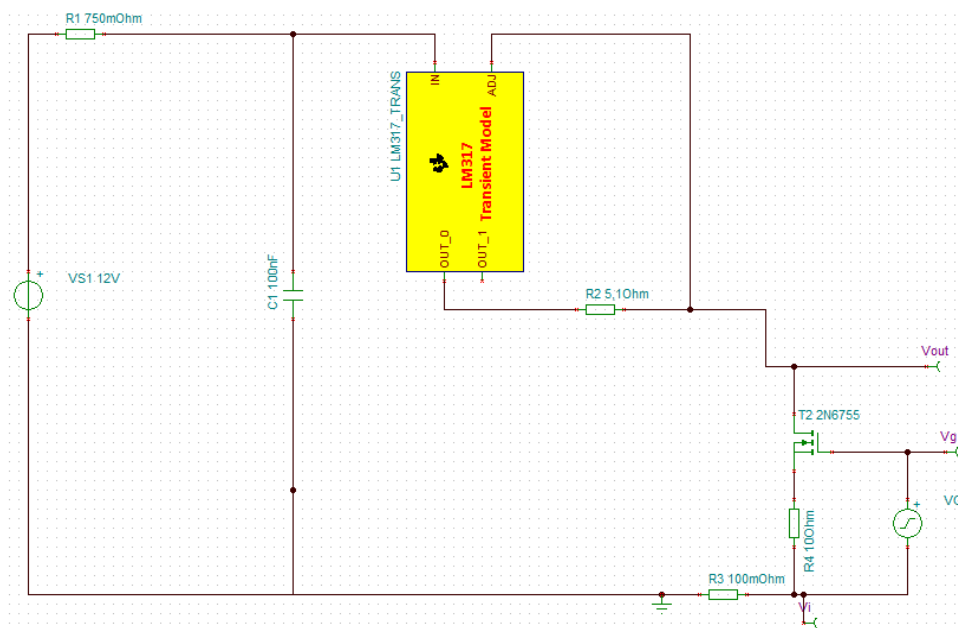


Рисунок 13 – Цифровая модель каскада ограничения силы тока на нагрузке

Далее при помощи встроенного инструмента Tina-Ti мы провели анализ переходных процессов и при помощи функции «постпроцессор» получили вольт-амперную характеристику каскада (рисунок 14).



Рисунок 14 – ВАХ каскада ограничения по силе тока

Мы убедились, что каскад действительно ограничивает силу тока на 245 мА.

Необходимость каскада ограничения тока обуславливается тем, что согласно техническим характеристикам АКБ GS1.3-6, его максимальный ток зарядки 390 мА, но без ограничения мы просто превысим этот параметр, это может привести к сокращению ёмкости АКБ, а в худшем случае перегреву и взрыву аккумулятора.

По рисунку 14 мы можем наблюдать, что напряжение находится в диапазоне 10~11,5 В, что выше номинального напряжения аккумулятора в 6 В, практически в два раза, это обуславливает необходимость использования каскада ограничения напряжения на аккумуляторе (рисунок 15).

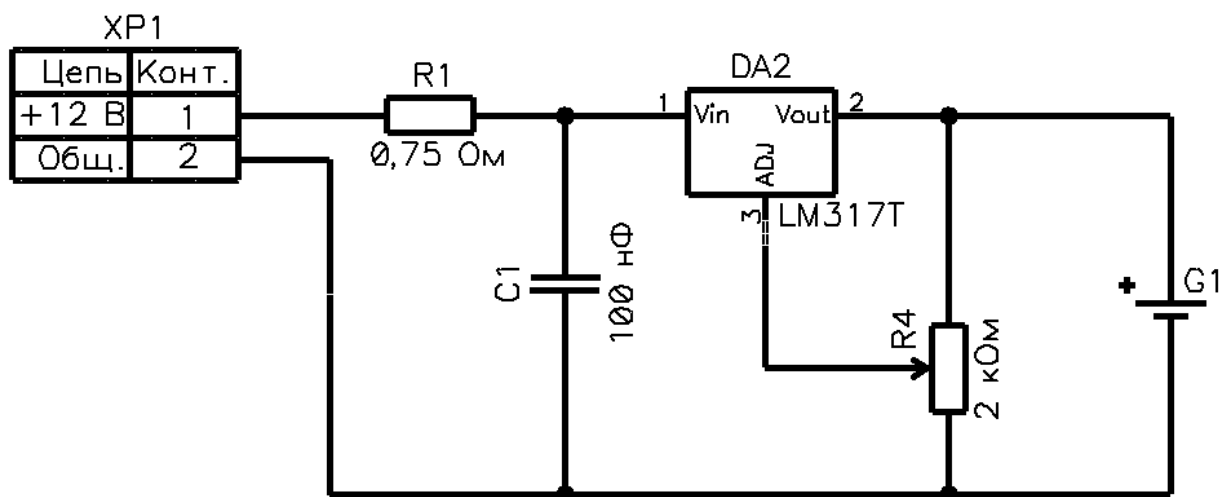


Рисунок 15 – Каскад ограничения напряжения на АКБ

В отличие от первого каскада, выход «ADJ» микросхемы LM317T подключён не на последовательное сопротивление, а на параллельный резистор R4, который по сути является делителем напряжения и состоит из двух резисторов: R<sub>5</sub> и R<sub>6</sub> (рисунок 16).

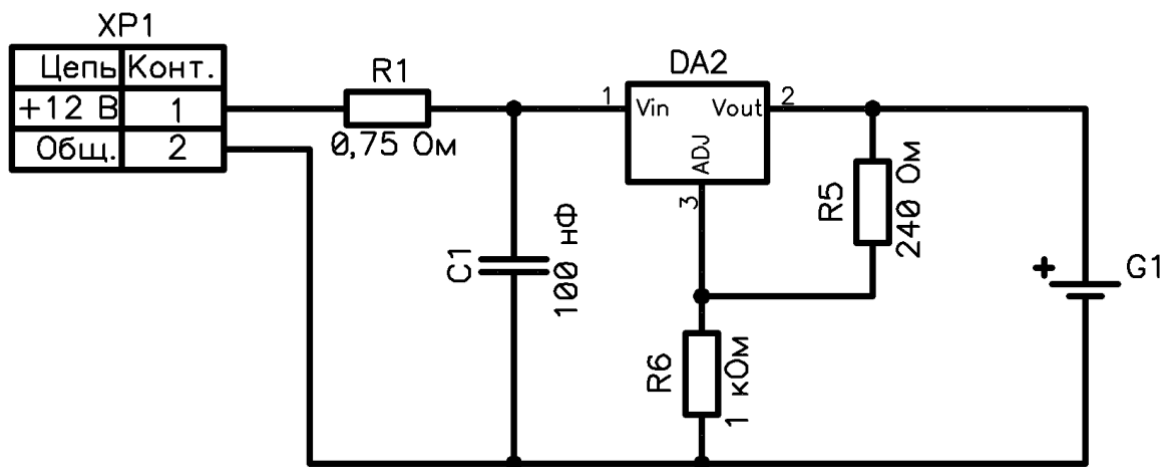


Рисунок 16 – Изображение каскада с стабилизатором напряжения

R<sub>5</sub> подключён между выходом (V<sub>out</sub>) и регулировочным выводом (ADJ), R<sub>6</sub> подключён между регулировочным выводом и землёй. Данные резисторы задают выходное напряжение с вывода V<sub>out</sub> микросхемы. LM317T имеет встроенное опорное напряжение V<sub>adj</sub>, которое примерно равно 1,25 В, оно генерируется внутри чипа и поддерживается крайне точно. Согласно справоч-

чными материалам [25], для расчёта выходного напряжения следует пользоваться формулой (5):

$$V_{out} = V_{adj} * \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) + I_{adj} * R_6, \quad (5)$$

где  $V_{out}$  – выходное напряжение, В;

$V_{adj}$  – опорное напряжение, В;

$R_5$  – сопротивление резистора, Ом;

$R_6$  – сопротивление резистора, Ом;

$I_{adj}$  – ток, вытекающий из пина подстройки ADJ.

