

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра

«Промышленная электроника»

(наименование кафедры)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроника и робототехника

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка систем предварительного заряда емкостей инвертора и мониторинга
состояния батареи болида

Обучающийся

Г.А. Желаев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент М.В. Позднов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Выпускная бакалаврская работа имеет объем 70 стр., 54 рисунка, 3 таблицы, 26 источников, 1 приложение

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЕМКостей ИНВЕРТОРА И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БАТАРЕИ БОЛИДА

Данная выпускная бакалаврская работа посвящена разработке систем для электрического гоночного болида класса Formula Student.

Целью работы является создание систем, которые будут удовлетворять регламент соревнований Formula Student, а также способной функционировать с другими элементами болида. Также один из факторов при разработке девайсов это было обеспечить их стабильную и безопасную работу.

Основной задачей является создание структурной схемы системы предварительного заряда емкостей и системы мониторинга состояния батареи, подбор комплектующих и соответствие регламенту.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы удалось познакомиться со следующими средами разработки и проектирования печатных плат:

- Tina-Ti – SPICE симулятор;
- DipTrace – САПР проектирование печатных плат;
- EasyEDA – онлайн платформа для разработки и проектирования печатных плат;
- Arduino IDE – среда разработки программного обеспечения на языки C и C++.

Разработанные устройства в данной ВКР будут применяться на электрическом болиде класса Formula Student EV.

Annotation

The final bachelor's thesis has a volume of 70 pages, 54 figures, 3 tables, 26 sources, 1 appendix

DEVELOPMENT OF SYSTEMS FOR PRE-CHARGING INVERTER TANKS AND MONITORING THE BATTERY STATUS OF THE CAR

This bachelor's thesis is devoted to the development of systems for an electric racing car of the Formula Student class.

The aim of the work is to create systems that will meet the rules of the Formula Student competition, as well as capable of functioning with other elements of the car. Also, one of the factors in the development of devices was to ensure their stable and safe operation.

The main task is to create a block diagram of the pre-charge system of tanks and a battery monitoring system, the selection of components and compliance with the regulations.

In the process of completing the final qualification work, I managed to get acquainted with the following environments for the development and design of printed circuit boards:

- Tina-Ti – SPICE simulator;
- DipTrace – CAD design of printed circuit boards;
- EasyEDA is an online platform for the development and design of printed circuit boards;
- Arduino IDE is a software development environment for C and C++ languages.

The developed devices in this WRC will be used on an electric car of the Formula Student EV class.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение | 6 |
| 1 Постановка задачи..... | 8 |
| 1.1 Поиск и анализ технических параметров аналогичных устройств | 9 |
| 1.2 Критерии для разработки устройств | 12 |
| 2 Конструкторское проектирование устройства | 16 |
| 2.1 Варианты разработки системы Pre-Charge и его структура..... | 16 |
| 3 Принцип работы систем..... | 19 |
| 3.1 Принцип работы систем Pre-charge..... | 19 |
| 3.2 Принцип работы систем информационного дисплея..... | 19 |
| 4 Выбор компонентов и разработка устройства | 21 |
| 4.1 Выбор гальванической развязки..... | 21 |
| 4.2 Выбор микроконтроллера для дисплея | 23 |
| 5 Разработка силовой схемы..... | 28 |
| 5.1 Плата гальванической развязки | 28 |
| 5.2 Разработка триггера | 30 |
| 5.3 Расчет Резистора..... | 32 |
| 6 Разработка системы мониторинга состояния батареи | 42 |
| 6.1 Разработка схемы подключение наших девайсов | 42 |
| 6.2 Разработки схемы подключения нашего устройства | 43 |
| 6.3 Разработка программного обеспечения | 43 |
| 7 Создание печатных плат | 49 |
| 8.Экспериментальная часть системы Pre-charge | 62 |
| Заключение | 64 |

| | |
|---|----|
| Список используемых источников..... | 65 |
| Приложение А Листинг кода программы | 68 |

Введение

На данный момент происходит активное развитие электротранспорта, которое требует разработку большого количества систем для нормальной работы транспорта. Первые электромобили появились ещё в 19 веке, но большого развития они не получили так как была проблема с зарядкой и маленькой дальностью хода, что было проблематичной на то время. Первым электромобилем был <<Electrobat>>, представленный еще в 1894 году, да сейчас он сильно отличается от традиционных нам автомобилей и больше напоминает самоходную повозку.

Во второй середине 20 го века предпринимались попытки возобновить производства электромобилей, таким стал электромобиль отечественного производства ВАЗ-2801 [2] на базе ВАЗ-2102, но, к сожалению, он не получил массового производства из-за ограниченности технологий того времени. Но несмотря малочисленные попытки создать электротранспорт это не увенчалось успехом.

В начале 21 века в связи развитием технологий и полупроводников электромобили получили развитие и стали популярны, так как имеет большой ряд преимуществ перед традиционным ДВС, такие как экологичность и надежность. Но из-за множества сложных систем для функционирования автомобиля он более опасен для окружающих и для водителя.

С развитием технологий потребовались молодые специалисты, которые имеют опыт работы с системами. Для решение этой проблемы в 1981 году в Соединённых Штатах Америки начали проводить ежегодные студенческие соревнования на автомобилях класса Formula Student, молодые люди будучи студентами имели возможность набираться опыта будучи студентами. В России первая команда появилась в 2006 году,

Согласно правилам, которые описаны в регламенте, была разработана система предварительного заряда (Pre-Charge) и для информирования пилота о состоянии батареи система мониторинга батареи и тяговой системы.

1 Постановка задачи

Инверторы Kelly KLS 14401-8080I (рисунок 1) в количестве двух штук имеют на входе емкость равную 10320 мкФ [4]. Поэтому одной из целей данной выпускной квалификационной работы является разработка стабильной системы предварительного заряда за счет анализа прошлых ошибок и анализ представленных на рынке готовых продуктов, а также анализ использующихся систем на популярных в мире электромобилей.



Рисунок 1 – Инвертор Kelly kls 8080 ips

Также еще одной основной задачей является разработка программного и аппаратного интерфейсов мониторинга управления и поддержания стабильной работы устройства, используя полученные знания принципов объектно-ориентированного программирования микроконтроллеров и

мобильных устройств, а также знания в области микроэлектроники и схемотехники. В результате работы должны быть разработан взаимосвязанный программно-аппаратный комплекс, который позволит отслеживать состояние батареи в реальном времени, а также обеспечит стабильную зарядку емкости высоковольтных частей. Данный девайс будет разрабатываться и использоваться на болиде класса Formula Student EV.

В процессе решения данных целей были поставлены следующие задачи:

- анализ использующихся устройств на электротранспорте;
- параметры устройства, зависящие от аккумулятора;
- проектирование устройства;
- разработка электрической схемы;
- разработка печатной платы;
- проведение дорожных тестов и испытаний.

1.1 Поиск и анализ технических параметров аналогичных устройств

На данный момент нету полных аналогов разрабатываемого устройства. На рынки представлены только отдельные девайсы способные поддерживать данный функционал и удовлетворять технические требования регламента (вставка из регламента и предоставления аналогов)

Также важным фактором в разработке системы предварительного заряда является ток, который через себя будет пропускать силовые реле, после срабатывания системы, сила тока в пике может превышать 500 ампер поэтому готовые решение по типу BMS с функцией pre-charge [16] не подходят так как через себя они могут пропустить кратковременно ток до 300 ампер. В электромобилях массового производства по типу Nissan Leaf (рисунок 2) есть такая система, но интеграция ее в наш аккумулятор не

осуществима, так как ее работа завязана на других системах аккумулятора, которые несовместимы с нашими из-за более высоких характеристик, больших габаритов и требований регламента [10]. Это касается и других популярных производителей электромобилей.

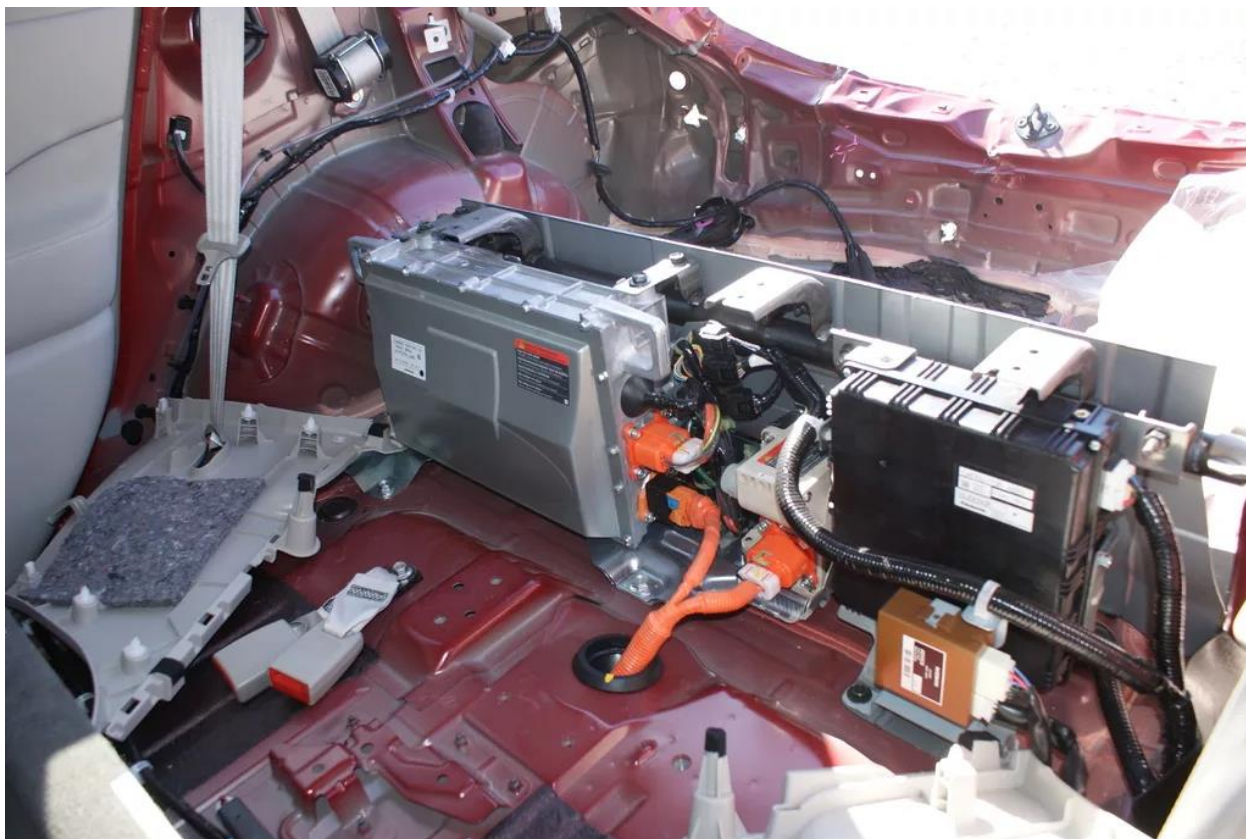


Рисунок 2 – Высоковольтная система nissan leaf

Что касается покупных модулей pre-charge, как таковых готовых сборок нету, существует пару покупных модулей, которые только обеспечивает гальваническую изоляцию между высоковольтной и низковольтной сетями. В качестве аналогов на рынке представлен девайс под названием LV 25-P он имеет схожие параметры, но из-за своего форм фактора не подходит под наши требования из-за своего форм фактора (рисунок 3).



Рисунок 3 – LV 25-P

Что касается информационного табло на рынке представлено также множество девайсов, но в основном они не подходят нам из-за скудного функционала и несовместимость нашей системы с данными девайсами.

Так, к примеру, на рынке существует дисплей от компании VOTO1 (рисунок 4).



Рисунок 4 – Дисплей

Он обладает практически всеми нужными функциями, но совместим только с контроллерами Votol и не предоставляет всей информации тяговой системы, а в нашем случае с использованием двух инверторов данный дисплей не совместим с нашей системой, также измерения оставшейся емкости батареи в нем происходит за счет напряжения, что неверно, так как при больших нагрузках напряжение сильно проседает и значения сильно искажаются, правильнее будет измерять емкость батареи по количеству зашедшего и вышедшего заряда с помощью датчика тока (холла), принцип работы которого основывается на измерении изменения магнитного поля при прохождении через него заряда тока. Устройство мониторинга состояния батареи сравнивает показатели по напряжению и току и таким образом выводит данные о состоянии энергии аккумулятора.

Также проблема использования большинства дисплеев было это то, что нельзя было конфигурировать выводимую информацию, также они не подходили по форм-фактору или была слишком большая цена.

1.2 Критерии для разработки устройств

При разработке данных девайсов требуется учитывать ряд критериев таких как надежность, безопасность и удобство использования и самое главное соответствие требованиям регламента [10]. Рассмотрим некоторые из них:

Надежность и безопасность – система предварительного заряда емкостей должна обеспечивать стабильную работу системы так как в случае ее отказа в работе размыкателей высоковольтной цепи может произойти сбой, который приведет к свариванию высоковольтных контактов.

Удобство использования – дисплей должен быть удобен во время проведения динамических дисциплин на нем должна выводиться только нужная информация для пилота, в основном это емкость батареи и

оставшийся пробег, в зависимости от этих показателей водитель будет понимать, как ему ехать, так же нужно знать и общее состояние тяговой системы, так как при больших нагрузках возможен перегрев некоторых элементов, поэтому было принято решения вывода температуры батареи моторов и инверторов.

Соответствие регламенту FS – это один из самых важных пунктов, так как в случае несоответствие регламенту соревнований машина не будет допущена к проведению динамических дисциплин и будет не безопасной как для пилота, так и для окружающих:

- EV 4.3 Разделение системы тяги и заземленной системы низкого напряжения EV 4.3.1 Вся тяговая система и низковольтная система должны быть полностью гальванически изолированными (см. EV 1.2.1 и IN 4.1.1);
- EV 4.3.2 Цепи тяговой и низковольтной систем должны быть физически разделены таким образом, чтобы они не проходили через один и тот же канал или разъем, за исключением соединений цепи блокировки;
- EV 4.3.3 Если в корпусе присутствуют как тяговая, так и низковольтная системы, они должны быть разделены изолирующими барьерами из влагостойких, UL-признанных или эквивалентных изоляционных материалов, рассчитанными на 150°C или выше (например, электрическая изоляция на основе Nomex) или поддерживать следующее расстояние в воздухе или над поверхностью (аналогичной той, что определена в UL1741) (рисунок 5):

| Voltage | Spacing |
|---|---------|
| $U < 100 \text{ VDC}$ | 10 mm |
| $100 \text{ VDC} < U < 200 \text{ VDC}$ | 20 mm |
| $U > 200 \text{ VDC}$ | 30 mm |

Рисунок 5 – Вставка из регламента

- EV 4.3.4 Компоненты и кабели, способные к движению, должны быть надежно укреплены для поддержания расстояния;
- EV 4.3.5 Если тяговая и низковольтная системы находятся на одной печатной плате, они должны находиться на отдельных четко определенных участках платы, удовлетворяя требованиям к интервалу, каждая область четко обозначена «TS» или «LV». Контур области, необходимой для расстояния, должен быть отмечен. «Конформное покрытие» относится к изолятору покрытия, паяльный резист не является покрытием. Если используются интегральные схемы, такие как оптопары, которые рассчитаны на соответствующее максимальное напряжение тяговой системы, см. EV 1.2.1, но не соответствуют требуемому расстоянию, то они все еще могут использоваться, и данный интервал не применяется для этой интегральной схемы (рисунок 6):

| Voltage | Over Surface | Through Air (Cut in board) | Conformal Coating |
|--------------------|--------------|-------------------------------|-------------------|
| 0 VDC to 50 VDC | 1.6 mm | 1.6 mm | 1.0 mm |
| 50 VDC to 150 VDC | 6.4 mm | 3.2 mm | 2.0 mm |
| 150 VDC to 300 VDC | 9.5 mm | 6.4 mm | 3.0 mm |
| 300 VDC to 600 VDC | 12.7 mm | 9.5 mm | 4.0 mm |

Рисунок 6 – Необходимое расстояние между тяговой и низковольтной системами

- EV 4.3.6 Команды должны быть готовы продемонстрировать интервалы между командообразованием. Для недоступной схемы должны быть доступны полностью собранные запасные платы;

- EV 4.3.7 Все подключения от компонента тяговой системы к внешним устройствам, например ноутбуки, должны включать гальваническую развязку, см. EV 1.2.1;
- T 11.1 Низковольтная система (LVS);
- T 11.1.1 Низкое напряжение системы (LVS) определяется как;
- [только ДВС] все электрические цепи автомобиля;
- [EV только] как каждая электрическая деталь, не являющаяся частью TS (см. EV 1.1.1);
- T 11.1.2 Максимальное допустимое напряжение, которое может произойти между любыми двумя электрическими соединениями в LVS составляет 60 Вт постоянного тока или 25 Вт переменного тока RMS;
- T 11.1.3 [ДВС только] Следующие системы были удалены из лимита напряжения LVS, см. T 11.1.2;
- Система высокого напряжения для зажигания;
- Система высокого напряжения для форсунок;
- Системы зарядки внутреннего напряжения OEM, предназначенные для <60 Вт выхода постоянного тока;
- T 11.1.4 [EV только] LVS не должна использовать оранжевую проводку или трубки;
- T 11.1.5 [EV только] LVS должна быть заземлена к шасси.

