

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(название института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(название кафедры)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроника и робототехника

(направленность (профиль), специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: TSAL для Formula Student

Студент

А.С. Болтонос

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.К. Кудинов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Тольятти 2021

Аннотация

Объем 44 с., 24 рис., 7 табл., 25 источников, 1 приложение.

Объектом исследования является устройство, показывающее состояние транспортной системы.

Цель работы — повышение безопасности эксплуатации электромобиля путем создания устройства индикации состояния его транспортной системы.

Задачи работы заключались в анализе существующих конструкций, разработке принципиальных схем контроля и индикации, обосновании выбора элементов, создании печатных плат, разработки конструкторской документации.

Работа состоит из решения упомянутых задач.

Annotation

Volume 44 pages, 24 figures, 7 tables, 25 sources, 1 appendix.

The object of the research is a device for indicating the state of the transport system.

The purpose of the work is to create a device for an electric vehicle.

The tasks of the work consisted in the analysis of existing structures, the development of control and indication circuit diagrams, the substantiation of the choice of elements, the creation of printed circuit boards, and the development of design documentation.

The work consists of solving the above-mentioned tasks.

Содержание

Введение.....	5
2 Основная часть	7
2.1 Анализ существующих решений	7
2.2 Распределение функций устройства по платам	11
2.3.1 Плата высоковольтного датчика	11
2.3.2 Плата логики.....	16
2.3.2.1 Выбор типа микросхем.....	18
2.3.3 Плата индикации	19
2.4 Создание печатных плат.....	23
2.5 Изготовление печатных плат	29
Список используемой литературы	36
Приложение А	40

Введение

В начале двадцатого века электромобили получили широкое распространение. Они могли обеспечить дальность хода, сравнимую с бензиновыми автомобилями, но зарядка аккумулятора тогда была очень сложной. Например электромобиль фирмы «Борланд Электрик» проехал на одной зарядке 167 километров от Чикаго до Милуоки, а после зарядки на следующий день вернулся обратно [15].

Постепенно, во второй половине двадцатого века их популярность почти исчезла. Однако в двадцать первом веке с каждым годом мы наблюдаем увеличение выпуска электромобилей. И это не удивительно. Ведь они имеют ряд преимуществ перед обычными автомобилями. Во-первых, они экологичны. На их производство требуется гораздо меньше бензина и других видов углеводородов. А еще они значительно дешевле в эксплуатации. Но какие есть проблемы у таких автомобилей? Важнейшим качеством автомобиля является его безопасность. Автомобили с приводом от электрического двигателя в отличие от машин с привычным двигателем внутреннего сгорания опаснее для окружающих так как первые не создают заметного шума и непонятно может ли автомобиль быть приведён в движение в данный момент. Также для автомобилей которые участвуют в соревнованиях очень важно иметь некоторые системы показывающие безопасен ли автомобиль в управлении или нет.

Согласно правилам которым должен соответствовать болид, описанным в [20], требования к системам безопасности постепенно ужесточаются ради безопасности. Поэтому прошлые версии некоторых систем не соответствуют требованиям этого года.

В этой работе была разработана система TSAL (Tractive System Active Light) - яркий индикатор тяговой системы. Так как прошлые разработки

других команд не удовлетворяют всем требованиям регламента, а доступных в продаже заводских устройств не существует.

2 Основная часть

2.1 Анализ существующих решений

Перед разработкой нового устройства были рассмотрены уже существующие образцы прошлых лет.

Устройство команды из Бельгии [19] выполнено на двух печатных платах: на плате индикации (рис.1), которая размещается в верхней части, в пределах главной дуги (рис.2) и платы, выполняющей все остальные функции (рис.3).