$I_{adj}$  – это паразитный ток, вытекающий из вывода «adjustable» микросхемы LM317T, в реальной схеме его значение может достигаться вплоть до 500 мкА, поэтому для того, чтобы обеспечить стабильное выходное напряжение используется делитель напряжения, состоящий из резисторов  $R_5$ ,  $R_6$  и потребуется сила тока на уровне примерно в 5 мА, из этого следует, что сопротивление резистора  $R_5$  не должно превышать 240 Ом. Согласно источнику [25] «Поскольку  $I_{Adj}$  регулируется на уровне менее 100 мкА, погрешность, связанная с этим термином, в большинстве приложений незначительна» значит его мы можем не учитывать при расчёте  $R_6$ , тогда теперь, мы можем найти сопротивление данного резистора, подставим в формулу (5) наши значения:

$$6,4 \text{ В} = 1,25 \text{ В} * \left(1 + \frac{R_6}{240 \text{ Ом}}\right), \quad (6)$$

Проведя ряд математических преобразований, получим:

$$R_6 = \frac{6,40 - 1,25}{0,0052} = 990 \text{ Ом} \approx 1 \text{ кОм}. \quad (7)$$

LM317T управляется напряжением, которое подаётся на  $V_{out}$  и ADJ.  $V_{out}$  подключен к + АКБ, следовательно ADJ должен быть подключен к -, но выход «ADJ» подключен на делитель  $R_4$ , поэтому он фактически подаёт часть выходного напряжения, в зависимости от того, где движок. Если он по середине, то отношение будет 1:2, т.е. половина напряжение от аккумулятора

подаётся на разницу между верхними двумя выходами  $V_{out}$  и ADJ. Но поскольку у нас 6,4 В должно быть на выходе АКБ, то движок сдвинут чуть выше середины, т.к. чтобы второй каскад вошёл в режим регулирования разница потенциалов между  $V_{out}$  и ADJ должна быть также 1,25 В. Если напряжение на АКБ повышается, то соответственно и на R4 оно также повышается, что ведёт к увеличению разницы потенциалов между  $V_{out}$  и ADJ, оно становится более 1,25 В, а это приводит к закрытию микросхемы LM317T, в следствии чего напряжение перестает увеличиваться.

Проведём цифровое моделирование второго каскада, аналогично первому, результат на рисунке 17.

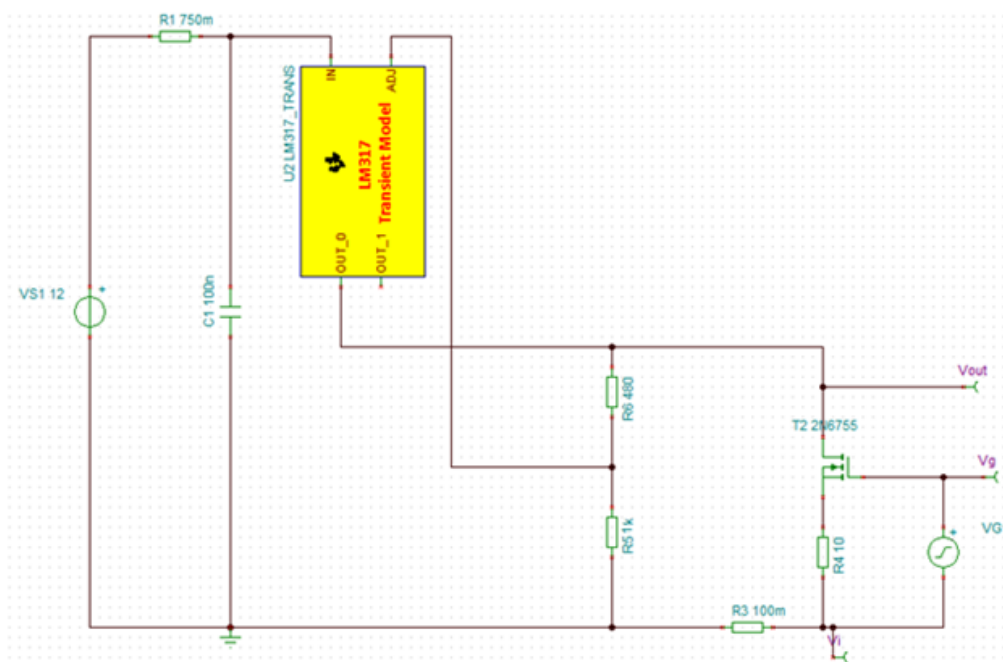


Рисунок 17 – Цифровая модель каскада ограничения напряжения на нагрузке

Затем по аналогии с первым снятием ВАХ при помощи встроенных инструмента Tina-Ti мы провели анализ, при помощи функции «постпроцессор» получили ВАХ второго каскада (рисунок 18).

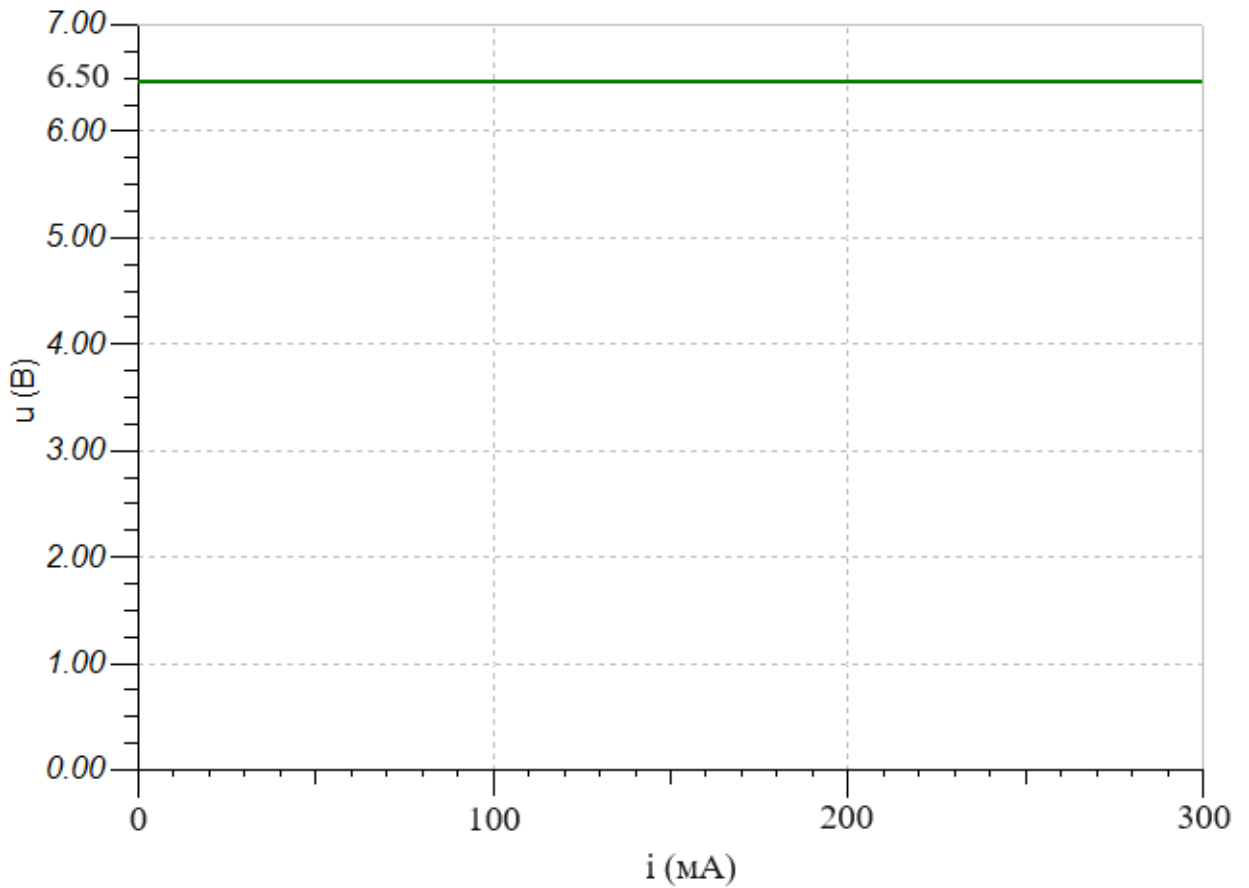


Рисунок 18 – ВАХ каскада ограничения по напряжению

Мы убедились, что каскад ограничивает напряжение на 6,4 вольтах.

Удостоверившись в работоспособности цифровых моделей каскадов, проведём моделирование всей схемы зарядного блока целиком (рисунок 19).