Вывод по разделу

Исходя из вышеперечисленных критериев для разработки, стоит понимать, что основным и самым важным критерием при разработке для нас является гальваническая развязка цепей, это влияет на соответствие системам требованиям регламента.

2 Конструкторское проектирование устройства

Конструкторское проектирование устройства – это процесс систематического создания и разработки технического устройства или системы, основанный на применении научных и инженерных принципов. В ходе конструкторского проектирования учитываются требования и спецификации, определяющие функциональность, производительность, надежность и другие характеристики устройства. Основной целью конструкторского проектирования является создание оптимального технического решения, удовлетворяющего поставленным требованиям. Для этого процесс включает в себя анализ исходных данных, постановку задачи, исследование возможных вариантов решений, выбор наиболее подходящего варианта, разработку деталей и сборочных единиц, а также проверку и испытание созданного устройства.

2.1 Варианты разработки системы Pre-Charge и его структура

Для начала нужно определиться что такое предварительный заряд емкостей инвертора. Почти каждая высоковольтная система имеет емкости на входе, представляющие собой сборку конденсаторов, предназначенную для сглаживания помех в контроллере электродвигателя для стабильной работы системы. При первом включение конденсаторы могут подвергнуться большому пусковому току, что может разрушить их.

Если нету контроля пускового тока это может привести к разрушению не только конденсаторов, а также привести к повреждению других высоковольтных систем аккумуляторной батареи. Для этого и используется система предварительного заряда она позволяет контролировать пусковой ток, и даст достаточно времени чтобы емкости зарядились перед тем, как закроются основные высоковольтные контакторы.

Один из самых частых случаев отсутствие системы предварительного заряда это сваренные контакты высоковольтной цепи. Это происходит из-за высокого нагрева в момент подачи высокого напряжения на вход инверторов так как пусковые токи в этот момент достигают своего максимума.

Наша система должна удовлетворять следующие требования:

- напряжение на входе 151.2 вольта;
- суммарная емкость двух инверторов 10320 мкФ;
- система низковольтного питания 12в;
- иметь гальваническую развязку между HV и LV;
- удерживать контакторы в замкнутыми пока не будет обесточен болид или отключена тяговая система;
- защита от принудительного замыкания высоковольтных инверторов в случае обнаружении ошибок;
- замыкание контактов при разнице в напряжение между батарей и емкости менее 5%;
- соответствие требованиям регламента [10].

Существует несколько вариантов разработки систем pre-charge

Первый вариант – это рассчитать время зарядки емкости в инверторах и собрать таймер на NE555 (рисунок 7).

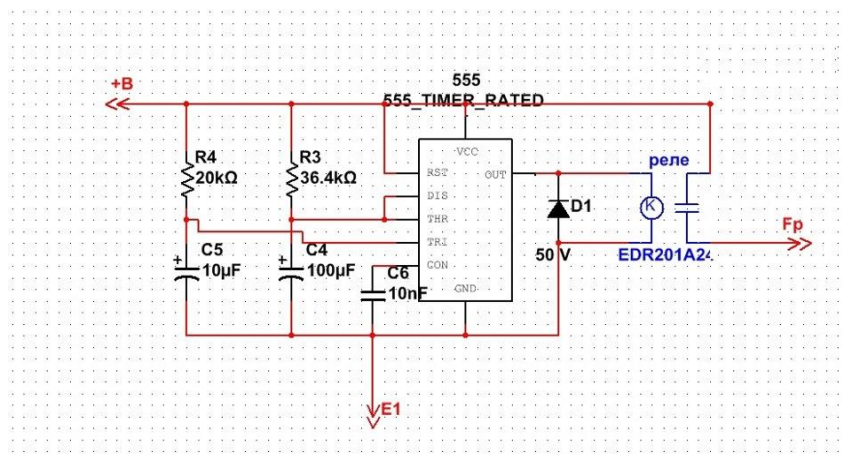


Рисунок 7 – Таймер на NE555

Решение довольно-таки простое, но не внушает доверия, так как в случае неправильного расчета времени зарядки, неучета дополнительных емкостей или неправильного срабатывания системы разряда емкости (discharge) из-за не будет происходить заряд емкости, а весь ток будет идти через резистор, во всех этих случаях реле сомкнется раньше времени и высоковольтные контакторы выйдут из строя, поэтому данный вариант мы использовать не будем.

Второе это сравнение данных с инверторов Kelly KLS 14401-8080I относительно батареи через использование дополнительного микроконтроллера, но данный вариант нам не подходит, так как при больших нагрузках напряжение на инверторах будет меньше, чем напряжение батареи и есть вероятность размыкания высоковольтных контакторов.

Третий вариант был с использованием дифференцированной оптопары и использованием компаратора, который будет сравнивать выходной сигнал и замыкать высоковольтные контакторы при достижении нужного нам напряжения на инверторах.

Выводы по разделу

Проанализировав несколько из вариантов доступных для реализации системы, было принято решение самостоятельно разработать систему Pre-Charge.

3 Принцип работы систем

3.1 Принцип работы систем Pre-charge

Принцип работы данной системы заключается в том, что она сравнивает напряжение между батареями и емкостями инвертора (рисунок 8).

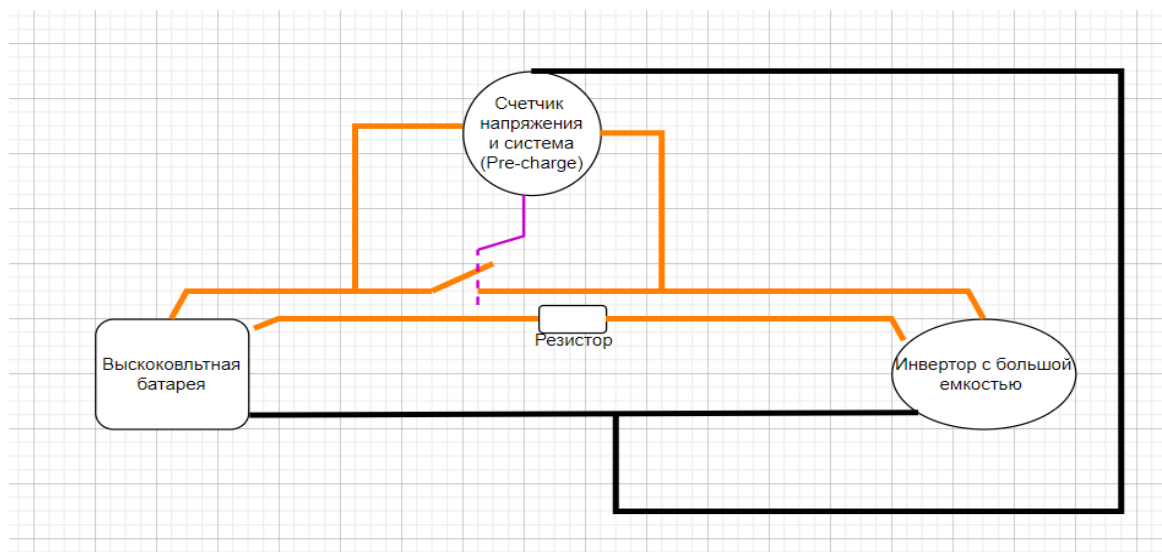


Рисунок 8 – Работы цепи отключения

Как видно из рисунка выше ток перед зарядом проходит через резистор, это сделано для того чтобы емкости в инверторе не испытывали большой нагрузки, а также чтобы не было сваривание контактов. После того как разность в напряжение становится менее 5%, то она замыкает высоковольтные контакторы и удерживает их в таком режиме до отключения всей высоковольтной цепи.

3.2 Принцип работы систем информационного дисплея

Принцип работы дисплея заключается в следующем – микроконтроллер получает данные от BMS, расположенной в батарее, по сигналам CAN-шины.

Также очень важно контролировать состояния батареи и всей высоковольтной системы во время проведения динамических испытаний. Отсутствие контроля над тяговой системой болида может привести к поломке некоторых элементов тяговой системы. Хотя и используемых нами инверторы, моторы и контроллеры батареи обладают системами защиты, но они не могут воздействовать на поведение пилота во время проведения динамических дисциплин, поэтому водителю важно знать данные о тяговой системы чтобы не выбыть с этапа. Дисплей является частью низковольтной системы, которая не имеет строгих ограничений в регламенте. Но он все равно должен удовлетворять следующие наши требования:

- источник питания 12 вольт;
- отображать данные в реальном времени о температуре, оставшимся заряде высоковольтного аккумулятора;
- не влиять на работу всей системы автомобиля, а только предоставлять информацию;
- быть удобным в использовании, знаки должны быть читаемы и не отвлекать пилота.

Выводу по разделу

Проанализировав работу системы, удалось получить данные для дальнейшей разработки системы и поисков компонентов.

4 Выбор компонентов и разработка устройства

4.1 Выбор гальванической развязки

Одним из вариантов было использование LV 25-P, но он нам не подошел, так как не удовлетворял требования регламента по гальванической развязки, а также из-за его высокой цены и трудностями с приобретением.

Исходя из требований регламента [10] в которых указывается расстояние гальванической развязки между высоковольтной и низковольтной сетями, а также условиями эксплуатации нашей системы, так как она будет находится в закрытом корпусе аккумулятора где под большими нагрузками будут температуры свыше 40 градусов, была выбрана микросхема AMC 1100 DUBR- это дифференцированная оптопара (рисунок 9).

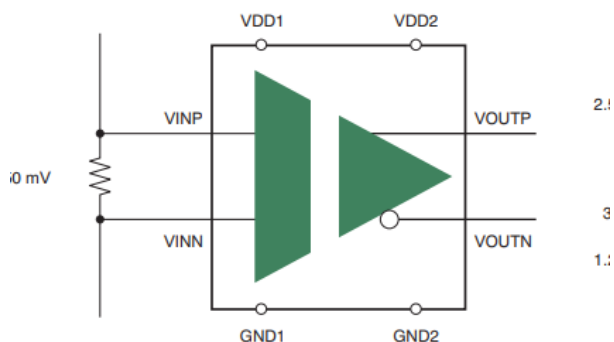


Рисунок 9 – Устройство AMC1100DUBR

Она удовлетворяет требования регламента по расстоянию между контактами (рисунок 10).

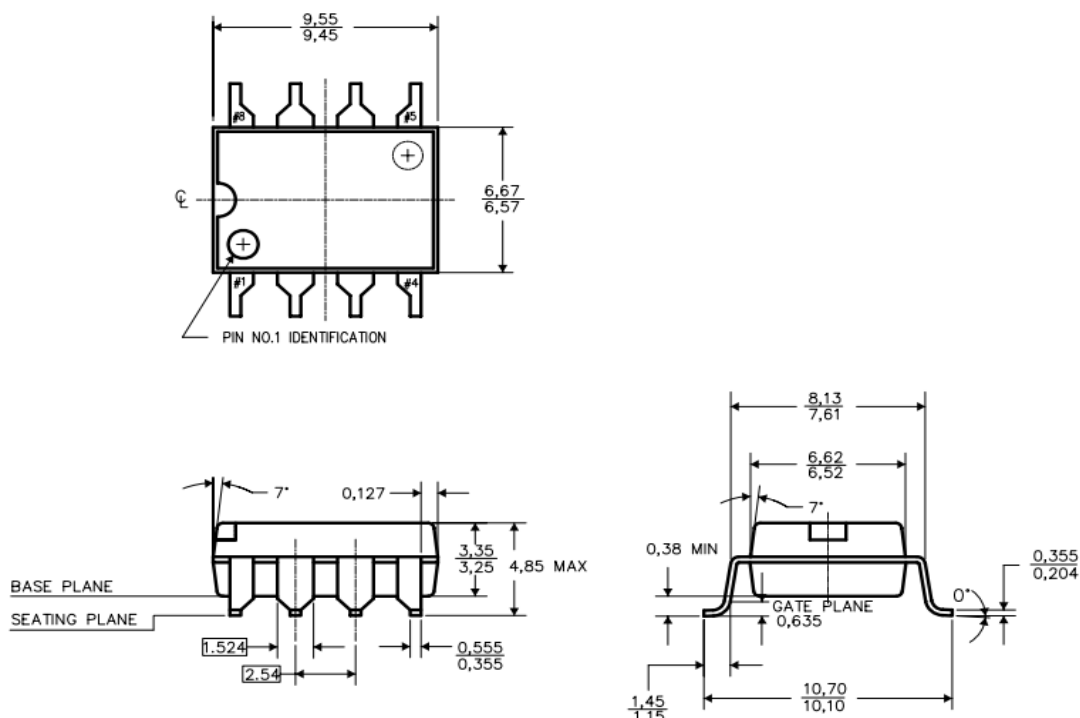


Рисунок 10 – Чертеж микросхемы

А также удовлетворяет требованиям по влиянию температуры на работу микросхемы.

Данная микросхема имеет широкое распространение и легкодоступна. Данная микросхема будет сравнивать выходной сигнал с платы, разделяющий высоковольтную и низковольтную сеть и при достижении 95% напряжения от высоковольтной сети будет посылать сигнал на замыкание высоковольтного контактора

В качестве микросхемы, которая будет сравнивать сигналы с оптопары, был выбран компаратор LM393 [5].

Данный компаратор легкодоступен имеет и обладает нужными нам характеристиками.

4.2 Выбор микроконтроллера для дисплея

Вариантов исполнения дисплея для мониторинга состояния батареи было несколько:

Первый вариант был получения данных через аналоговые сигналы, но это довольно старомодный вариант которые имеет минусы, в случае реализации данного устройство потребовалось бы использовать большое количество проводов и разъемов, что не удобно, а также сильно утолщает жгут проводов

Второй вариант – это использование CAN-шины, данный вариант сильно упрощает сборку проводки, обеспечивает хорошую скорость передачи данных, а также имеет помехозащищенность и уменьшает количества ошибок благодаря непрерывной проверке передаваемых сообщений блоками управления.

В качестве основного элемента выступает микроконтроллер Arduino nano, контроллер шины CAN MCP2512 и LCD дисплей 20x4

Arduino nano – представляет собой отладочную плату с микроконтроллером Atmega328 [19]. Данная платформа имеет среду разработки Arduino IDE [20] которая поддерживает язык программирования C++ (рисунок 11).

NANO PINOUT

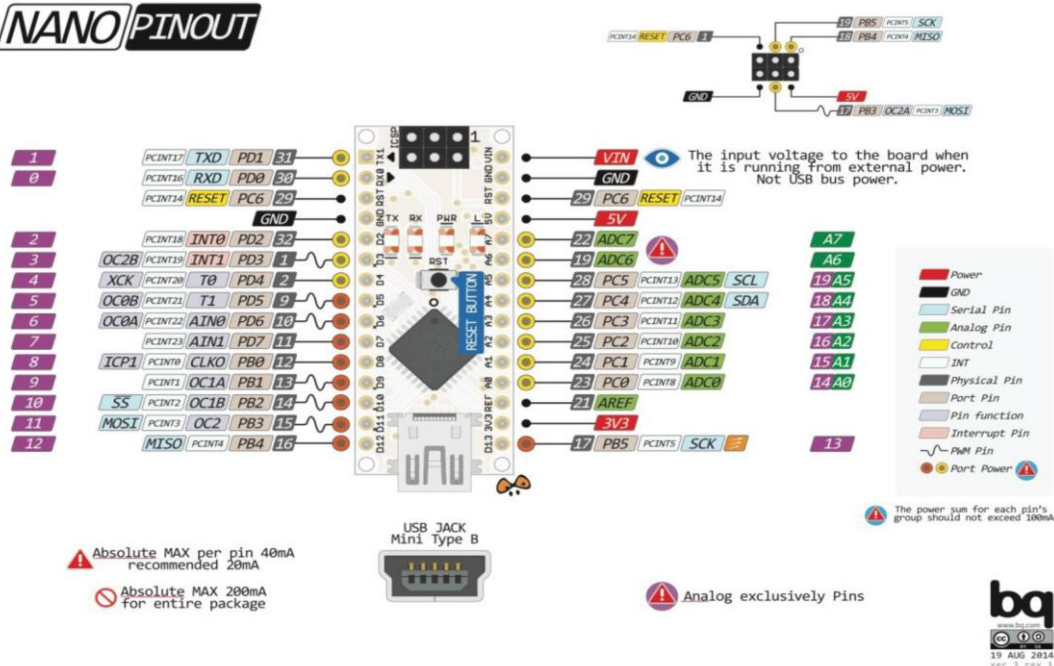


Рисунок 11 – Arduino nano

Характеристики arduino nano следующие:

- напряжение питания 5В;
- входное питание 7-12В (рекомендованное);
- количество цифровых пинов – 14, из них 6 могут использоваться в качестве выходов ШИМ;
- 8 аналоговых входов;
- максимальный ток цифрового выхода 40 мА;
- флэш- память 16 Кб или 32 Кб, в зависимости от чипа;
- ОЗУ 1 Кб или 2 Кб, в зависимости от чипа;
- EEPROM 512 байт или 1 Кб;
- частота 16 МГц;
- размеры 19 x 42 мм;
- вес 7 г.