Рисунок 1 - Расположение индикатора

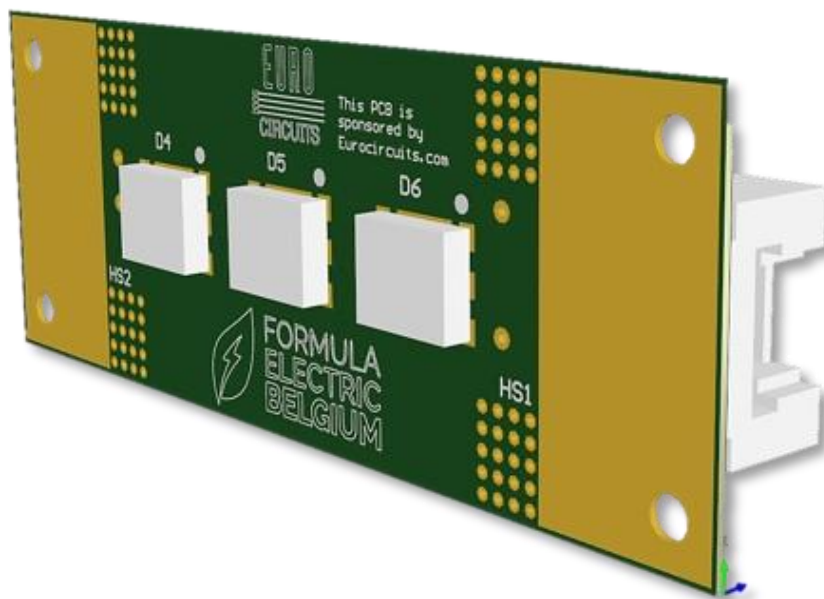


Рисунок 2 - Трёхмерная модель печатной платы индикации

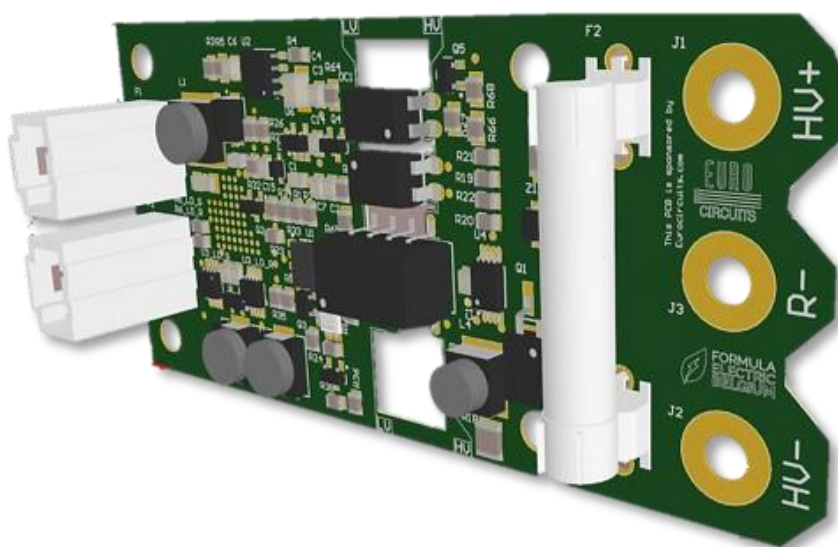


Рисунок 3 - Трёхмерная модель основной платы

Схема устройства, разработанного для соревнований в Бельгии (рис.4), не соответствует пункту правил EV 4.10.13 а именно представленная схема измеряет высокое напряжение только в одной точке вместо положенных двух.

Также эта схема не соответствует пунктам EV 4.10.2 и EV 4.10.3 так как не осуществляется контроль состояния реле перезаряда.