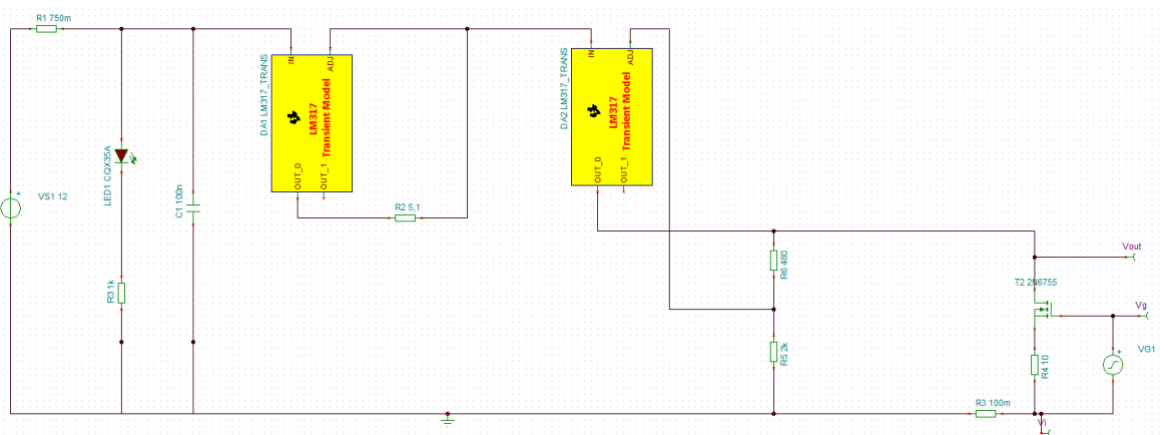


Рисунок 19 – Схема зарядного блока с использованием двух LM317T



Аналогично снимем ВАХ всей схемы, результат анализа Tina-Ti представлен на рисунке 20.

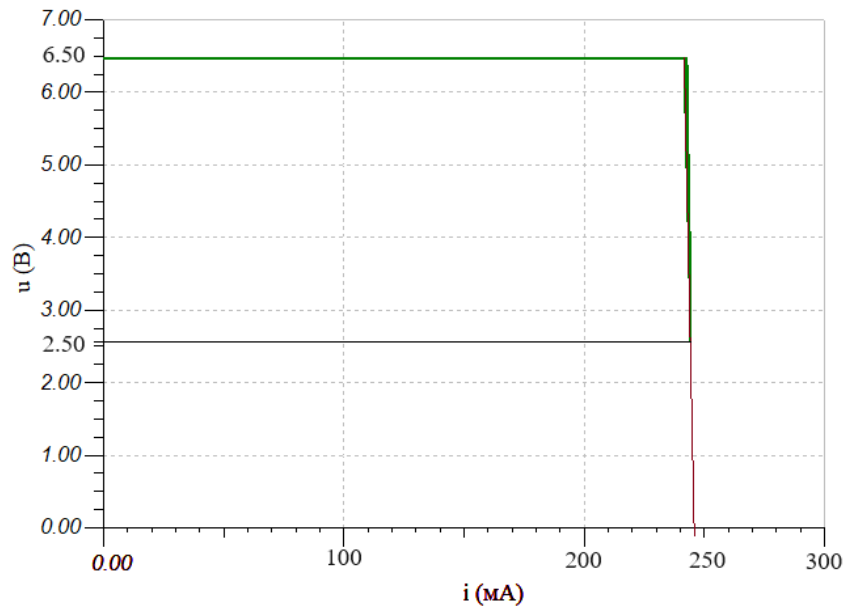


Рисунок 20 – ВАХ схемы зарядного блока на архитектуре двух LM317T

Каскад ограничения по току в схеме стоит первым, поскольку задание постоянного тока является наиболее интенсивным процессом в схеме, поскольку в этот момент мы сообщаем наибольший ток  $I_{\max}$ , соответственно и наибольший заряд  $q_{\max}$  будет накапливаться в аккумуляторе в этот момент  $\Delta t$ , согласно формуле (8):

$$I = \frac{q}{\Delta t}, \quad (8)$$

На рисунке 21 изображена временная диаграмма зарядки аккумуляторной батареи, область I – это основной период зарядки АКБ, при максимально ограниченном токе 245 мА, в этот аккумулятор заряжается быстрее всего, III – это период дозарядки батареи, более растянут по времени, и сам процесс за счёт этого менее интенсивен.  $S_1$ ,  $S_2$  – это заряд, который сообщили в аккумулятор за равный промежуток времени  $\Delta t$ , мы видим визуально, что в основной период зарядки, заряд переданный в АКБ больше, чем сообщённый в периоде дозарядки ( $S_1 > S_2$ ).

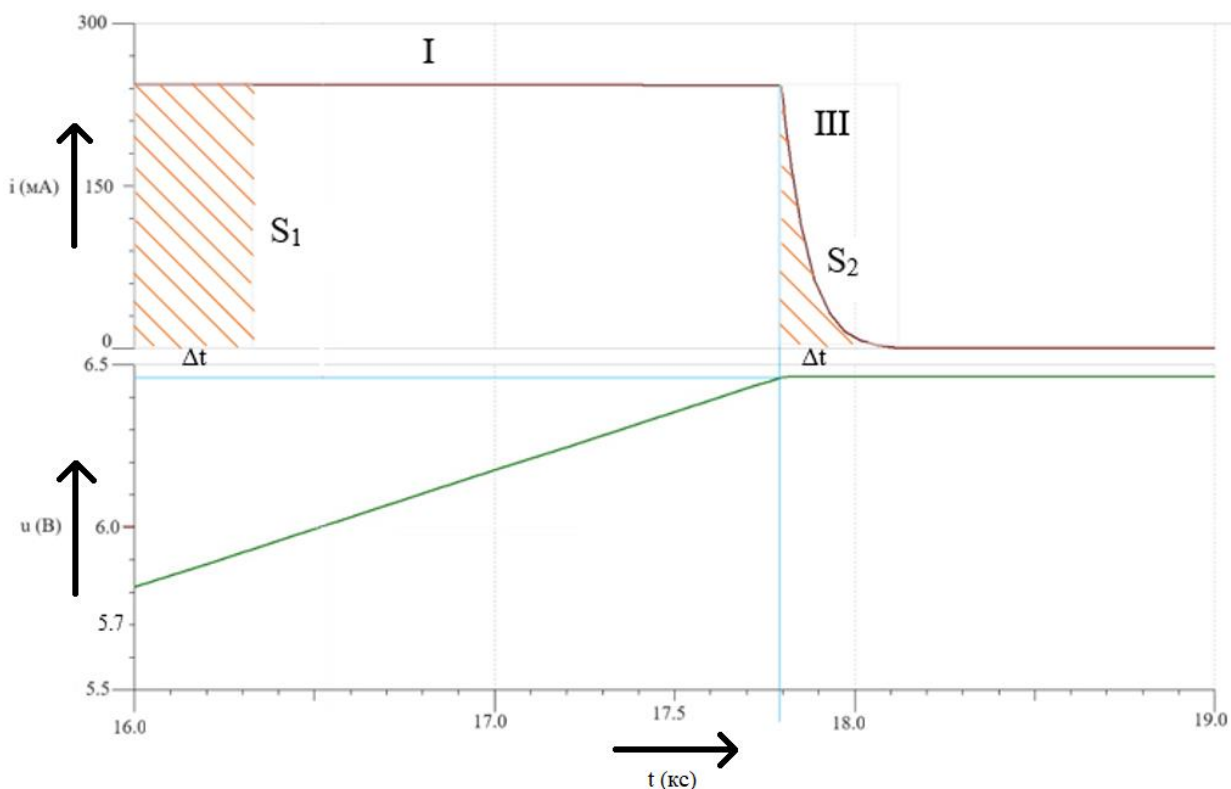


Рисунок 21 – Временная характеристика заряда АКБ

Исследуем цикл работы зарядной схемы по рисунку 22 где представлен график ВАХ схемы заряда АКБ. Начнём с I этапа, когда аккумулятор разряжен, его напряжение составляет 5,7 вольт, при включении зарядной схемы ток на аккумуляторе начинает расти от нуля и упирается в наше ограничение 245 мА. II этап – процесс зарядки АКБ, в аккумулятор заканчивается заряд, его разность потенциалов между катодом и анодом постепенно увеличивается. III этап – процесс дозарядки, когда ток постепенно уменьшается от 245 мА до нуля, а напряжение аккумулятора ещё немного повышается, вплоть до заданного в 6,4 вольт.