MCP2515 представляет собой контроллер для упрощенного подключения CAN шины. Контроллер является популярным модулем для

взаимодействия устройств между arduino и другими устройствами с поддержкой CAN, также девайс может принимать и передавать данные (рисунок 12).

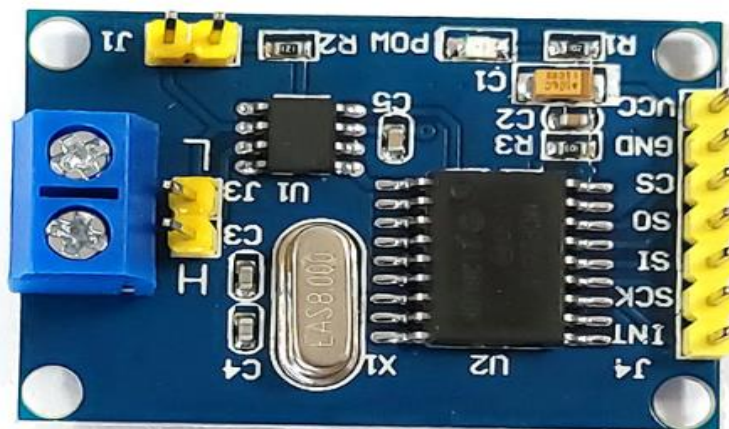


Рисунок 12 – MCP2515

Данная микросхема имеет следующие характеристики:

- микросхема: MCP2515;
- напряжение питания: от 2.7 до 5.5 В;
- потребляемый ток: 5 мА (1 мкА в режиме ожидания);
- максимальная скорость передачи данных: 1 Мбит/с;
- интерфейс: SPI;
- сопротивление: 120 Ом;
- габариты: 40 × 18 × 14 мм;
- вес: 7 грамм.

Как видно из характеристик данная микросхема имеет интерфейс SPI, что упрощает подключение к Arduino nano.

Для отображения информации был выбран LCD дисплей с разрешением 20 на 4 и с шиной i2c (рисунок 13).

Шина I2C это – последовательная асимметричная шина для связи между интегральными схемами внутри электронных приборов.

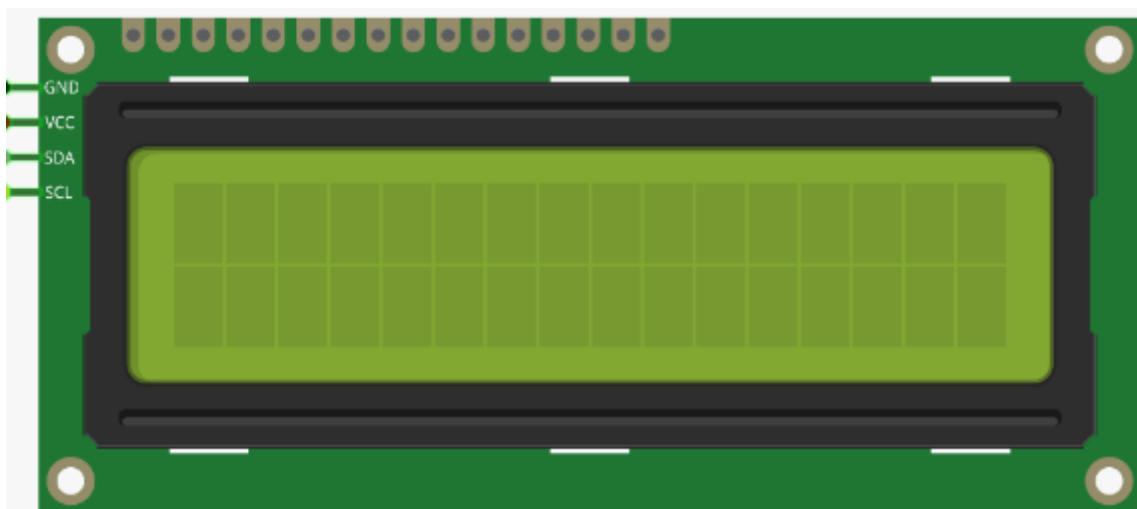


Рисунок 13 – LCD дисплей 16x2

Также не стоит забывать про систему питания нашего устройства, бортовое напряжение нашей сети составляет 12 вольт, как видно из характеристик устройств, используемых при разработке системы мониторинга состояния батареи, их рабочее напряжение питания составляет 5 вольт, поэтому нам требуется DC/DC преобразователь.

На рынке представлено множество доступных преобразователей. Из всех доступных вариантов нами был выбран Mini560 DC-DC (рисунок 14), он имеет основу на микрочипе Joulwatt JW5068A.



Рисунок 14 – DC/DC преобразователь

Он имеет следующие характеристики:

- тип преобразования – широтно-импульсный;
- частота преобразования – 500 кГц;
- максимальный КПД – 98%;
- входное напряжение – 6,7 – 20 V;
- выходное напряжение – 3.3-12 V;
- номинальный ток – 2.5 A;
- максимальный ток – 5A;
- диапазон рабочих температур – -40° – +85°.

Вывод по разделу

Так как наша дисплей будет только осуществлять работу по сбору информации и вывода ее на дисплей, было принято решение использование микроконтроллера Arduino nano, так как он имеет весь необходимый для нас функционал, а также его легко приобрести.

5 Разработка силовой схемы

5.1 Плата гальванической развязки

Для дальнейшей работы с системой нам требуется сделать чертёж платы (рисунок 15).

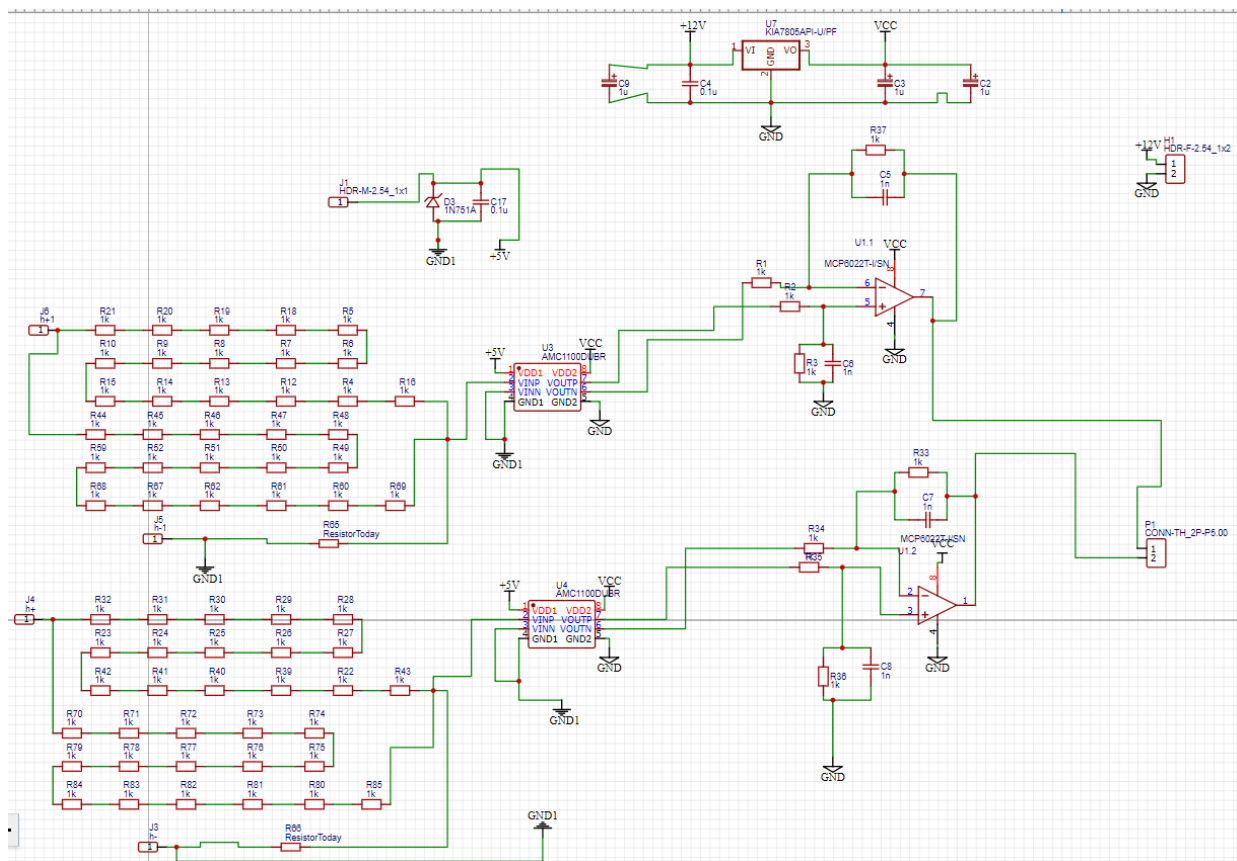


Рисунок 15 – Плата pre-charge

На этой плате расположены микросхемы, отвечающие за разделение высоковольтной и низковольтной системы.

Схема, построенная на AMC1100 DUBR, содержит два аналогичных канала, измеряющих относительно опорного потенциала напряжение пропорциональное напряжению на аккумуляторной батарее и напряжение пропорциональное на входе инвертора (на емкостном накопителе).

Напряжение снимается делителем, построенным на резисторах R1-R85, и обеспечивает деление напряжения со 150 В до 0,3 В (коэффициент деления 1:500). Далее каждый канал содержит дифференциально включенный операционный усилитель U1.1 и U1.2. И выходное напряжение с каждого усилителя передается на триггерный элемент. Конденсаторы C5, C6, C7, C8 предназначены для фильтрации высокочастотных помех, как защита от случайных срабатываний. Питание платы осуществлено с помощью интегрального стабилизатора KIA 7805, который понижает напряжение с 12 вольт до 5 вольт, а конденсаторы C2, C3, C4, C9 служат в качестве фильтра от помех и резких скачков в напряжении питания. Питание микросхемы по первичной стороне АМС 1100dubr осуществлено с помощью параметрического стабилизатора собранном на стабилитроне 1N751A и резисторе.

Для убыстрения разработки было использовано ряд программных продуктов: для узла управления – систему моделирования электронных схем Tina-Ti [14] и систему проектирования, для разработки печатного узла – систему EasyEda.

Работа данной системы проверялась в программе Tina-Ti (рисунок 16).

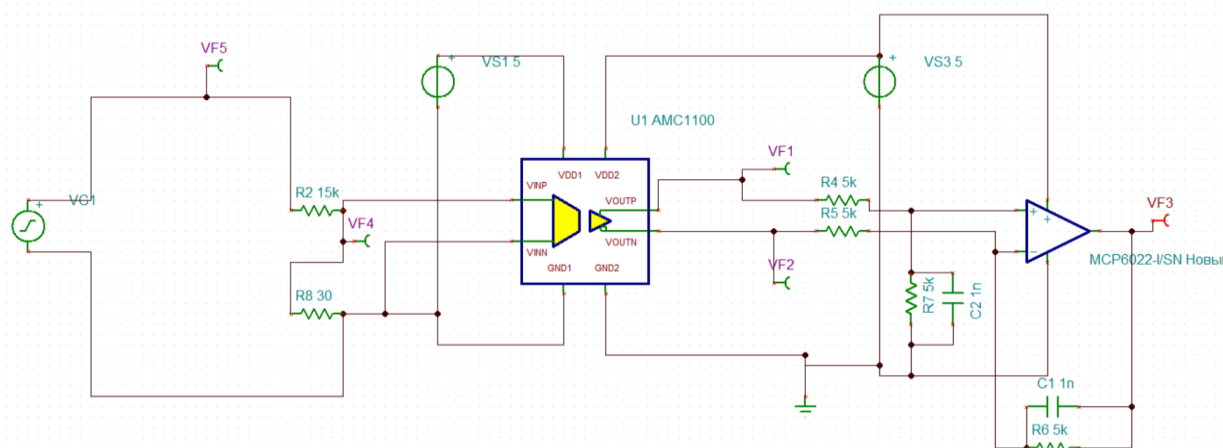


Рисунок 16 – Сборка схемы в Tina TI

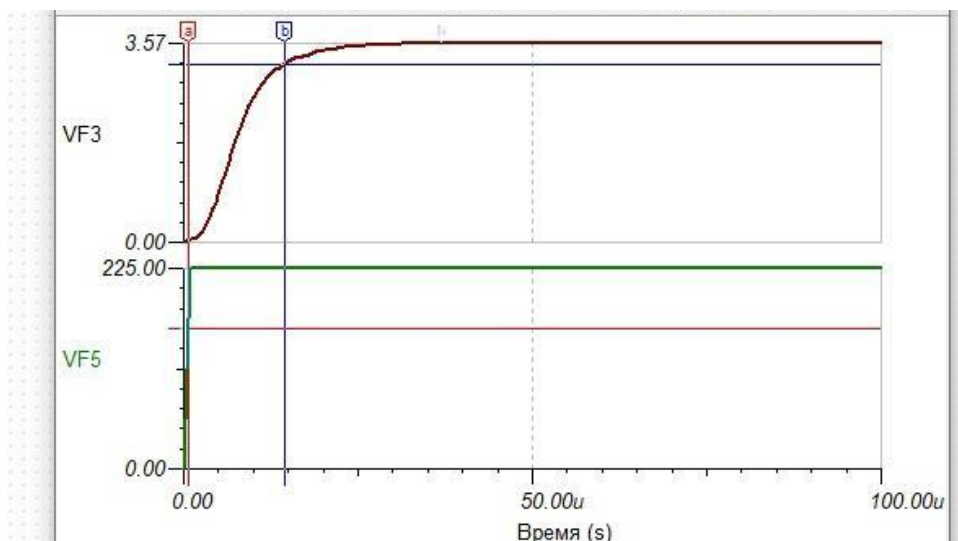


Рисунок 17 – Осциллограмма выходного напряжения на операционном усилителе VF3 канала с АМС1100 при ступенчатой подаче входного напряжения VF5

Из графика (рисунок17) видно, что время срабатывания составляет 16 мкс по уровню фронта 0,9 от установившегося, что является приемлемым, т.к. время срабатывания реле много больше этого значения.

5.2 Разработка триггера

Триггер имеет переключающую характеристику, при которой при достижении напряжения на входе инвертора на уровне 0,95 от уровня на аккумуляторе происходит переключение в высокое состояние. При этом обратного переключения уже не произойдет, обратное переключение возможно при снятии и повторной подаче питающего напряжения. Это сделано для того, чтобы во время больших нагрузок на привод возможная разница из-за помех не происходило обратное переключение реле. Это достигается введением положительной обратной связи в триггере. Триггер собран на микросхеме LM393. Настройка порога включения производится резисторами R5 и R4 (рисунок 18).

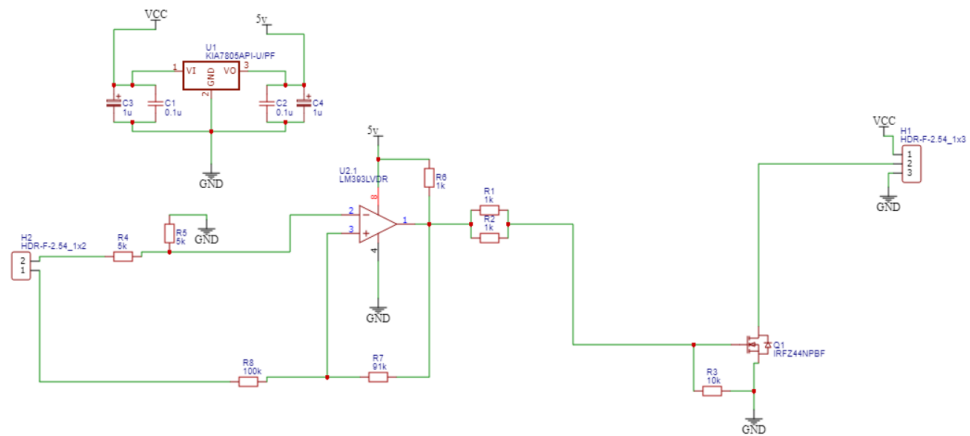


Рисунок 18 – Принципиальная схема платы (узел компаратора LM393)

Пусковая характеристика, снятая с триггера на LM393, собранного на макетной плате, приведена на рисунке 19. По оси X указывается входное напряжение, а по оси Y выходное. Включение происходит, когда происходит превышение опорного напряжения 2,5в, что соответствует, а выключение только при отрицательном напряжении (рисунок 19).