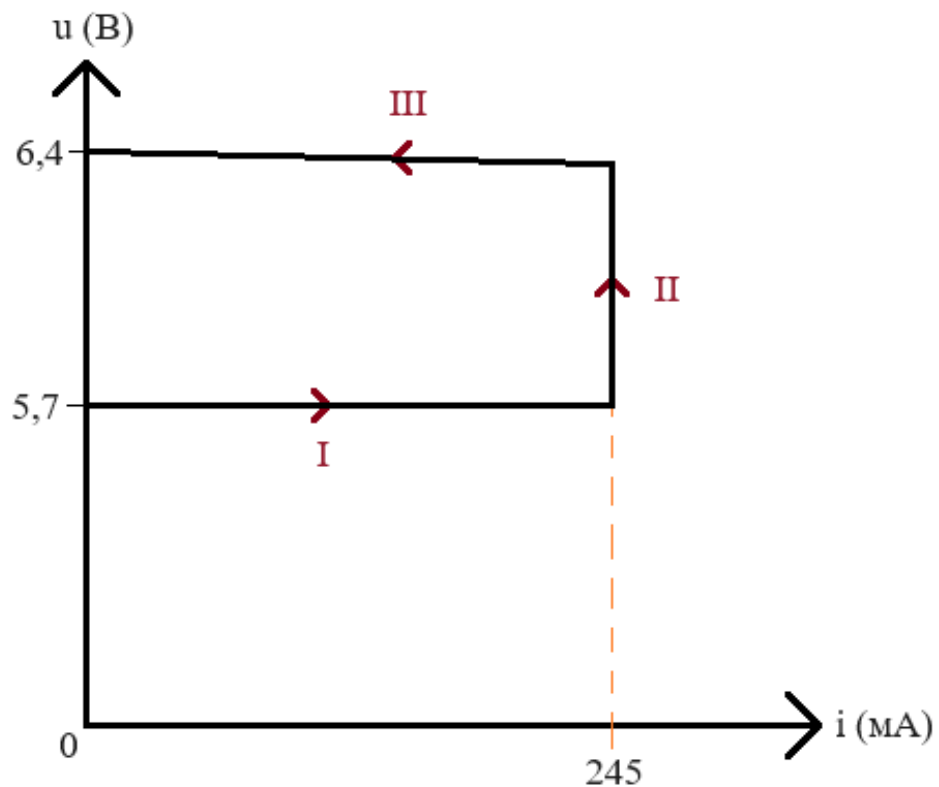


Рисунок 22 – Траектория рабочей точки при заряде АКБ с 5,7 до 6,4 В

Мы изучили назначение схемы зарядного блока, разобрались в принципах работы каскада, на архитектуре двух микросхем LM317T. Но нам необходимо отслеживать напряжение на аккумуляторе, чтобы не допустить его глубокой разрядки, следствием которой может стать процесс сульфатации, приводящий к снижению ёмкости аккумулятора, подробнее изучить данный процесс вы можете в справочном материале [10] Поэтому изучим следующую схему, контролирующую разность потенциалов на контактах АКБ.

### 2.2.2 Схема контроля напряжения на АКБ

Каскад контроля напряжения на свинцовом аккумуляторе, как сказано в названии, предназначен для отслеживания напряжения на батарее, с функцией защиты от глубокого разряда. Рассмотрим текущее схемотехническое устройство каскада, изображённого на рисунке 23.

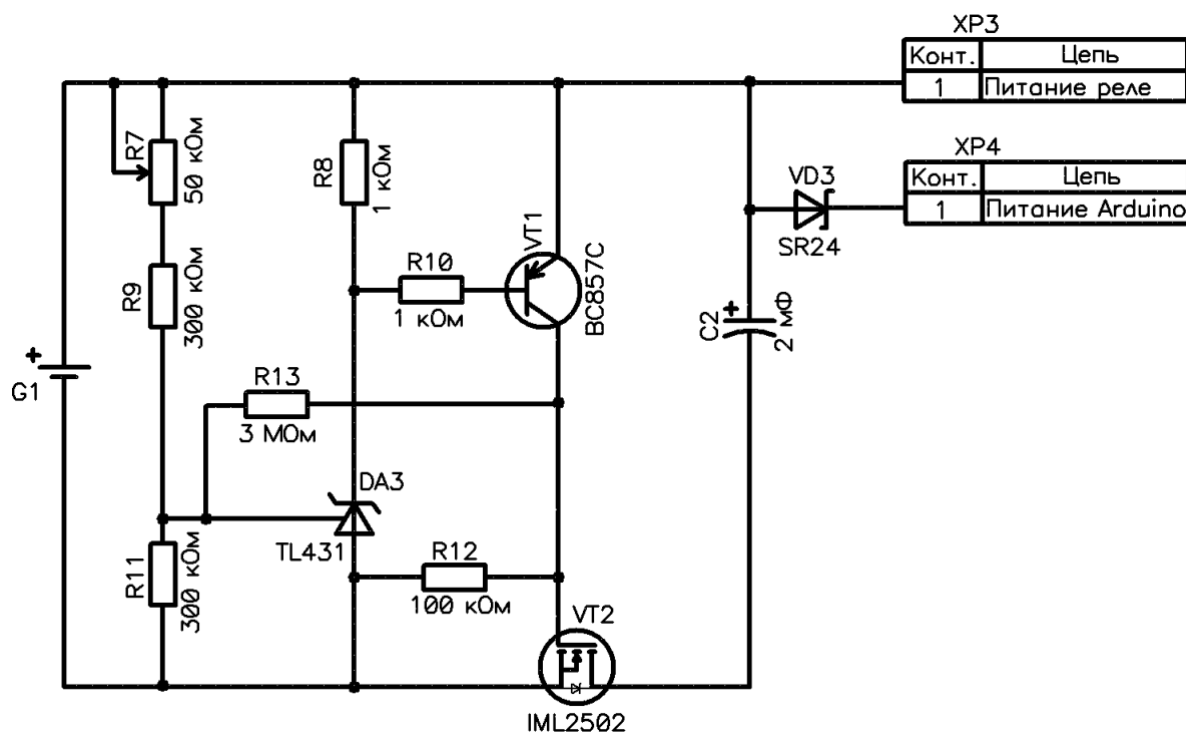


Рисунок 23 – Схема контроля напряжения на АКБ

Сперва рассмотрим компонентный состав используемой схемы:

- G1 – это свинцовая аккумуляторная батарея GS1.3-6;
- R7, R9, R11, R12, R13– являются резисторами. На входе схемы формируют делитель, определяющий разность потенциалов на входе АКБ;
- VD3 (SR24) – защитный диод Шотки, предотвращающий обратный ток;
- XP3 – является входным контактом для подключения источника питания реле срабатывания;
- XP4 – является входным контактом для подключения питания источника Arduino Nano;
- VT1 (BC857C) – это маломощный биполярный транзистор PNP типа, в схеме работает в качестве управляющего транзистора, регулирующего работу VT2 на основе выходного напряжение от DA3. Для ознакомления с документацией данного транзистора можете обратиться к источникам [18], [15].

– VT2 (IML2502) – транзистор MOSFET N-канальный. В нашей схеме применяется для изменения её логического состояния. MOSFET (или полевой транзистор с изолированным затвором, сокращённо МОП-транзистор) — это полупроводниковый прибор, который используется в современной электронике, структурно МОП-транзистор имеет три вывода: затвор (Gate), исток (Source) и сток (Drain). В отличие от биполярных транзисторов, МОП-транзисторы управляются напряжением (между стоком и истоком), а не током, что позволяет им обладать очень высоким входным сопротивлением. Для ознакомления с документацией полевого транзистора можете обратиться к источнику [19].

– DA3 (TL431) – это прецизионный программируемый стабилитрон, используемый для точного регулирования напряжения. Микросхема широко используется в схемотехнике импульсных преобразователей напряжения, а также в линейных стабилизаторах напряжения благодаря своей способности управлять мощными транзисторами с особо низким падением напряжения. Для ознакомления с документацией стоит обратиться к источнику [21].

Основные характеристики транзистора BC857C приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические параметры биполярного транзистора BC857C

Структура	PNP
Макс. напр. к-б при заданном обратном токе к и разомкнутой цепи э. ( $U_{кбо\ макс}$ ), В	50
Макс. напр. к-э при заданном токе к и разомкнутой цепи б. ( $U_{кэо\ макс}$ ), В	45
Максимально допустимый ток к ( $I_{к\ макс}$ ), А	0,1
Статический коэффициент передачи тока $h_{21}$ , мин	420...800
Граничная частота коэффициента передачи тока $f_{гр}$ , МГц	100

Основные параметры полевого транзистора IML2502 показаны в таблице 10.