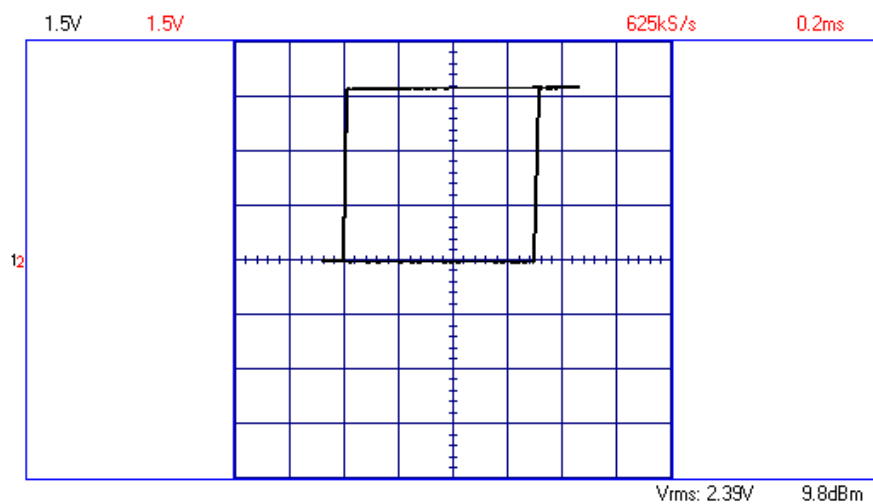


Рисунок 19 – Пусковая триггера

5.3 Расчет Резистора

При последовательном подключение резистора к конденсатору, он образует RC цепь. Когда происходит подача напряжения, конденсатор постепенно заряжается через резистор, заряд будет происходить до тех пор, пока конденсатор полностью зарядится.

При возрастании напряжения на конденсаторе более на 63% ток предварительной зарядке упадет до 36%. Расчет производится по формуле (1).

$$T = R \times C, \quad (1)$$

где T – время зарядки, секунд;

R – сопротивление резистора, Ом;

C – емкость конденсаторов, мкф.

Так как кривая RC экспоненциальна, то зарядка конденсатора на 100% невозможна.

Поэтому для проектирования системы предварительного заряда рекомендуется использовать $5T$, благодаря этой методике обеспечивается заряд конденсатора на 99,3%.

Желаемое время зарядки 5 секунд, таким образом $5T=5$

$1T=1$ секунда исходя из этого подберем сопротивление

$$1=R*0.01032$$

$R=96,9$ ом, округлим до 100 Ом.

Поэтому формула для определения напряжения на конденсаторе в любой момент времени в течении периода предварительного заряда конденсатора определяется по следующей формуле (2):

$$V_c(t) = V_s \times (1 - e^{-\frac{t}{RC}}), \quad (2)$$

где V_c – напряжение на конденсаторе, вольт;
 V_s – напряжение питания аккумулятора, вольт;
 t – время с момента подачи напряжения, секунд;
 RC – постоянная времени RC-цепи, Ом, Фарад;
 e – математическая постоянная, $e = 2,71828$.

Исходя из этой формулы напряжение на конденсаторе будет составлять 98 процентов от напряжения батареи, когда пройдет только $4T$, а период от $0T$ до $4T$ называется переходным периодом.

С током аналогичная ситуация. Ток, поступающий на конденсатор в любой момент предварительного заряда, можно определить по формуле (3):

$$I(t) = \frac{V_s - V_c(t)}{R}, \quad (3)$$

где I – ток, протекающий через конденсатор, Ампер;
 V_s – напряжение питания батареи, вольт;
 V_c – напряжение на конденсаторе, вольт;
 R – значение сопротивления, Ом.

На графике ниже представлено почему $5T$ является оптимальным временем для заряда конденсатора (рисунок 20).

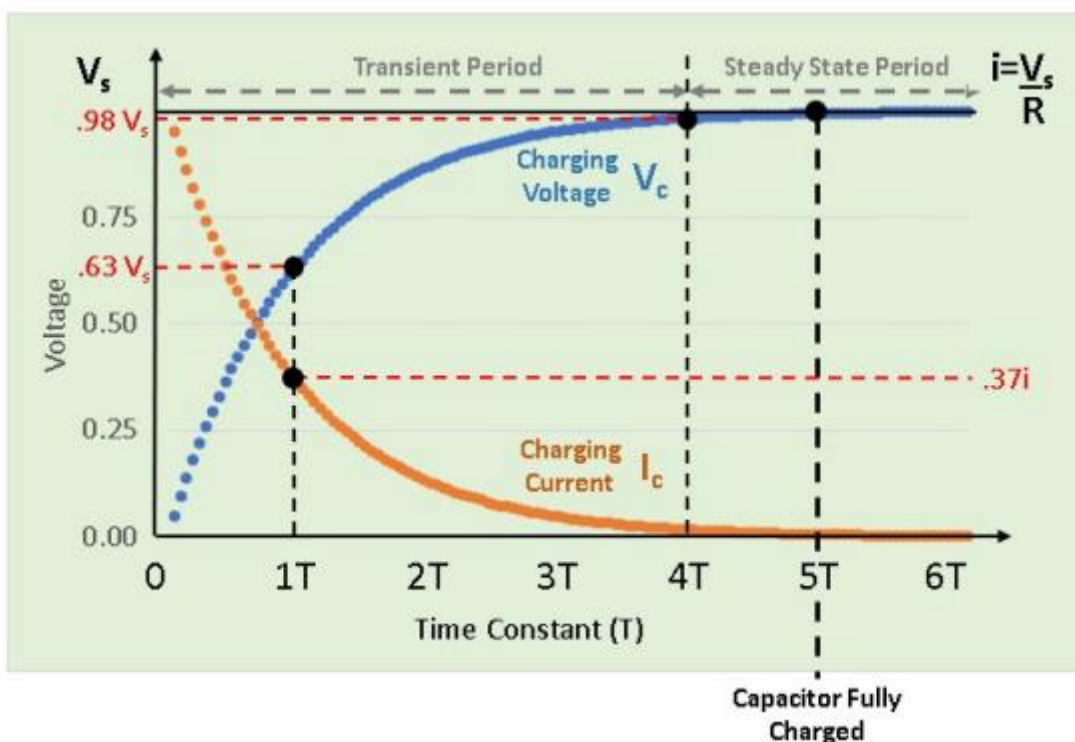


Рисунок 20 – Заряд конденсатора

На графике представлена зависимость тока и напряжения от времени заряда конденсатора от батареи. Исходя из данного графика сопротивление резистора определяется емкостью нагрузки и желаемым временем предварительной зарядки.

К нашему инвертору с входной емкостью в 10320 мкФ подключена батарея с максимальным напряжением в 151.2 вольта.

Нашу систему необходимо зарядить за 1 секунду исходя из этого произведем следующие расчеты по формуле (4):

$$V_c = 151.2 \times (1 - e^{(-\frac{0.1}{1,032})}) \quad (4)$$

$$V_c = 13,96369361 \text{ в}$$

Дальнейшие вычисления проведем в эксель для ускорения процесса.

Таблица 1 – Расчеты T

| T | V | e | RC | Vc |
|-----|-------|---------|-------|-------------|
| 0,1 | 151,2 | 2,71828 | 1,032 | 13,96369361 |
| 0,3 | 151,2 | 2,71828 | 1,032 | 38,14143205 |
| 0,5 | 151,2 | 2,71828 | 1,032 | 58,05963414 |
| 0,7 | 151,2 | 2,71828 | 1,032 | 74,46872779 |
| 0,9 | 151,2 | 2,71828 | 1,032 | 87,98693357 |
| 1 | 151,2 | 2,71828 | 1,032 | 93,82481645 |
| 2 | 151,2 | 2,71828 | 1,032 | 129,4280973 |
| 3 | 151,2 | 2,71828 | 1,032 | 142,9383141 |
| 4 | 151,2 | 2,71828 | 1,032 | 148,0649752 |
| 5 | 151,2 | 2,71828 | 1,032 | 150,0103663 |
| 6 | 151,2 | 2,71828 | 1,032 | 150,748575 |

Для более наглядной иллюстрации заряда конденсатора построим график зависимостей (рисунок 21).

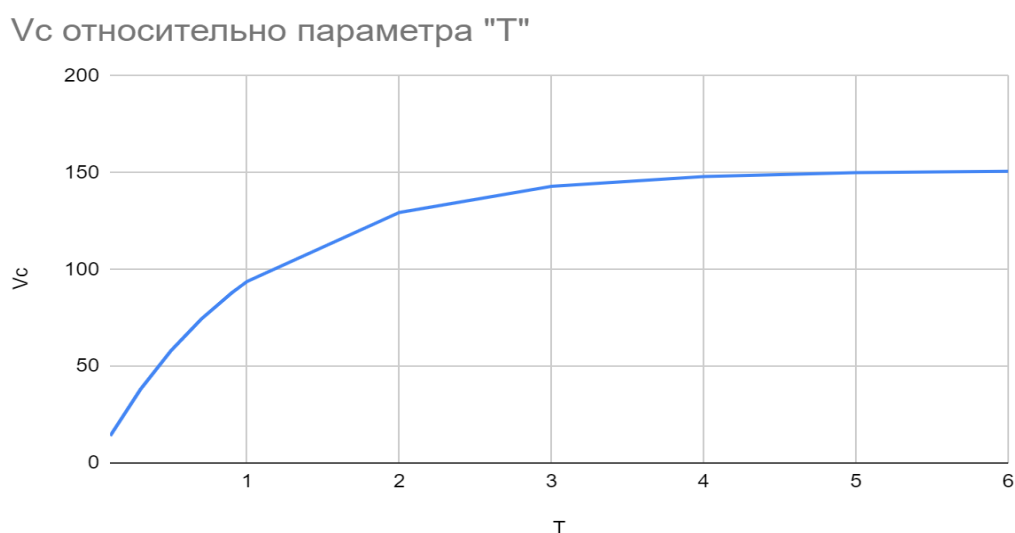


Рисунок 21 – Зависимость напряжение на конденсаторах от времени

Исходя из данного графика видно по достижению к максимальному заряду конденсаторов время заряда увеличивается.

В зависимости от среды использования резисторов существует большое множество их вариаций: алюминиевые, керамические, проволочные, углеродные, тонкопленочные и экструдированные это лишь малая часть из перечисленных.

Так как наш конденсатор будет рассеивать такое же количество энергии, как и общее запасенная в полностью заряженных входных конденсаторах, в соответствии со следующей формулой (5):

$$E = \frac{(C \times V^2)}{2}, \quad (5)$$

где E – энергия, джоули;

C – емкость, Фарады;

V – напряжение, Вольты.

$$E = \frac{(0,01032 \times (151,2)^2)}{2} = 117,9650304 \text{ Дж}$$

Так как нам важно чтобы резистор во время предварительного заряда не вышел из строя он должен быть рассчитан рассеивать мощность во время предварительного заряда.

Так как во время процесса предварительного заряда ток постепенно уменьшается, то и рассеиваемая мощность тоже не является постоянной она постепенно уменьшается. Это можно определить с помощью формулы (6):

$$P(t) = I(t)^2 \times R, \quad (6)$$

где P – мощность, рассеиваемая резистором предварительной зарядки, Вт;

I – Ток через резистор, Ампер;

R – Номинал резистора, Ом.

Для этого нам нужно знать ток, проходящий через резистор в следующие моменты времени: 0.1с, 0.3с, 0.5с, 0.7с, 0.9с, 1с, 2, 3с, 4с, 5с. Для этого используем формулу (4) для расчета тока в любой момент времени

А также нужно знать напряжение на конденсаторе в тот же момент времени.

Расчеты времени от тока приведены в таблице ниже:

Таблица 2 – Расчеты времени от тока

| T | V | R | Vc | I |
|-----|-------|-----|-------------|----------------|
| 0,1 | 151,2 | 100 | 13,96369361 | 1,372363064 |
| 0,3 | 151,2 | 100 | 38,14143205 | 1,130585679 |
| 0,5 | 151,2 | 100 | 58,05963414 | 0,9314036586 |
| 0,7 | 151,2 | 100 | 74,46872779 | 0,7673127221 |
| 0,9 | 151,2 | 100 | 87,98693357 | 0,6321306643 |
| 1 | 151,2 | 100 | 93,82481645 | 0,5737518355 |
| 2 | 151,2 | 100 | 129,4280973 | 0,2177190269 |
| 3 | 151,2 | 100 | 142,9383141 | 0,08261685934 |
| 4 | 151,2 | 100 | 148,0649752 | 0,03135024781 |
| 5 | 151,2 | 100 | 150,0103663 | 0,01189633745 |
| 6 | 151,2 | 100 | 150,748575 | 0,004514249634 |

Для того чтобы увидеть, как меняется характеристика тока от времени, построим график зависимости (рисунок 22).

I относительно параметра "T"

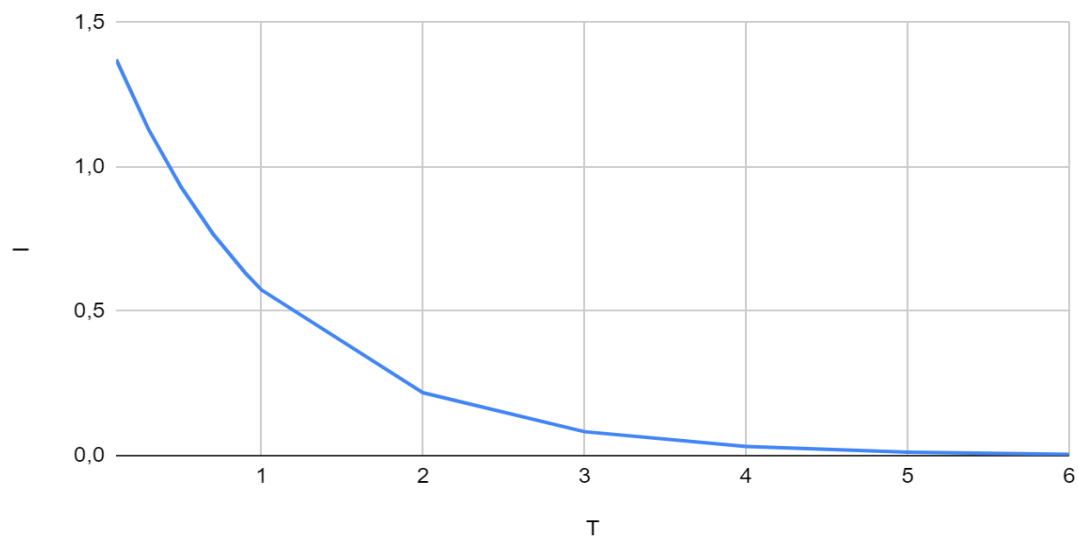


Рисунок 22 – График зависимости тока от времени

Исходя из данных на графике о зависимости тока от времени на конденсаторе мы можем рассчитать мощность в зависимости от времени, результаты расчетов представлены ниже в таблице:

Таблица 3 – Расчеты мощности от времени

| T | R | I | P(t) |
|-----|-----|----------------|----------------|
| 0,1 | 100 | 1,372363064 | 188,3380379 |
| 0,3 | 100 | 1,130585679 | 127,8223979 |
| 0,5 | 100 | 0,9314036586 | 86,75127753 |
| 0,7 | 100 | 0,7673127221 | 58,87688134 |
| 0,9 | 100 | 0,6321306643 | 39,95891768 |
| 1 | 100 | 0,5737518355 | 32,91911687 |
| 2 | 100 | 0,2177190269 | 4,740157469 |
| 3 | 100 | 0,08261685934 | 0,6825545447 |
| 4 | 100 | 0,03135024781 | 0,09828380377 |
| 5 | 100 | 0,01189633745 | 0,01415228447 |
| 6 | 100 | 0,004514249634 | 0,002037844976 |

Для более наглядного примера стоит построить график зависимостей (рисунок 23).

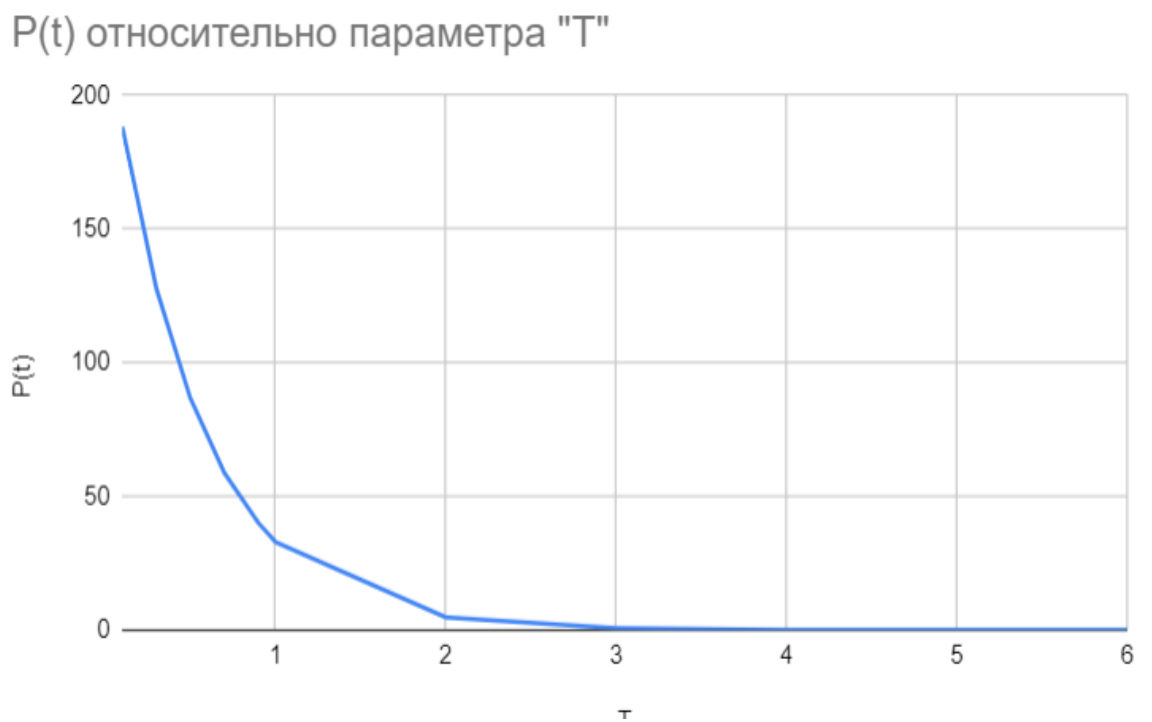


Рисунок 23 – График зависимости мощности от времени

На графике видно, что максимальная мощность достигается в первые секунды подключения резистора к конденсаторам. Пиковая мощность сохраняется только в течение очень короткого времени. Дальше по мере процесса предварительной зарядки мощность будет постепенно рассеиваться до завершения процесса.