Таблица 10 – Технические параметры полевого транзистора IML2502

Структура	N-канальный
Максимальное напряжение сток-исток ( $U_{си}$ ), В	20
Максимальный ток сток-исток при 25°C ( $I_{си макс.}$ ), А	4,2
Максимальное напряжение затвор-исток ( $U_{зи макс.}$ ), В	12
Сопротивление канала в открытом состоянии ( $R_{ds(on)}$ ) при 4.2 А и 4.5 В, мОм	0,045
Максимальная рассеиваемая мощность ( $P_{си макс.}$ ), Вт	1,25
Крутизна характеристики (S)	5,8
Корпус	SOT-23-3
Масса, г	0,05

Основные характеристики TL431 приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Основные технические параметры TL431

Напряжение стабилизации ( $V_{ref}$ ), В	2,5
Максимальный рабочий ток ( $I_{ref}$ ), мА	100
Температурный коэффициент, мВ/°C	-2
Максимальное рабочее напряжение ( $U_{max}$ ), В	36
Минимальное рабочее напряжение ( $U_{min}$ ), В	2,5
Максимальный рабочий ток ( $I_{max}$ ), мА	100

Рассмотрим принцип работы схемы контроля напряжения на АКБ. Данный каскад является своего рода защитным ключом, который либо подаёт питание, либо нет, он следит за разностью потенциалов аккумулятора для того, чтобы не допустить его глубокой разрядки. Мы можем сказать, что

схема обладает триггерной характеристикой (рисунок 24).

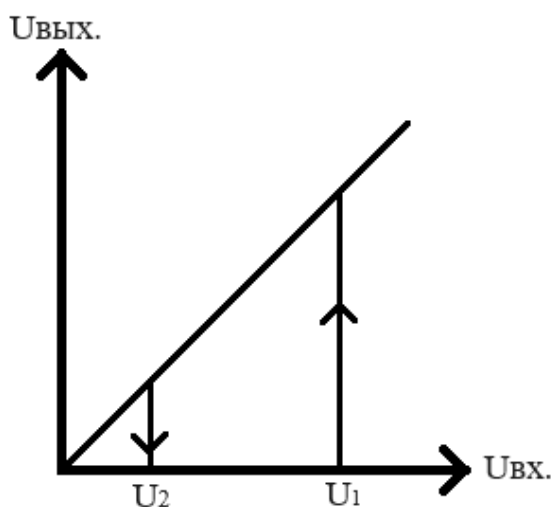


Рисунок 24 – График зависимости выходного напряжения от входного  $U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$

Когда напряжение аккумулятора становится равно  $U_2$ , это приводит к тому, что TL431 закрывается, следовательно уменьшается ток, вливаемый в базу, что ведёт к закрытию биполярного транзистора, тем самым заряд на затворе полярного транзистора разряжается и IML2502 (он же ключ) закрывается, аккумулятор от схемы отключается.

$R_7, R_9, R_{11}, R_{12}, R_{13}$  составляют собой делитель. В момент, когда полевой и биполярный транзисторы закрыты, резисторы задают входное напряжение.

Произведём расчёт эквивалентного сопротивления  $R_{э1}$  контура, состоящего из резисторов  $R_{11}, R_{12}, R_{13}$  по формуле (9):

$$R_{э1} = R_{11} * \frac{R_{12} + R_{13}}{R_{11} + R_{12} + R_{13}}, \quad (9)$$

где  $R_{11}$  – номинал резистора  $R_{11}$ , Ом;

$R_{12}$  – номинал резистора  $R_{12}$ , Ом;

$R_{13}$  – номинал резистора  $R_{13}$ , Ом.

Мы знаем сопротивления резисторов, следовательно по формуле (10) рассчитаем  $R_{э1}$ :

$$R_{\Sigma 1} = 300 * 10^3 * \frac{3 * 10^6 + 100 * 10^3}{300 * 10^6 + 100 * 10^3 + 300 * 10^3} = 273,5 \text{ кОм.} \quad (10)$$

На основе заданного контура, теперь по формуле (11) мы можем найти пороговое напряжение  $U_1$ :

$$U_1 = \frac{2,5}{R_{\Sigma 1}} * (R_{\Sigma 1} + R_7 + R_9), \quad (11)$$

где  $R_{\Sigma 1}$  – эквивалентное сопротивление резисторов:  $R_{11}, R_{12}, R_{13}$ , Ом;

$R_7$  – номинал резистора  $R_7$ , Ом;

$R_9$  – номинал резистора  $R_9$ , Ом.

Все данные нам известны, поэтому рассчитаем пороговое напряжение  $U_1$  по формуле (11):

$$U_1 = \frac{2,5}{273,5 * 10^3} * (273,5 * 10^3 + 50 * 10^3 + 300 * 10^3) = 5,7 \text{ В.} \quad (12)$$

Когда транзисторы начинают открываться, то соответственно цепь делителя видоизменяется, и образуется новый контур, с его учётом мы сможем рассчитать второе пороговое напряжение  $U_2$ . Для этого рассчитаем эквивалентное сопротивление  $R_{\Sigma 2}$ , контура, состоящего из резисторов  $R_{11}, R_{12}, R_{13}$  по формуле (13):

$$R_{\Sigma 2} = (R_7 + R_9) * \frac{R_{13}}{R_7 + R_9 + R_{13}}, \quad (13)$$

где  $R_{\Sigma 2}$  – эквивалентное сопротивление резисторов:  $R_7, R_9, R_{13}$ , Ом;

$R_7$  – номинал резистора  $R_7$ , Ом;

$R_9$  – номинал резистора  $R_9$ , Ом;

$R_{13}$  – номинал резистора  $R_{13}$ , Ом.

Данные номиналы нам известны, поэтому рассчитаем  $R_{\Sigma 2}$  по формуле (13):

$$R_{\Sigma 2} = (50 * 10^3 + 300 * 10^3) + \frac{3 * 10^6}{50 * 10^3 + 300 * 10^3 + 3 * 10^6} = 350,9 \text{ кОм.} \quad (14)$$

Рассчитаем пороговое напряжение  $U_2$ , с учётом изменений контура, по формуле (15):



$$U_2 = \frac{2,5}{R_{11}} * (R_{э2} + R_{11}), \quad (15)$$

где  $R_{э2}$  – эквивалентное сопротивление резисторов:  $R_7, R_9, R_{13}$ , Ом;

$R_{11}$  – номинал резистора  $R_{11}$ , Ом;

Подставив данные в формулу (15), найдём  $U_2$ :

$$U_2 = \frac{2,5}{300 * 10^3} * (350,9 * 10^3 + 300 * 10^3) = 5,4 \text{ В.} \quad (16)$$

Эта схема позволяет заряжать аккумулятор и защищает его от переразряда, используя комбинацию резисторов, стабилитрона и транзисторов для точного контроля напряжения и тока. Диод VD3 предотвращает обратный ток, а конденсатор C2 сглаживает напряжение, обеспечивая стабильную работу устройства.

### 2.2.3 Каскад управления электронным замком

Каскад управления электронным замком описывает взаимодействие и связи микроконтроллера с ключевыми компонентами аппаратной части замка.

Исследуем состав текущей схемы:

- XP3 – входной контакт для подключения источника питания реле срабатывания;
- K1 – реле подачи импульса;
- VD4 – защитный диод препятствует явлению самоиндукции;
- DA4 – макетная плата Arduino Nano;
- XP4 – входной контакт для подключения питания источника Arduino Nano;
- VT3 – полевой транзистор, изменяет логическое состояние схемы;
- R14, R15 – резисторы;
- VD5 – индикаторный светодиод-состояния;

- R16 – токоограничивающий резистор;
- DA-5 – внешний Bluetooth модуль HC-04.