При выборе резистора не обязательно учитывать максимальную мощность так как она очень кратковременная. Для выбора резистора достаточно использовать среднюю мощность резистора. Это можно определить из следующей формулы (7):

$$P = \frac{E}{T}, \quad (7)$$

где P – мощность, Ватты;
 E – энергия, джоули;
 T – время, секунды;
 $P = 117,9650304 / 5 = 23$ Вт.

Исходя из произведенных нами расчетов продолжительность предварительной зарядки относительно невелика, можно с легкостью подобрать резистор, который будет обеспечивать такую мощность, а также мы можем подобрать резистор, который в разы меньше по размерам, что в условиях ограниченного пространства в аккумуляторе позволит сэкономить немало места (рисунок 24).

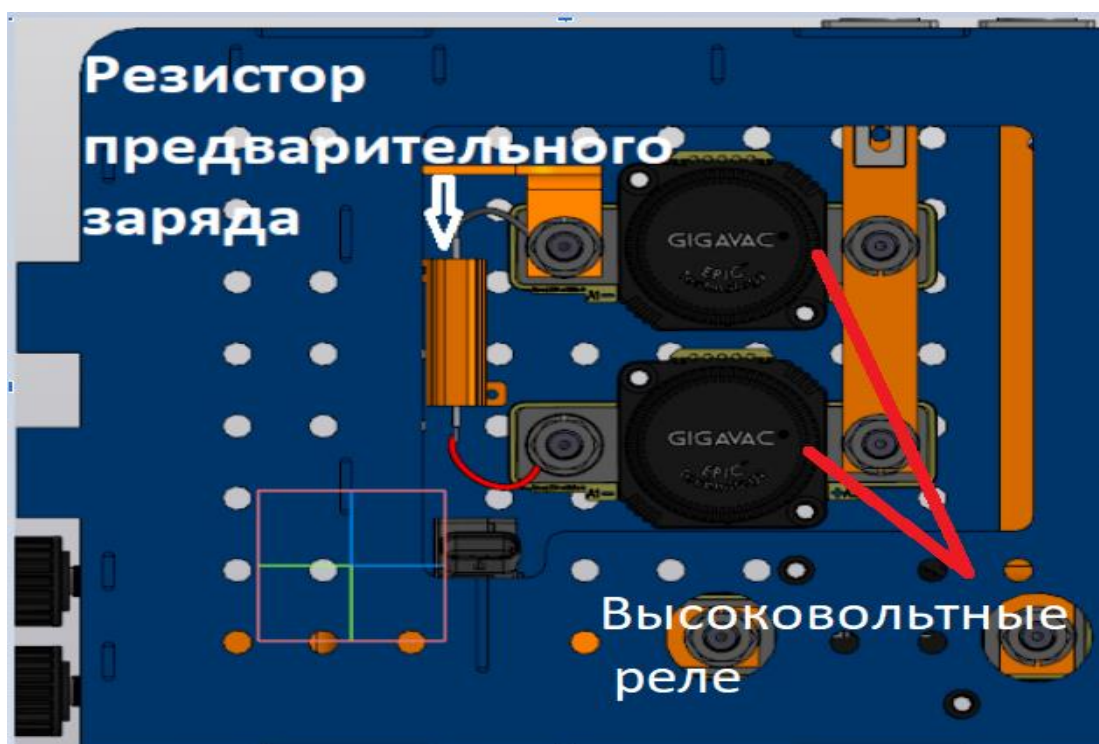


Рисунок 24 – Расположение резистора в центральном блоке аккумулятора

Для нашей системы предварительного заряда нами было использован резистор на 50Вт 100Ом [11]. Да исходя из расчетов можно было

использовать резистор с меньшей мощностью, данный запас в мощности оправдывается тем, что производитель в характеристиках указал максимальную мощность, которую резистор может выдерживать непродолжительный отрезок времени (рисунок 25).

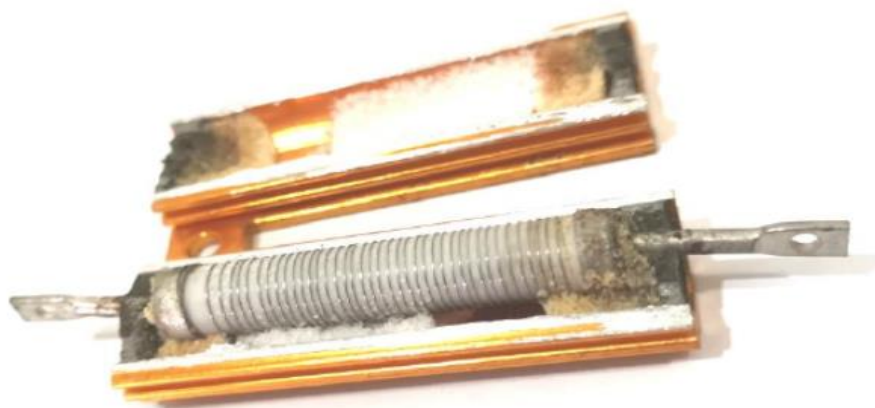


Рисунок 25 – Резистор в разрезе

Используемый нами резистор имеет алюминиевую оболочку с ребрами для отвода тепла выделяемого во время процесса предварительного заряда. Также еще один элемент обеспечивающий отвод тепла является керамическая оболочка, которая находится под алюминием, она покрывает собой обмотку резистора, помимо функции рассеивания тепла керамическая оболочка также выступает в роли диэлектрика между корпусом резистора и проволокой.

Выводы по разделу

Проведя расчеты и анализ удалось подобрать необходимые для работы компоненты, которые успешно получилось разместить, это сильно сэкономило время при разработке не только всей системы Pre-charge, а также позволило высоковольтному аккумулятору стабильно работать.

6 Разработка системы мониторинга состояния батареи

6.1 Разработка схемы подключение наших девайсов

На начальном этапе разработке нашей системы для дальнейшего понимания и экономии времени, сделаем принципиальную схему (рисунок 26).

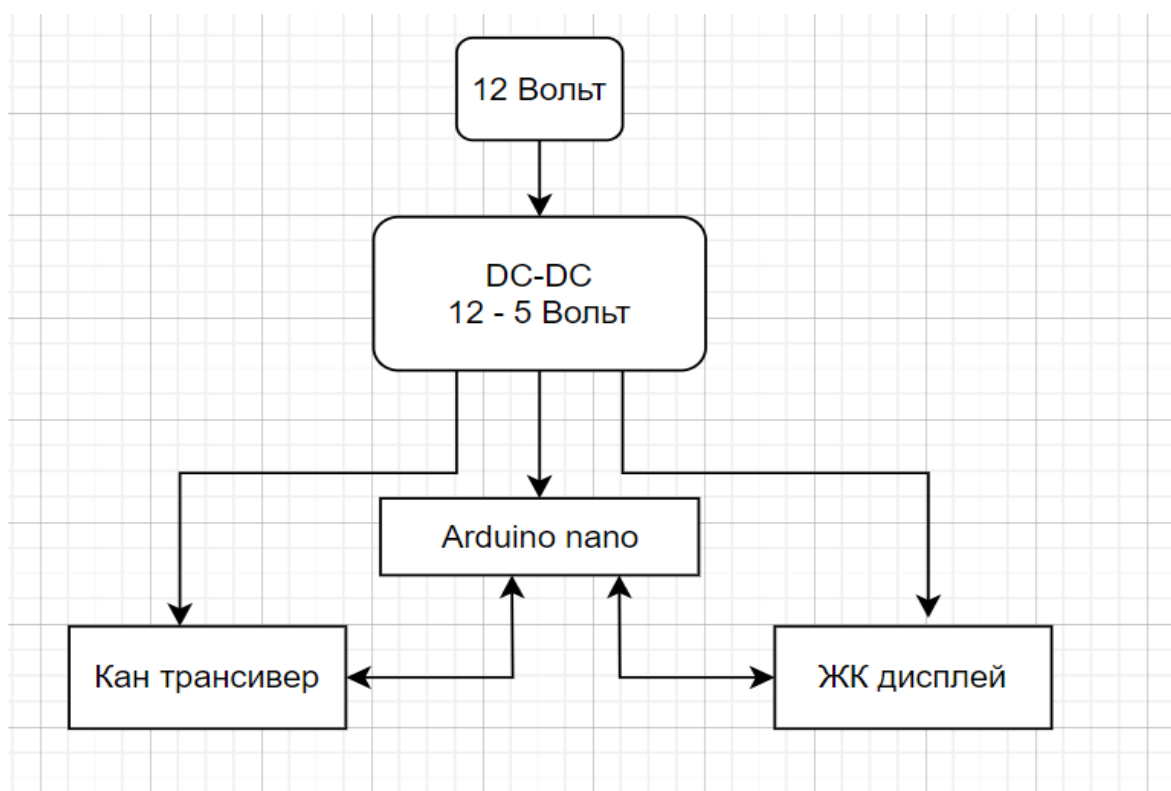


Рисунок 26 – Подключение девайсов между собой

Разработка блок схемы взаимодействия устройств между собой облегчает нам дальнейшую проектировку нашего устройства.

6.2 Разработки схемы подключения нашего устройства

Для дальнейшей проектировки нашего устройство следует сделать блок-схему, которая будет отображать взаимодействия нашего девайса с другими системами.

Для этого нарисуем схему в графическом редакторе (рисунок 27):

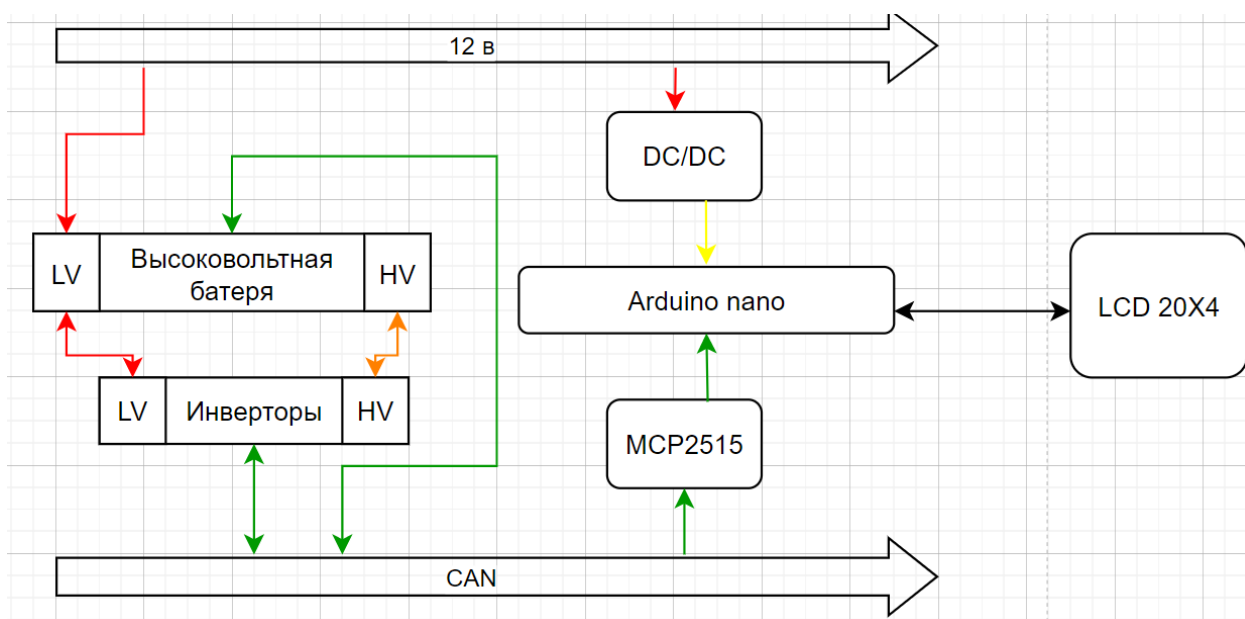


Рисунок 27 – Взаимодействие с другими устройствами

Данная схема наглядно иллюстрирует взаимодействие устройств через CAN-шину, это позволит нам ускорить процесс разработки.

6.3 Разработка программного обеспечения

Так как мы используем микроконтроллер arduino nano, то выбор среды программирования был очевиден это Arduino IDE [13].

Данная среда является стандартом для разработки программного обеспечения на микроконтроллере Arduino. Так как наша программа не будет

содержать у себя много алгоритмов и только принимает данные и не отправляет их, она вполне закрывает наши потребности в написании кода.

Начало проектирования начинается с подключения библиотек, подключение библиотек требуется для расширения функционала микроконтроллера ардуино, это происходит путем дополнения различных функций и инструментов (рисунок 28).

```
#include <SPI.h>
#include <mcp2515.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

Рисунок 28 – Пример подключения библиотек

Так как CAN трансивер подключается по SPI, было подключена библиотека, которая упрощает подключения.

SPI имеет следующую расшифровку – последовательный периферийный интерфейс, данное подключение позволяет обмен данными ардуино с другими устройствами.

Библиотека MCP2515 [26] предназначена для взаимодействия arduino с другими устройствами с использованием CAN-шины.

Используемый нами дисплей имеет подключения по шине I2C, поэтому нам также требуется подключить библиотеку для работы с дисплеем.

После подключения всех библиотек, которые потребуются нам в работе, в разделе Void Setup, который предназначен для настройки и инициализации тех устройств, которые будут подключаться к микроконтроллеру, производим инициализацию дисплея и его настройки (рисунок 29).

```

void setup() {
    lcd.init(); // initialize the lcd
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("charge%");
    lcd.setCursor(5, 1);
        lcd.print("temp. moto.");
    lcd.setCursor(5, 2);
    lcd.print("temp. inv.");
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("mileage");
}

```

Рисунок 29 – Инициализация устройства и его настройка

После настройки дисплея нам подобную операцию нужно провести с CAN трансивером (рисунок 30).

```

SPI.begin();//инициализируем связь по протоколу SPI
Serial.begin(57600) ; //инициализируем последовательную связь со
// Serial.begin(9600);
mcp2515.reset();
mcp2515.setBaudrate(CAN_250KBPS, MCP_8MHZ); //устанавливаем скорость шины
mcp2515.setNormalMode(); //устанавливаем CAN-шину в обычный режим
// int canMsg.data[0] = id;

```

Рисунок 30 – Инициализация MCP2515

Для начала мы инициализируем связь между arduino и MCP2515 по протоколу SPI, после устанавливаем последовательную связь, затем производим настройки CAN шины.

После того как мы произвели все настройки чтобы сделать код более удобным в чтении мы создаем новую функцию и называем ее void getMessage (рисунок 31).

```
void getMessage(){
    if (mcp2515.readMessage(&canMsg) == MCP2515::ERROR_OK)
    {
        if (canMsg.can_id == 0x8CF11F05) {
a = canMsg.data[0];
i= canMsg.data[1];
m = canMsg.data[2];
} else if (canMsg.can_id == 0x8CF11E05) {
ls = canMsg.data[0];
ms = canMsg.data[1];
v1 = canMsg.data[6];
vm = canMsg.data[7];
}
}
```

Рисунок 31 – Обработка сообщений

В данном разделе мы выбираем can id, данные о id мы можем найти в характеристиках устройств, от которых нам требуется получить сообщения, после чего к номерам сообщений получаемых по CAN шине присваиваем значения.

Когда все переменные были присвоены в функции void loop, которая предназначена для выполнения кода циклично до тех пор, пока контроллер не будет выключен, преобразование значения, так как они были получены в 8-битном формате и при выводе на дисплей не будут понятны для пилота (рисунок 32):

```

void loop() {
  getMessage();
  float s = ((ms*256) + 1s);
  float b = ((vm*256) + v1);
  int bat = ((b - min_v) / (b - min_v)) * 100;
  //printlnDisplay();
  //Serial.println(a);
  //Serial.println(s);
  Serial.println(bat);
  //Serial.println(canMsg.can_id, HEX);
  //delay(500);
  lcd.setCursor(8, 0);
  lcd.print(bat);
  lcd.setCursor(1, 1);
  lcd.print(m);
  lcd.setCursor(1, 2);
  lcd.print(i);
}

```

Рисунок 32 – Работа с данными

Также нам нужно указать расположения наших переменных на дисплее, это делается функцией `lcd.setCursor(8,0)`, первая цифра которой отвечает за расположения вдоль дисплея, а вторая расположение по ширине.

Для более понятного разбора работы программы, мы нарисуем блок-схему (рисунок 33):



Рисунок 33 – Блок схема программы

Выводы по разделу

Одним из самых ответственных процессов в создание нашего устройства является написание программного обеспечения, которое будет стабильно работать и не будет иметь задержек в отображение информации.

Также в связи с тем, что написанная нами программа [Приложение А] оказалось не очень большой, она способна без каких-либо трудностей функционировать на микроконтроллере Arduino.

7 Создание печатных плат

Для начала требуется подобрать подходящую САПР программу, в которой можно будет спроектировать наши платы. Проектирование печатных плат в специально отведенных для этого САД-ПРОГРАММАХ сильно позволяет экономить время на разработку устройства и сделать качественных продукт.

На данный момент на рынке представлено большое количество программ, мною были отобраны следующие варианты – Cadence Allegro, EasyEDA и DipTrace.

Cadence Allegro представляет собой САПР программу для проектирования схем и печатных плат. Мы ее не выбрали так как данное программное обеспечение требует лицензионный доступ и является очень сложным в освоение. В основном данную программу используют на массовых предприятиях (рисунок 34).



Рисунок 34 – Рабочее пространство Cadence Allegro

DipTrace является системой, которая в своей основе имеет 4 приложения для работы с печатными платами – это редактор схем, редактор микросх, редактор печатных плат и посадочных отверстий. Данная

многофункциональная система включает в своей базовой библиотеке более 140 тысяч микросхем (рисунок 35).

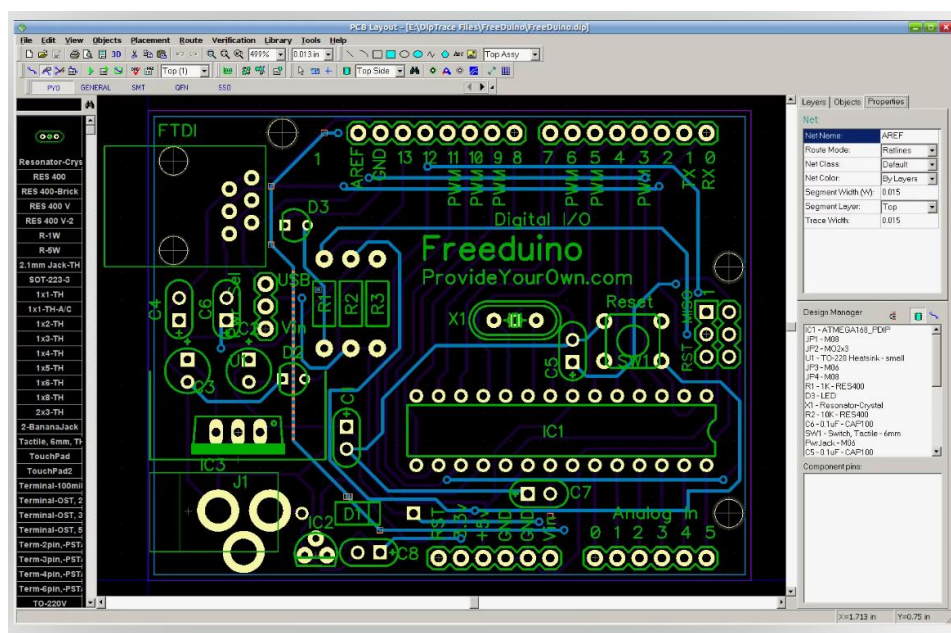


Рисунок 35 – Рабочее пространство Diptrace

EasyEda – это веб инструмент для разработки и проектирования печатных плат. Он позволяет не только проектировать платы для их дальнейшего производства, а также проводить симуляции что позволяет проверить работоспособность платы перед ее производством. Также он имеет большую библиотеку микросхем, которая постоянно обновляется пользователями, в данной системе можно самостоятельно создать нужную микросхему (рисунок 36).

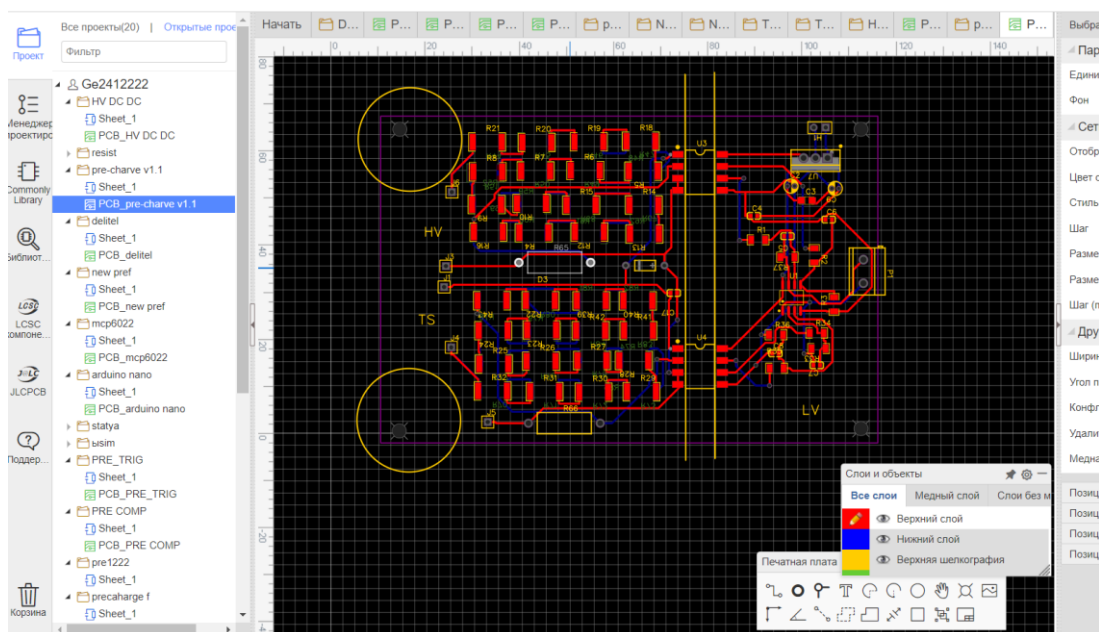


Рисунок 36 – Рабочее пространство EasyEda

EasyEda имеет следующие возможности для изготовления печатных плат:

- создание принципиальной схемы;
- симуляция схем;
- создание и редактирование электронных компонентов;
- генерация по принципиальной схеме печатной платы;
- автоматическое распределение дорожек на печатной плате;
- генерация Gerber файла;
- облачное хранение.

Для создания печатной платы была выбрана EasyEda, так как она имеет весь функционал, который нам необходим, а также имеет бесплатную лицензию.

Первым действием при создании принципиальной схемы это, на ранее созданной рабочей области, добавление необходимых нам для работы микросхем и других компонентов, так как некоторых компонентов, которые

нам нужны для работы нету в стандартной библиотеке мы воспользуемся расширенной (рисунок 37):

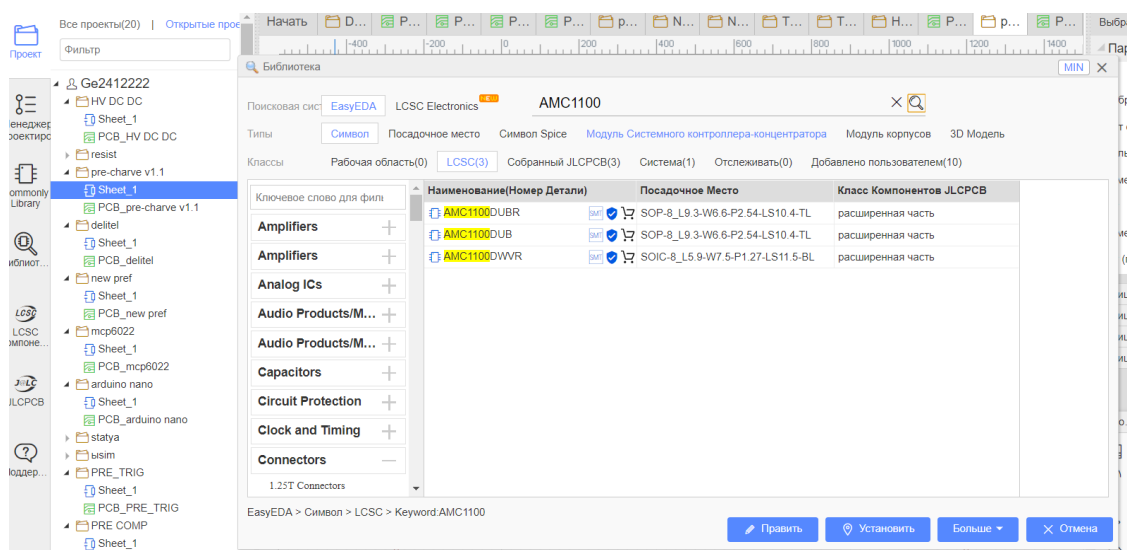


Рисунок 37 – Расширенная библиотека EasyEda

После того как все интересующие нас компоненты были расположены в рабочем пространстве, нам необходимо выстроить между ними электрическую связь:

В колонке соединения выбираем тип соединения Wire (провод) (рисунок 38):

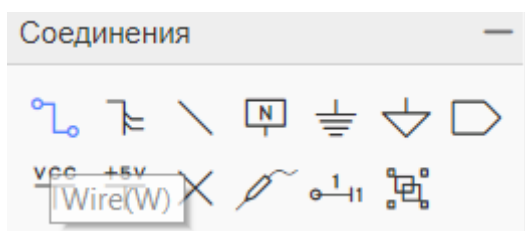


Рисунок 38 – Колонка соединений

Также в данной колонке представлены другие типы соединения, так как GND, использование таких соединений позволяет сильно улучшить читаемость схемы электрического соединения (рисунок 39).

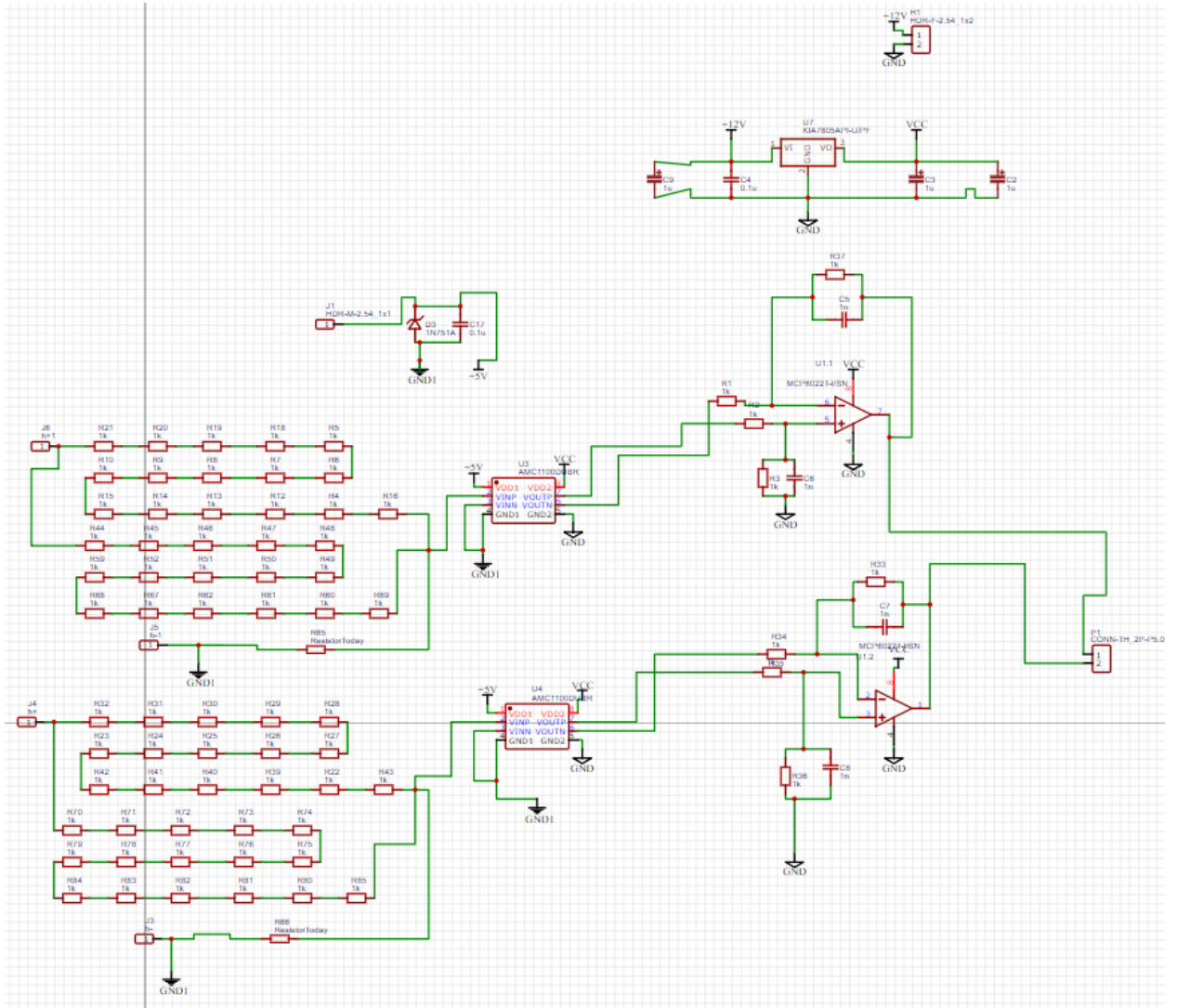


Рисунок 39 – Общий вид принципиальной схемы

После того как схема была нарисована, для дальнейшей работы с ней требуется ее преобразовать в печатную плату (рисунок 40):

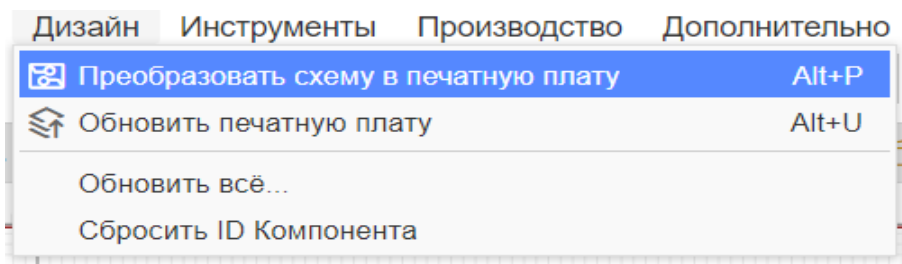


Рисунок 40 – Преобразования печатной платы

Когда процесс преобразования печатной платы завершен, программа предложит автоматические настройки по размерам печатной платы (рисунок 31):

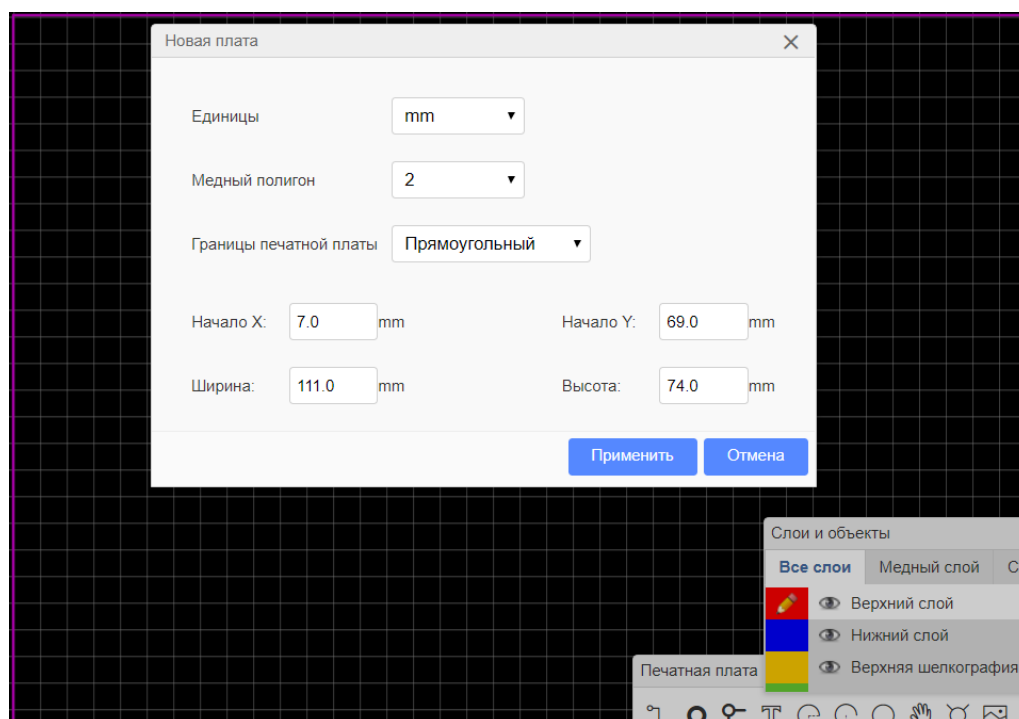


Рисунок 41 – Настройки размеров

Но так как наша плата будет располагаться внутри аккумуляторной батареи эти настройки нам не подходят поэтому они были изменены под наши требования.

Следующим шагом было расположение всех элементов на печатной плате, для платы отвечающий за гальваническую развязку это очень важный пункт, так как высоковольтная и низковольтная часть должны располагаться на разных частях платы. При создании компактной платой мы используем несколько слоев для расположения компонентов (рисунок 42):

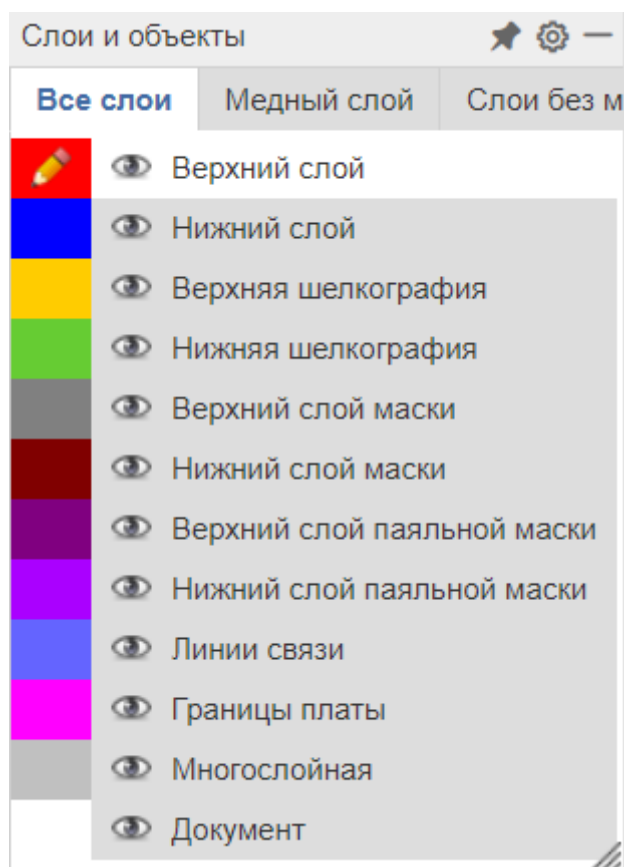


Рисунок 42 – Слои платы

Для расположения компонентов, требуется использовать верхний и нижний слой, это позволяет сильно сэкономить место на плате (рисунок 43).

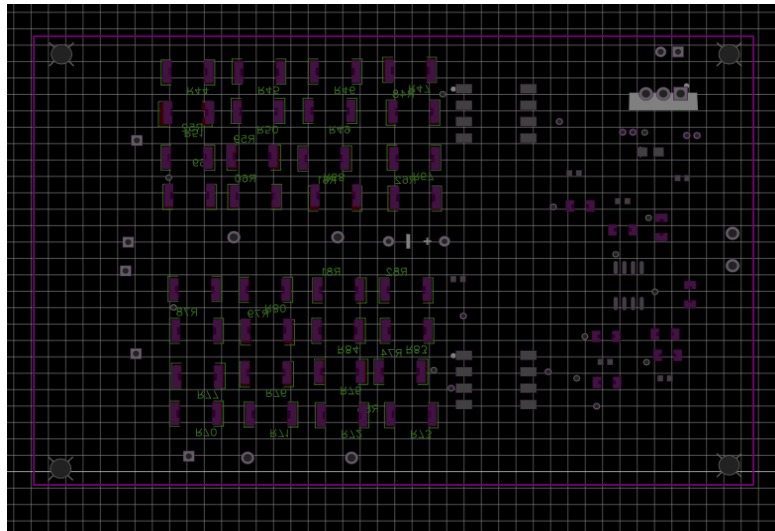


Рисунок 43 – Расположение компонентов

После того как все компоненты были расположены на своих местах требуется нанесения шелкографии для наглядного расположения систем на плате (рисунок 44):

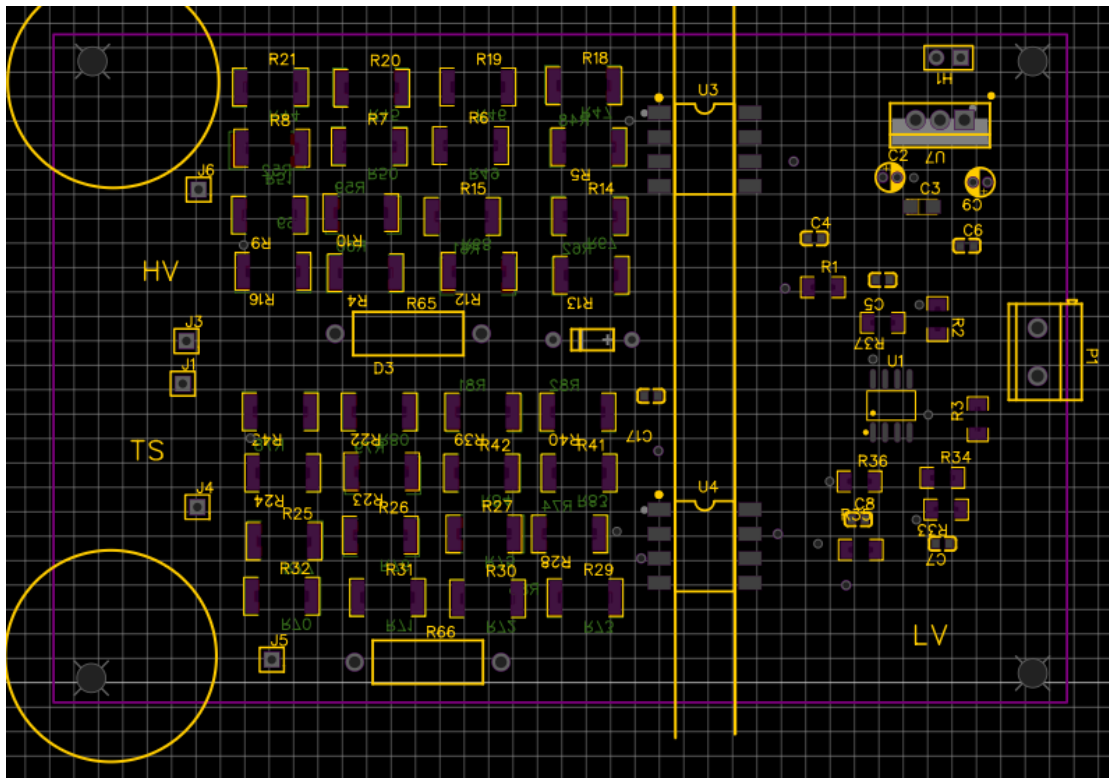


Рисунок 44 – Разводка платы

Исходя из требований регламента соревнований высоковольтная часть имеет обозначение HV, а низковольтная LV.

Так как на нашей плате представлено большое количество компонентов при электрическом соединении их друг с другом могут возникнуть некоторые ошибки поэтому мы воспользуемся автотрассировщиком.

Автотрассировщик имеет собственное меню, в котором можно выставить значение ширины дорожки, расстояние дорожки, зазор и диаметр переходного отверстия (рисунок 45):

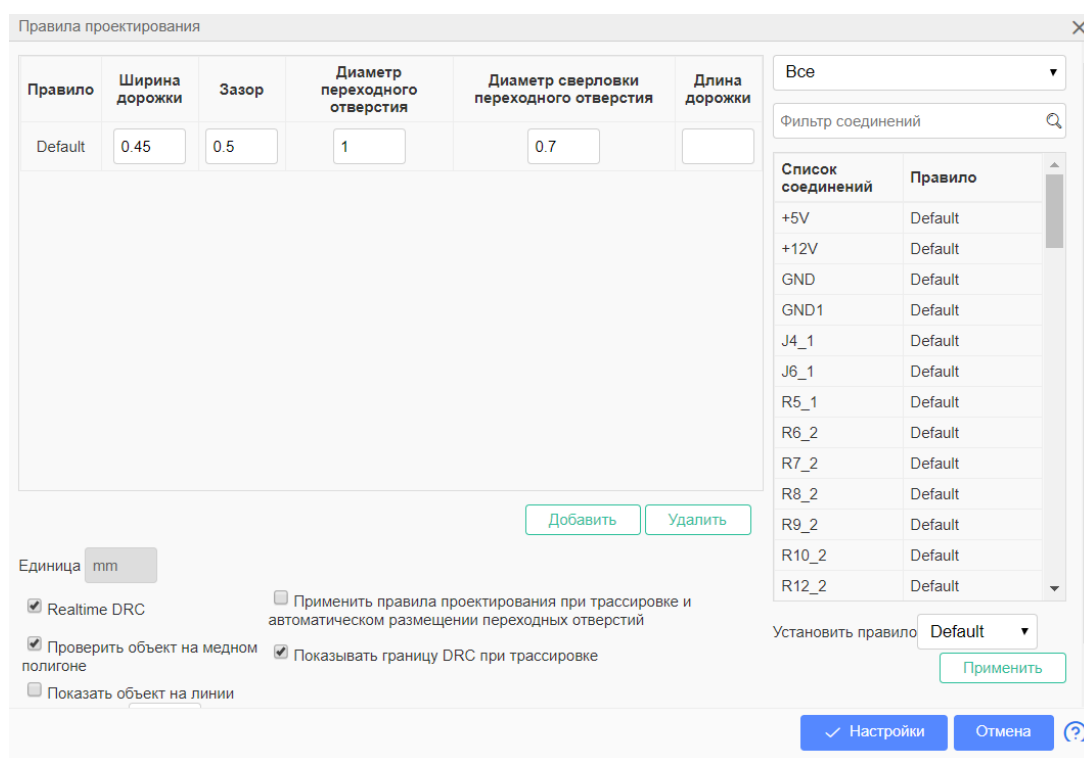


Рисунок 45 – Правила проектирования

В зависимости от того какие слои были выбраны будет производится разводка на этих слоях. После размещения всех разъемов, микросхем, обозначений мы также добавили крепежные отверстия на плате под m3 (рисунок 46).

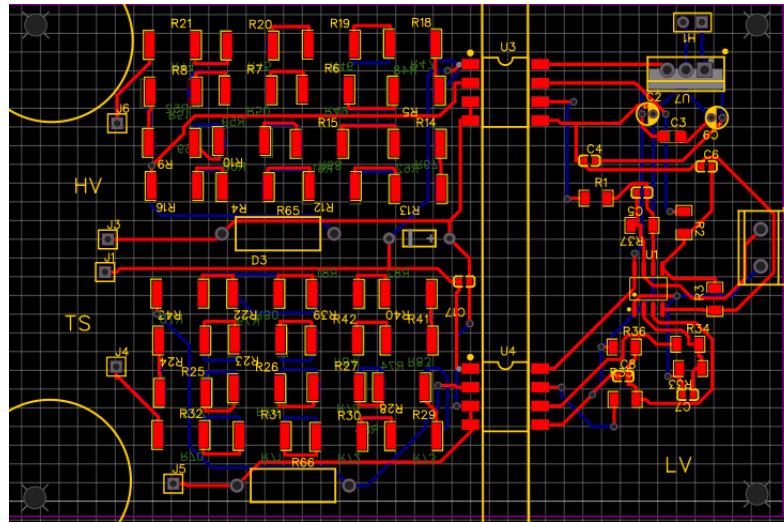


Рисунок 46 – Плата после трассировки

После автоматической трассировки понадобилась немного подправить дорожки, потому что некоторые из них могли пересекаться между LV и HV (рисунок 47) и (рисунок 48).

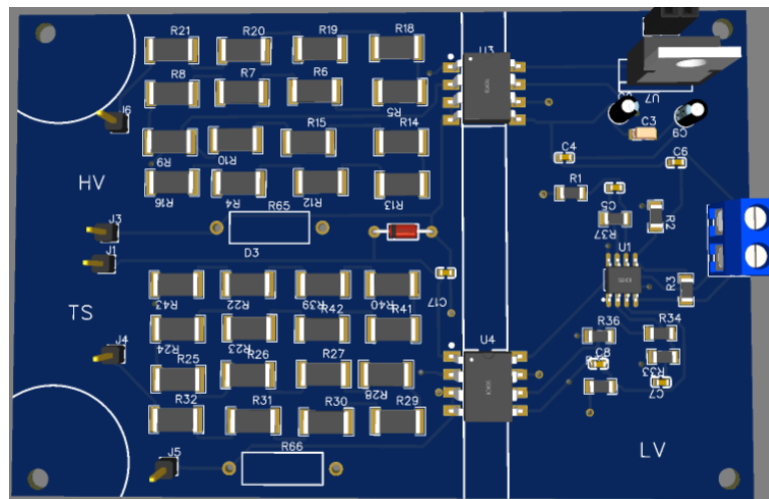


Рисунок 47 – Вид плат сверху

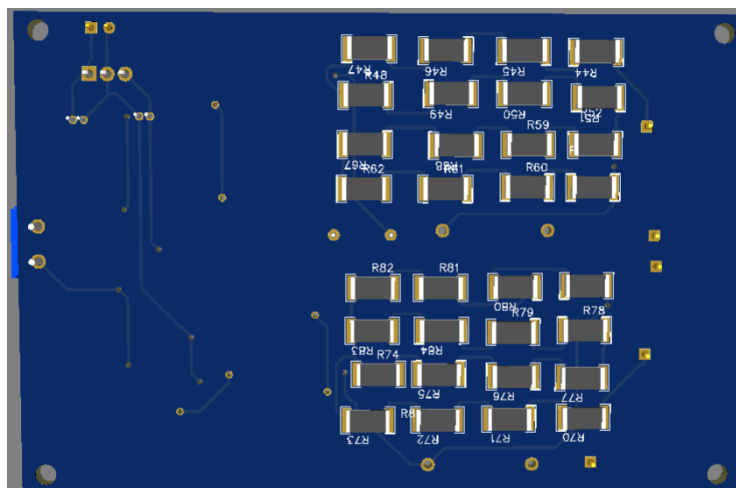


Рисунок 48 – Вид платы снизу

После создание модели печатной ее требуется изготовить, конечно, можно было бы это сделать самому, но это сложный процесс, поэтому не получится изготовить платы хорошего качества, так же для нанесения шелкографии требуется специальной дорогой инструмент. Поэтому мы попросили компанию “Резонит” изготовить нам печатные платы по спонсорской программе.

Сам процесс подготовки печатных плат к производству состоит в следующем, в специальном окне нам нужно сформировать Gerber файл. Перед началом преобразования нашей платы в Gerber файл программа проверяет все соединения по заданным нами настройкам и в случае возникновения ошибок предупреждает об этом (рисунок 49):

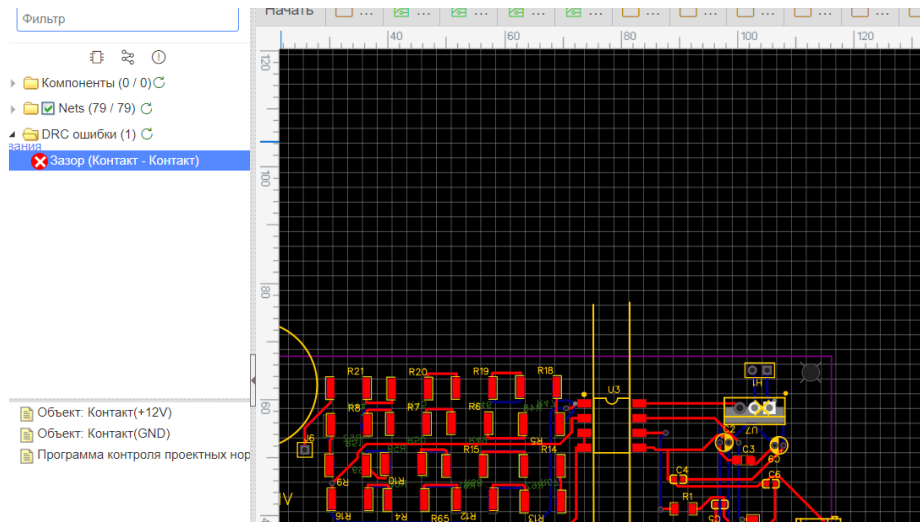


Рисунок 49 – Предупреждение об ошибке