Каскад управления электронным замком изображён на рисунке 25

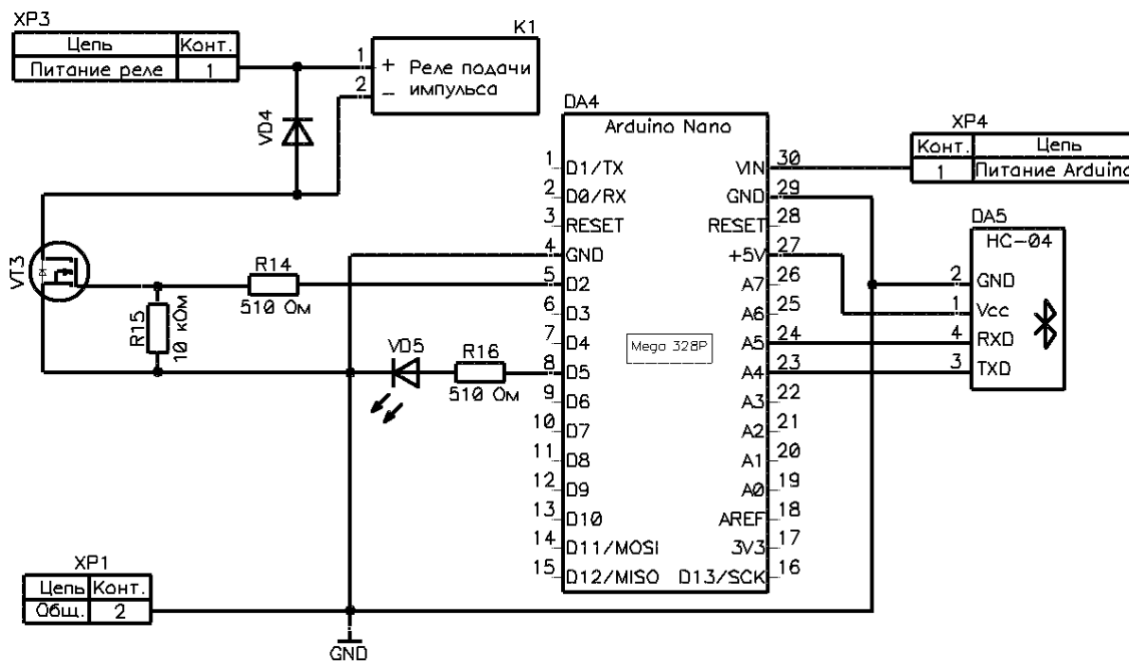


Рисунок 25 – Каскад управления электронным замком

Рассмотрим принцип работы каскада. Arduino поддерживает общение с Bluetooth модулем по шине UART интерфейса, пинам RX и TX, отвечающим за прием и передачу данных, подробнее про данный интерфейс изложено в источнике [2], [7]. На 1<sub>ом</sub> пине реле подачи импульса подаётся постоянный +, 2<sub>ой</sub> контакт через транзистор замыкается на массу, но в состоянии покоя транзистор закрыт, т.к. затвор соединён с выводом D2, а на нём сейчас низкий уровень сигнала, следовательно катушка не замкнута и замок закрыт.

При поступлении команды на открытие двери, сигнал поступает через HC-04 в Arduino Nano, затем на пине D2 устанавливается высокий сигнал, следовательно на стоке транзистора появляется положительный потенциал, транзистор открывается, 2<sub>ой</sub> контакт реле замкнулся на массу, катушка подаёт ток на открытие механического замка, дверь открывается.

## 2.3 Структурная схема

Мы рассмотрели каждый каскад нашего электронного замка, исследовали их состав, изучили принцип работы, теперь мы можем составить единую структуру, нашего устройства.

Структурная схема нашего замка приведена на рисунке 26.

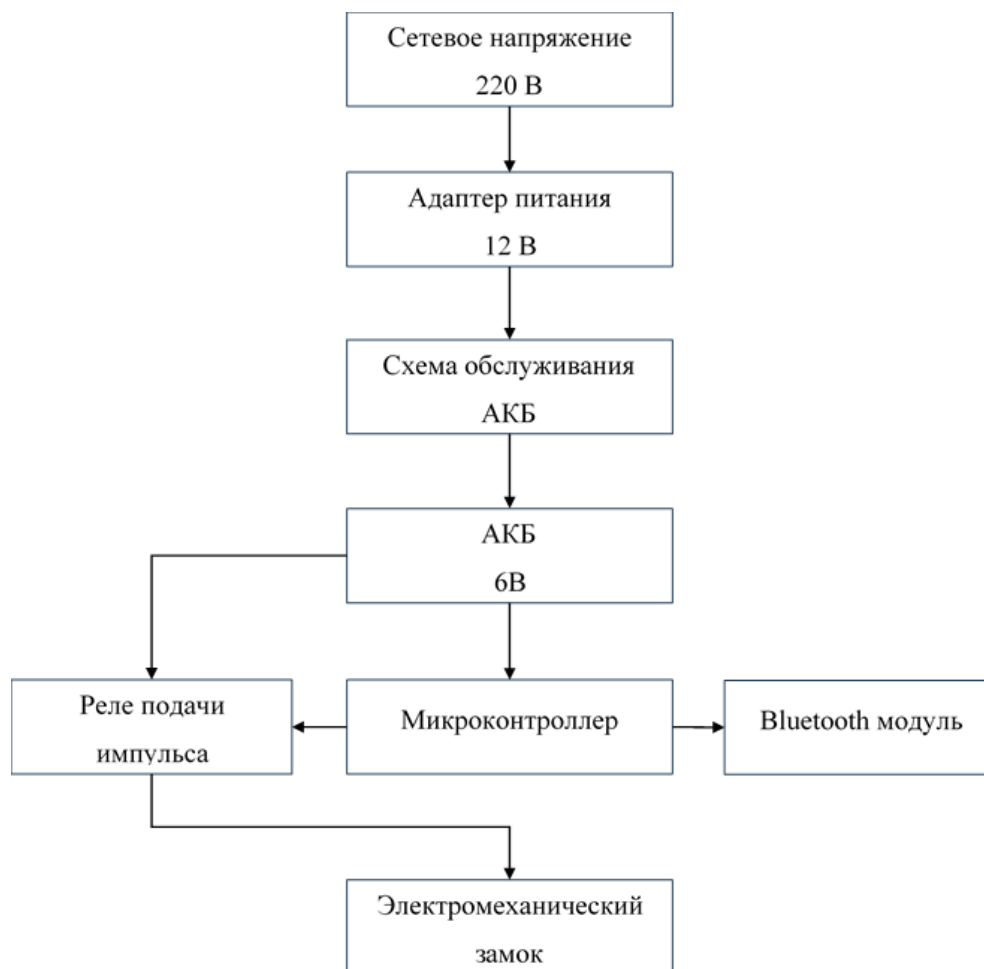


Рисунок 26 – Структурная схема устройства

## 2.4 Схема зарядного блока на архитектуре LM317T и BC547

Основным критерием модификации устройства мы уточнили для себя это улучшение управления энергопотреблением, которое позволит увеличить

срок службы АКБ и уменьшит затраты на обслуживание. Чтобы произвести модификацию замка с заданным критерием, рассмотрим схему зарядного блока на архитектуре регулируемого стабилизатора напряжения LM317T и биполярного транзистора BC547 (рисунок 27). Данная схема была найдена в источнике [6].

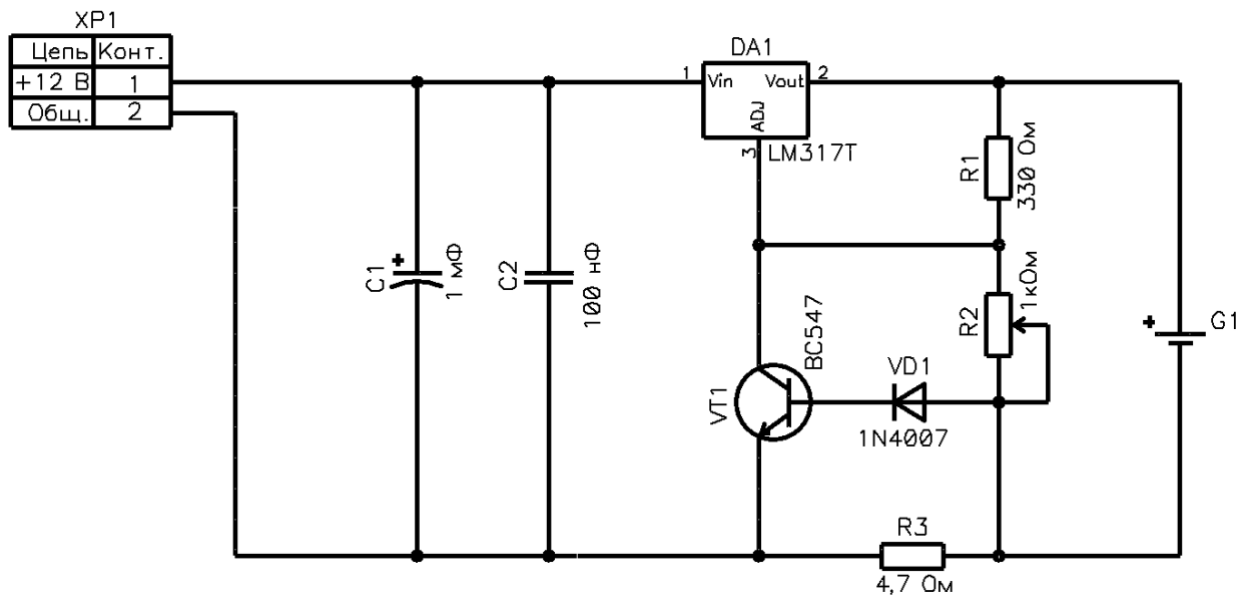


Рисунок 28 – Схема зарядного блока на архитектуре LM317T и BC547

Для дальнейшего понимания принципов работы схемы, снимем её вольт-амперные характеристики. Аналогично предыдущим опытам, сначала проведём её цифровое моделирование в программе Tina-Ti (рисунок 29) и получим график ВАХ (рисунок 30), а также построим её временную характеристику заряда АКБ (рисунок 31).