После проверки платы на ошибки, происходит настройка Gerber файла (рисунок 50):

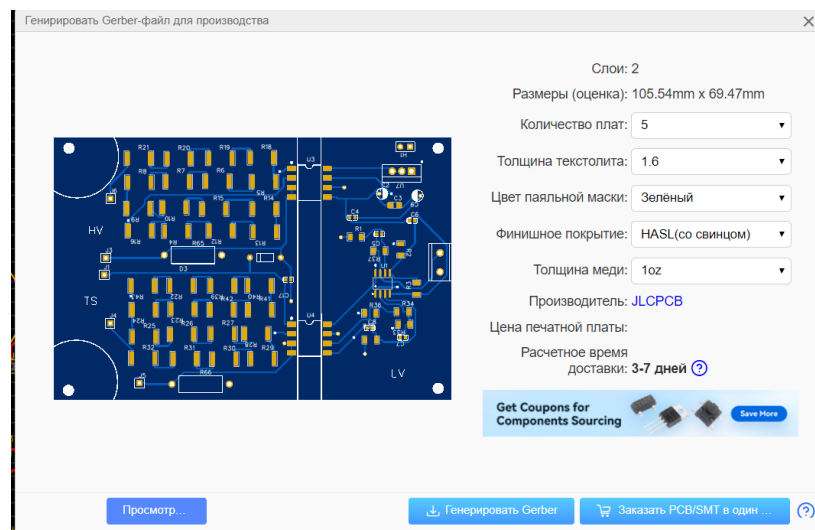


Рисунок 50 – Настройка

Выбирается количество плат, которое нужно готовить, толщина текстолита и цвет паяльной маски, который по итогу будет влиять на окрас нашей платы.

Изготовленные печатные платы можно увидеть на рисунке 51 и на рисунке 52.

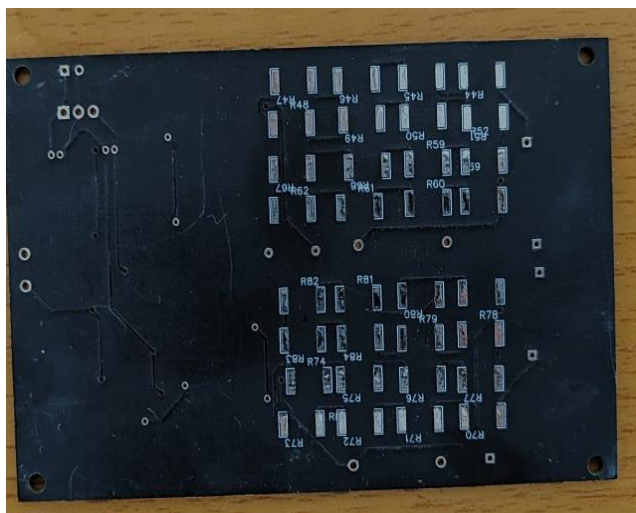


Рисунок 51 – Итоговый результат

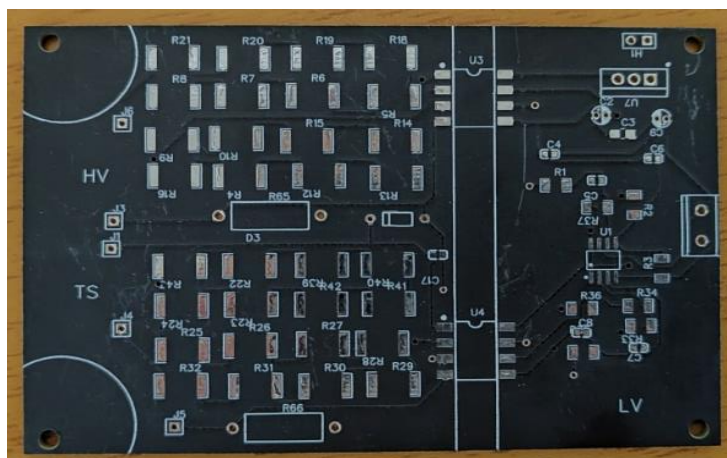


Рисунок 52 – Итоговый результат

Выводы по разделу

Проектирования печатной платы является одним из завершающих этапов разработки устройства. Благодаря развитию современных технологий и облачных сервисов этот процесс становится намного проще и быстрее, а также дешевле.

8. Экспериментальная часть системы Pre-charge

Перед установкой наши системы в автомобиль ее необходимо проверить, на стенде. Так как наша система имеет важный приоритет в работе автомобиля нельзя упускать этот пункт. Если плата не будет проверена и настроена это может привести к плачевным последствиям таким как сваривания высоковольтных контакторов или еще хуже выхода из строя какого-либо из инверторов.

Для обеспечения безопасности экспериментальная часть проводилась на напряжение до 60 вольт. Стенд был собран из имеющихся комплектующих (рисунок 53):

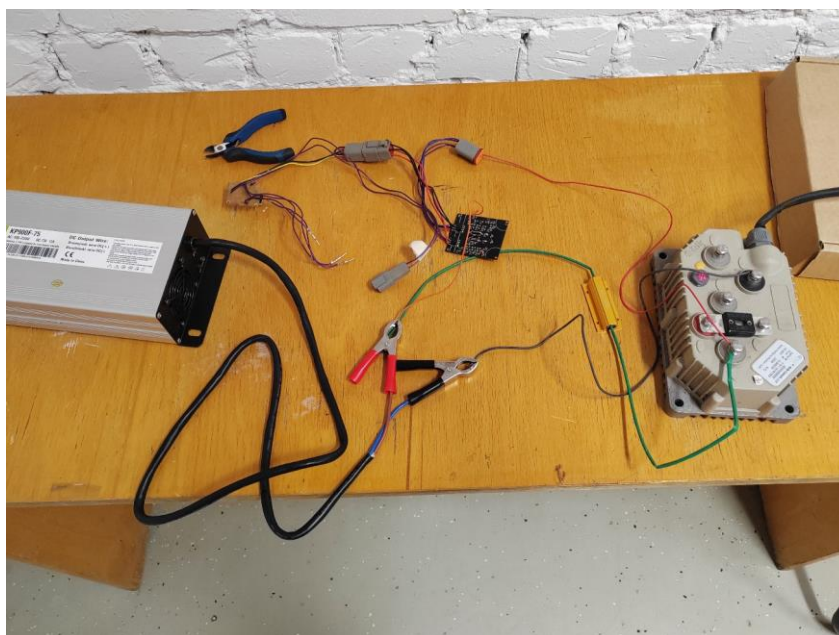


Рисунок 53 – Экспериментальная часть

В качестве емкости был выбран контроллер Kelly KLS 1701, он имеет программное обеспечение позволяющие отслеживать показатели на инверторе (рисунок 54).

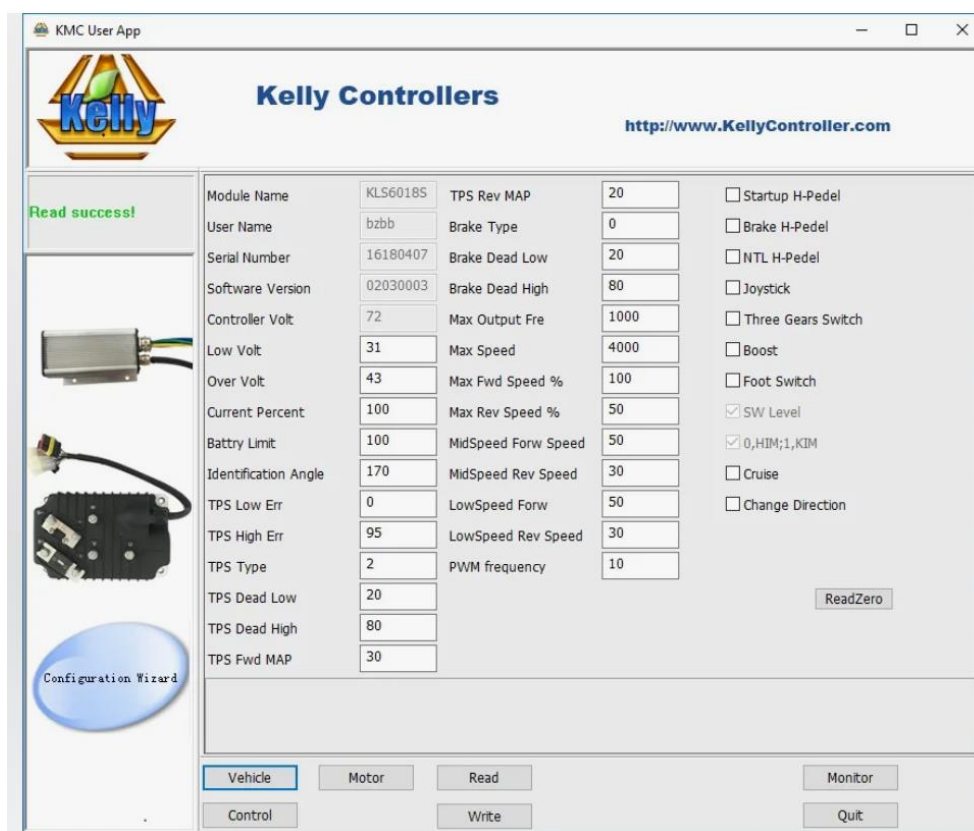


Рисунок 54 – Показатели контроллера

Через данные показатели были выставлены значения срабатывания высоковольтных реле.

Выводы по разделу

Экспериментальная часть сильно облегчило дальнейшую эксплуатацию устройства и предотвратило раннее срабатывания высоковольтных контакторов, что предотвратило выход из строя устройств высоковольтной системы. Данная часть является очень важным этапом в проектировании электромобиля.

Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы была разработана система предварительного заряда и система мониторинга состояния батареи.

Начальном этапом в разработке систем было изучение регламента, так как наши системы должны соответствовать ему иначе болид не будет допущен к проведению динамических испытаний.

Анализ систем является одним из основных при проектировании устройств. Он делается для дальнейшего понимания хода работы, а так же для обеспечения стабильной работы устройств с другими системами.

После проведение анализа доступных решений на рынке и того что используют в автомобильной промышленности было принято решение разработать устройство с нуля под нашу систему которая удовлетворяла наши требования.

Так как наши системы должны удовлетворять требования регламента, то подбор компонентов был очень важной частью проектирования устройств. Во время анализа работы систем стало понятно, что основные требования при разработке устройств относятся в основном к девайсам, которые имеют высоковольтную часть. Нельзя допускать близкого расположения низковольтной и высоковольтной сети, так как это может повлечь за собой не только автоматический сход с соревнований, но и к человеческим жертвам.

В процессе разработки систем я познакомился со средой разработки и симуляции печатной платы Tina Ti. В ней удалось провел симуляцию работы плат что довольно сильно сократило время проектирование и разработки нашей системы, а так же сделала процесс сборки и интеграции устройств в болид легче и безопаснее, удалось избежать непредвиденных последствий, которые могли негативно сказаться на дальнейших этапах работы. Также был проведен анализ и других сред для разработки печатных плат и выбрана самая удобная для нашей системы это EasyEDA с помощью данной программы удалось создать печатную.

Список используемых источников

1. 7 правил проектирования печатных плат [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/414141/> (дата обращения: 05.03.2024).
2. ВА3-2102Э/2801 [Электронный ресурс] URL: ВА3-2801 — Википедия (wikipedia.org) (дата обращения: 11.12.2023).
3. Дифференцированная оптопара АМС1100DUBR [Электронный ресурс] URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/737279/TI/AMC1100DUBR.html> (дата обращения: 08.09.2023).
4. Компаратор LM393 [Электронный ресурс] URL: <https://static.chipdip.ru/lib/922/DOC012922639.pdf> (дата обращения: 12.01.2024).
5. Контроллер Kelly KLS 14401-8080I datasheet [Электронный ресурс]. URL: [KellyKLS-8080NNPSUserManualV1.13-120N-3.pdf – Yandex Documents](#) (дата обращения: 11.03.2023).
6. Операционные усилители – проблема выбора [Электронный ресурс]. URL: <https://kit-e.ru/bez-rubriki/operacziionnye-usiliteli-problema-vybora-2/> (дата обращения: 15.10.2023).
7. Операционный усилитель MCP6022-I/SN [Электронный ресурс] URL: [MCP6021/1R/2/3/4 – Rail-to-Rail Input/Output, 10 MHz Op Amps Data Sheet \(chipdip.ru\)](#) (дата обращения: 05.03.2024).
8. Оптопары особенности выбора и применения [Электронный ресурс] URL: https://www.promelec.ru/articles/optoparyi_osobennosti-vyibora-i-primeneniya/ (дата обращения: 10.01.2024).
9. Печатная плата [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%82%D0%B0 (дата обращения: 08.08.2023).

10. Регламент соревнований Formula Student : FSG [Электронный ресурс] URL: <https://www.formulastudent.de/fsg/rules/> (дата обращения 01.10.2023).
11. Резистор RX24 datasheet [Электронный ресурс]. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/407/DOC009407207.pdf> (дата обращения: 05.03.2024).
12. Среда для построения диаграм и блоков Draw io [Электронный ресурс]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Diagrams.net> (дата обращения: 10.03.2024).
13. Среда разработки Arduino IDE [Электронный ресурс]. URL: [A000066-datasheet.pdf – Yandex Documents](#) (дата обращения: 08.02.2024).
14. Среда разработки Tina-Ti [Электронный ресурс]. URL: [sbou052a.pdf?ts=1705973643258 \(yandex.ru\)](#) (дата обращения: 10.02.2024).
15. Формула E [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Формула_E (дата обращения: 09.09.2023).
16. Электрическая часть Nissan Leaf [Электронный ресурс]. URL: <https://ion-cars.ru/electric-car-system-nissan-leaf/> (дата обращения: 05.10.2023).
17. Электрический конденсатор [Электронный ресурс]. URL: [Электрический конденсатор — Википедия \(wikipedia.org\)](#) (дата обращения: 10.10.2024).
18. Электромобиль [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%20%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%20%D1%8C> (дата обращения: 10.06.2024).
19. Arduino Nano V3 [Электронный ресурс]. URL: [arduino_nano3.pdf – Yandex Documents](#) (дата обращения: 05.01.2023).
20. Arduino Project Handbook 25 Simple Electronics Projects for Beginners Volume 2 by Mark Geddes [Электронный ресурс]. URL: <https://www.technicalbookspdf.com/arduino-project-handbook-25-simple->

[electronics-projects-for-beginners-volume-2-by-mark-geddes/](https://www.technicalbookspdf.com/electronics-projects-for-beginners-volume-2-by-mark-geddes/) (дата обращения: 05.03.2023).

21. CMOS Analog Circuit Design Second Edition Author Mr Philip E.Allen and Douglas R.Holberg [Электронный ресурс]. URL: <https://www.technicalbookspdf.com/cmos-analog-circuit-design-second-edition-author-mr-philip-e-allen-and-douglas-r-holberg/> (дата обращения: 01.02.2024).

22. Formula Student Academic Electrical Safety Form [Электронный ресурс]. URL: [2018 ESF Submission.pdf – Yandex Documents](https://www.yandex.ru/documents/2018-ESF-Submission.pdf) (дата обращения: 05.10.2024).

23. LCD display 20x4 [Электронный ресурс]. URL: [RB-LCD20x4-Datasheet_2022-03-08.pdf – Yandex Documents](https://www.yandex.ru/documents/RB-LCD20x4-Datasheet_2022-03-08.pdf) (дата обращения: 26.04.2024).

24. Principles of Transistor Circuits Ninth Edition Introduction to the Design of Amplifiers Receivers and Digital Circuits by S W Amos and M R James [Электронный ресурс]. URL: <https://www.technicalbookspdf.com/principles-of-transistor-circuits-ninth-edition-introduction-to-the-design-of-amplifiers-receivers-and-digital-circuits-by-s-w-amos-and-m-r-james/> (дата обращения: 30.03.2024).

25. Transistor [Электронный ресурс]. URL: <https://www.britannica.com/technology/transistor> (дата обращения: 24.11.2023).

26. Understanding Electronics Components author Filipovic D. Miomir [Электронный ресурс]. URL: <https://www.technicalbookspdf.com/understanding-electronics-components-author-filipovic-d-miomir/> (дата обращения: 17.11.2023).

Приложение А
Листинг кода программы