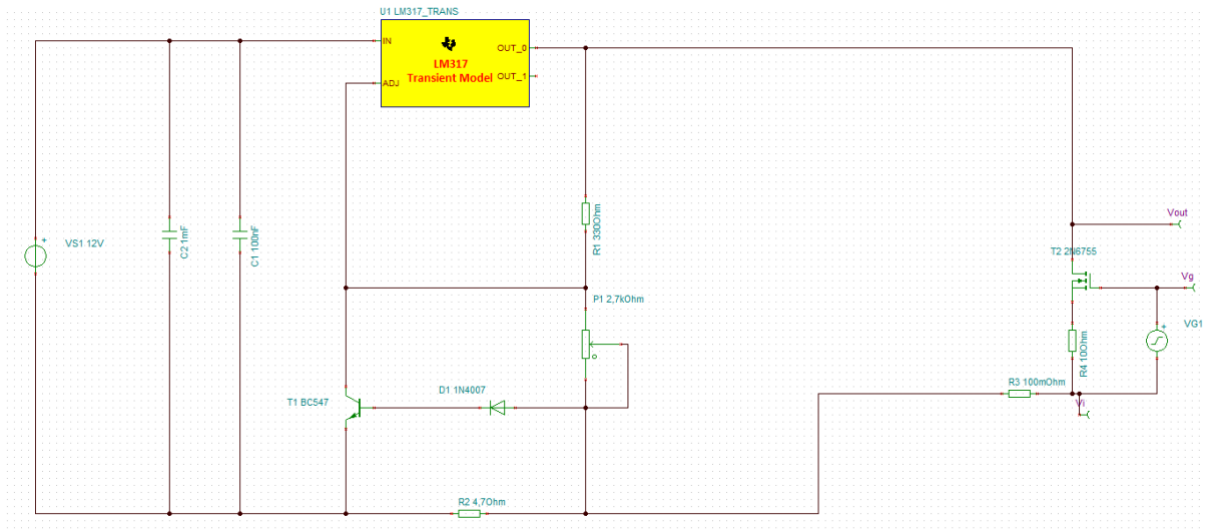


Рисунок 29 – Цифровая модель схемы зарядного блока на архитектуре LM317T и BC547

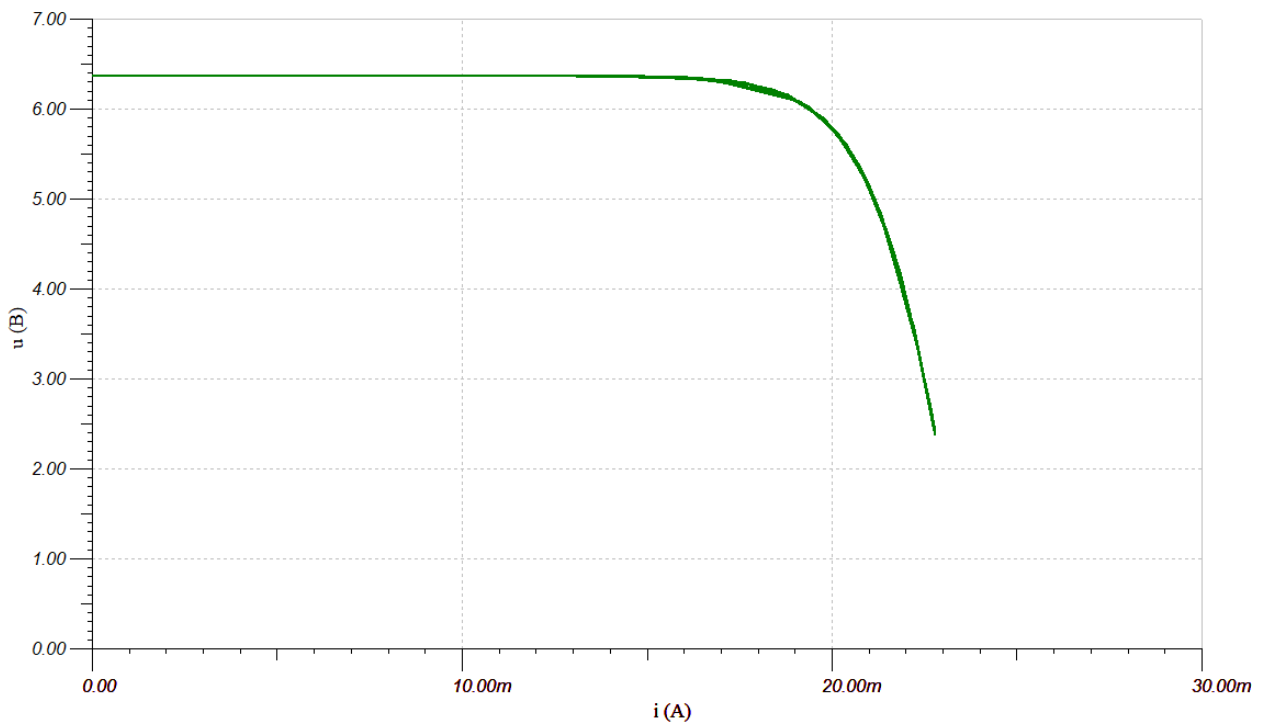


Рисунок 30 – ВАХ зарядного блока на архитектуре LM317T и BC547

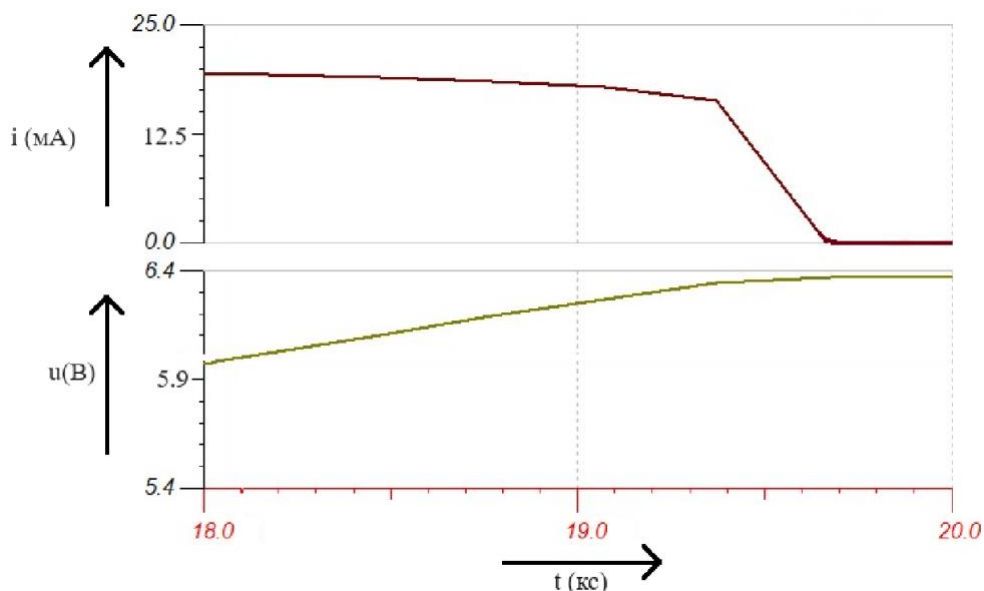


Рисунок 31 – Временная характеристика заряда аккумулятора

По составу данная схема крайне похожа на зарядный блок из раздела 2.2.1, но в ней присутствует добавочная часть, состоящая из биполярного транзистора BC547 и диода 1N4007, чтобы ознакомиться с их параметрами, обратитесь к справочным материалам [16], [17] соответственно, а также из резистора  $R_3$ .

Разберёмся как функционирует данный зарядный. Если бы в схеме присутствовал только один регулируемый линейный стабилизатор напряжения LM317T, то он был бы включен в режиме ограничения по напряжению как на рисунке 16. Но к управляющему выводу «ADJstable» микросхемы подключена добавочная часть, которая тянет потенциал пина вниз, т.к. это есть следствие открытия биполярного транзистора.  $R_3$  является обратной связью по току, поскольку когда поток зарядов течёт по каскаду, на резисторе  $R_3$  выделяется ток  $i_3$  и появляется напряжение  $u_3$ . Для того чтобы открылся диод необходимо 0,5 вольта, по закону Ома (формула 17) рассчитаем при каком токе откроется транзистор:

$$I_{\text{откр}} = \frac{U}{R_3} = \frac{0.5 \text{ В}}{4.7 \text{ Ом}} = 100 \text{ мА}, \quad (17)$$

где  $U$  – напряжение открытия диода;

$R_3$  – номинал резистора  $R_3$ .

Тогда выходит, что пока ток на резисторе  $R_3$  меньше 100 мА, то  $u_3$  меньше напряжения включения транзистора, т.е. VT1 закрыт (как будто отсутствует) и получается, что схема состоит из двух резисторов  $R_1$  и  $R_2$  (рисунок 32).

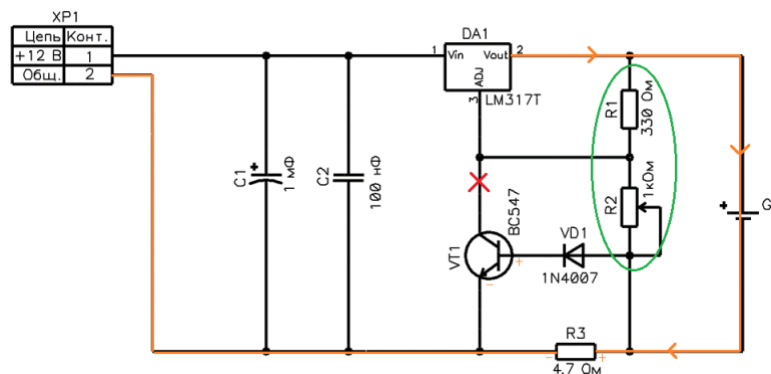


Рисунок 32 – Состояние схемы, когда АКБ разряжен

Аккумулятор заряжается, его разность потенциалов увеличивается, следовательно возрастает  $i_3$ , но чем больше ток на  $R_3$ , тем больше падение  $u_3$ , а чем выше падение напряжение на  $R_3$ , то оно через диод VD1 начинает приоткрывать транзистор VT1, и тогда ADJustable начинает тянуть потенциал микросхемы вниз (). Но опорное напряжение LM317T 1,25 В, если начать на него влиять, то это призакрывать микросхему, что будет создавать ограничение по току.

Выделим преимущества данного схмотехнического варианта:

1. Увеличенное время зарядки снижает тепловой и химический стресс АКБ, что позволяет ему сохранять свои характеристики дольше. По рисунку 31 мы видим, что время полного заряда АКБ составит около 19,7 кс, если посмотреть на время заряда аккумулятора от схемы с двумя LM317T (рисунок 21), то оно составит около 18,2 кс.

2. Более низкая себестоимость платы, поскольку один регулируемый линейный стабилизатор напряжения мы заменили одним слаботочным транзистором, диодом и резистором.

## **Заключение**

В ходе выполнения данной дипломной работы был проведен всесторонний анализ аппаратной части умного замка, включающий детальное рассмотрение его ключевых компонентов и их аналогов. Были изучены различные типы аккумуляторов, оценены их характеристики и эксплуатационные параметры. На основании полученных данных были предложены пути модернизации умного замка, направленные на повышение его надежности, энергоэффективности и функциональности.

Результаты работы позволяют сделать вывод о необходимости внедрения современных и более эффективных решений, таких как использование микроконтроллеров с расширенными возможностями и альтернативных источников питания. Это позволит не только улучшить эксплуатационные характеристики умного замка, но и повысить его конкурентоспособность на рынке.

Разработанные рекомендации могут быть использованы для дальнейших исследований и разработки новых моделей умных замков, что открывает перспективы для создания более совершенных и надежных систем безопасности. Внедрение предложенных улучшений будет способствовать повышению уровня защиты жилых и коммерческих помещений, а также увеличению удобства и комфорта пользователей.



## Список используемой литературы

1. Десять лучших умных дверных замков на входную дверь в 2024 году [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kp.ru/expert/dom/luchshie-umnye-zamki-dlya-vhodnoj-dveri/> (дата обращения: 15.04.2024).
2. Интерфейс передачи данных UART [Электронный ресурс]. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/interfeys-peredachi-dannykh-uart/> (дата обращения: 18.05.2024).
3. Конструкторское проектирование [Электронный ресурс]. URL: [https://spravochnick.ru/elektronika\\_elektrotehnika\\_radiotekhnika/konstruktorskoe\\_proektirovanie/](https://spravochnick.ru/elektronika_elektrotehnika_radiotekhnika/konstruktorskoe_proektirovanie/) (дата обращения: 23.03.2024).
4. Модели-SPICE электронного компонента [Электронный ресурс]. URL: <https://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2017/03/12-s89.pdf> (дата обращения: 20.02.2024).
5. Описание Arduino Nano на Хабре [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/125214/> (дата обращения: 12.03.2024).
6. Описание работы источников питания [Электронный ресурс]. URL: <https://сhem.net/pitanie/5-342.php> (дата обращения: 27.01.2024).
7. Пример первого проекта с RemoteXY [Электронный ресурс]. URL: <https://remotexy.com/ru/examples/firstproject/> (дата обращения: 08.06.2024).
8. Про аккумулятор на ChipDip [Электронный ресурс]. URL: <https://www.chipdip.ru/product/gsl.3-6> (дата обращения: 05.05.2024).
9. Сравнение Bluetooth-модулей HC-06 и HC-05 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.flyrobo.in/blog/HC-06-vs-HC-05-Bluetooth-Modules-Which-One-is-Right-for-Your-Project> (дата обращения: 10.04.2024).
10. Сульфатация аккумуляторов [Электронный ресурс]. URL: <https://akbservice.ru/knowledge-base/battery-sulfation> (дата обращения: 30.05.2024).

11. Уроки по ESP8266 от AlexGyver [Электронный ресурс]. URL: <https://alexgyver.ru/lessons/esp8266/> (дата обращения: 22.04.2024).
12. Arduino Nano — Arduino [Электронный ресурс]. URL: <https://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano> (дата обращения: 12.04.2024).
13. Arduino Nano — Wikipedia [Электронный ресурс]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino\\_Nano](https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_Nano) (дата обращения: 15.05.2024).
14. Arduino Nano Documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano/> (дата обращения: 20.06.2024).
15. BC857C-NXP on ChipDip [Электронный ресурс]. URL: <https://www.chipdip.ru/product/bc857c-nxp> (дата обращения: 28.03.2024).
16. Datasheet 1N4007 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/58830/DIODES/1N4007.html> (дата обращения: 15.04.2024).
17. Datasheet BC547 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/11551/ONSEMI/BC547.html> (дата обращения: 01.02.2024).
18. Datasheet BC856/BC857/BC858 [Электронный ресурс]. URL: [https://docs.amnputs.ru/nexperia.com.datasheet/BC856\\_BC857\\_BC858.pdf](https://docs.amnputs.ru/nexperia.com.datasheet/BC856_BC857_BC858.pdf) (дата обращения: 03.05.2024).
19. Datasheet IRLML2502 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/82450/IRF/IRLML2502.html> (дата обращения: 07.06.2024).
20. Datasheet SR24 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/191375/WTE/SR24.html> (дата обращения: 25.05.2024).
21. Datasheet TL431 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/259187/IKSEMICON/TL431.html> (дата обращения: 18.02.2024).
22. ESP32 — Espressif [Электронный ресурс]. URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32> (дата обращения: 21.03.2024).

23. ESP32 — Wikipedia [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP32> (дата обращения: 05.04.2024).
24. Falcon Eye FE-2669 [Электронный ресурс]. URL: <https://falconeeye.su/Products/5/70/FE-2669/> (дата обращения: 08.06.2024).
25. LM317T Datasheet [Электронный ресурс]. URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/11665/ONSEMI/LM317T.html> (дата обращения: 22.02.2024).
26. MicroPython [Электронный ресурс]. URL: <https://micropython.org/> (дата обращения: 10.01.2024).
27. Raspberry Pi Pico [Электронный ресурс]. URL: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-pico/> (дата обращения: 17.03.2024).
28. Raspberry Pi Pico Product Brief [Электронный ресурс]. URL: <https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-product-brief.pdf> (дата обращения: 09.02.2024).
29. STM32 Microcontrollers [Электронный ресурс]. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html> (дата обращения: 13.05.2024).
30. TINA Software [Электронный ресурс]. URL: <https://cxem.net/software/tina.php> (дата обращения: 20.04.2024).