```
#include <SPI.h>

#include <mcp2515.h>

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);

struct can_frame canMsg;

MCP2515 mcp2515(10);

int a = 0;

int i = 0;

int m = 0;

int ls = 0;

int ms = 0;

int vl = 0;

int vm = 0;

float max_v = 1512;

float min_v = 900;

void setup() {

    lcd.init();

    lcd.init();

    lcd.backlight();
```

Продолжение Приложения А

```
lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("charge% ");

lcd.setCursor(5,1);

    lcd.print("temp.moto.");

    lcd.setCursor(5,2);

    lcd.print("temp.inv.");

    lcd.setCursor(0,3);

    lcd.print("mileage");

    SPI.begin();

Serial.begin(57600) ;

mcp2515.reset();

mcp2515.setBaudrate(CAN_250KBPS,MCP_8MHZ);

mcp2515.setNormalMode();

}

void getMessage(){

    if (mcp2515.readMessage(&canMsg) == MCP2515::ERROR_OK)

    {

        if (canMsg.can_id == 0x8CF11F05){

a = canMsg.data[0];

i= canMsg.data[1];

m = canMsg.data[2];
```

Продолжение Приложения А

```
} else if (canMsg.can_id == 0x8CF11E05){  
  
ls = canMsg.data[0];  
  
ms = canMsg.data[1];  
  
vl = canMsg.data[6];  
  
vm = canMsg.data[7];  
  
}  
  
}  
  
}  
  
void displa() {  
  
}  
  
void loop() {  
  
getMessage();  
  
float s = ((ms*256) + ls);  
  
float b = ((vm*256) + vl);  
  
int bat = ((b - min_v) / (b - min_v)) * 100;  
  
//printOnDisplay();  
  
//Serial.println(a);  
  
//Serial.println(s);  
  
Serial.println(bat);  
  
//Serial.println(canMsg.can_id, HEX);  
  
//delay(500);
```

Продолжение Приложения А

```
lcd.setCursor(8,0);
```

```
lcd.print(bat);
```

```
lcd.setCursor(1,1);
```

```
lcd.print(m);
```

```
lcd.setCursor(1,2);
```

```
lcd.print(i);
```

```
}
```