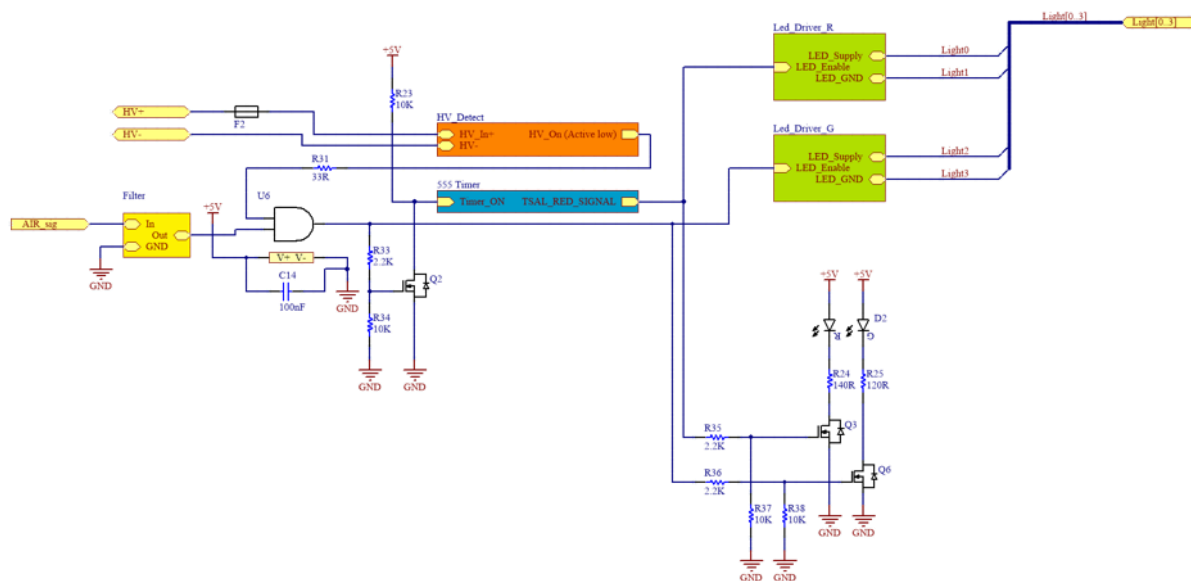


Рисунок 4 - Схема устройства

Другая команда, представляющей университет Висконсин-Мэдисон, использовала очень упрощенное устройство [18], параметры которого приведены в таблице 1, а принципиальная схема представлена на рисунке 5.

Таблица 1 - Параметры TSAL

Параметр	Значение
Цвет индикации	красный
Частота мигания, Гц	5
Напряжение питания, В	12
Напряжение включения, В	10
Напряжение выключения, В	14

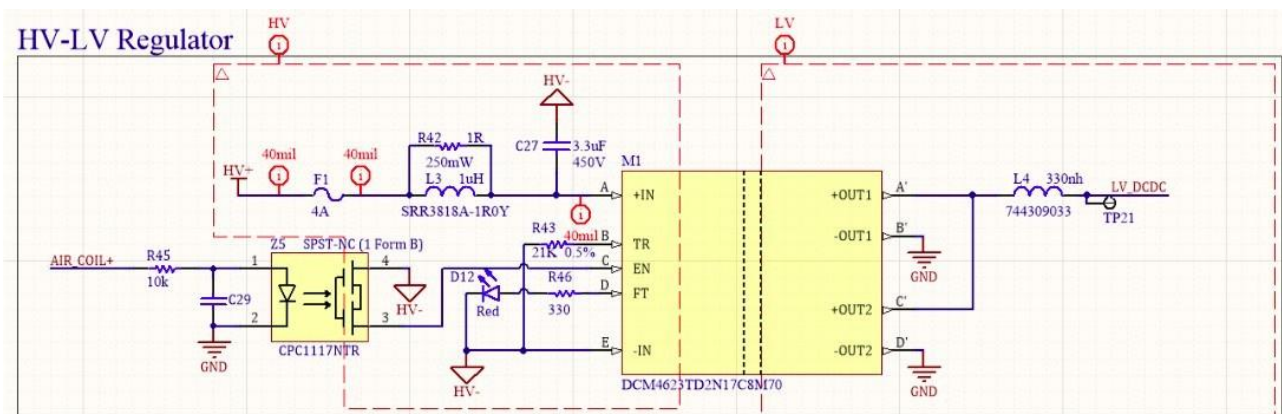


Рисунок 5 - Принципиальная схема TSAL

По требованию регламента, напряжение, выше которого должна быть включена мигающая индикация красного цвета составляет 60В. Также обязательно нужно контролировать высокое напряжение минимум в двух точках. Ещё нужно проверять состояния высоковольтных реле. В схеме должна присутствовать индикация безопасного состояния в виде индикации зеленого цвета. Это означает что данная схема не соответствует текущему регламенту.

Исходя из рассмотренный выше решений других команд можно сделать вывод что устройства, полностью соответствующего регламенту соревнований не существует. А значит надо разработать собственное устройство в соответствии с регламентом.

2.2 Распределение функций устройства по платам

В устройстве индикации состояния транспортной системы измерение высокого напряжения происходит на достаточно большом расстоянии от самого индикатора, находящегося в главной дуге. Проложить высоковольтные провода между этими точками сложно и неудобно. Если всё устройство будет находиться внутри главной дуги то оно может заметно ухудшить аэродинамику автомобиля. Поэтому удобнее и безопаснее если высокое напряжение будет измеряться отдельными платами, которые будут выдавать сигнал уровнем 5В, для которого высоковольтные провода не нужны. Следовательно для устройства нужно разработать 3 платы: плату логики, плату индикации и плату высоковольтного датчика.

2.3 Выбор элементов

Устройство TSAL состоит из трёх видов плат. Для каждой требования несколько отличаются. Для уменьшения габаритов и веса по возможности использовались детали для поверхностного монтажа.

2.3.1 Плата высоковольтного датчика

Начнем с платы определяющей наличие высокого напряжения (рис. 6).

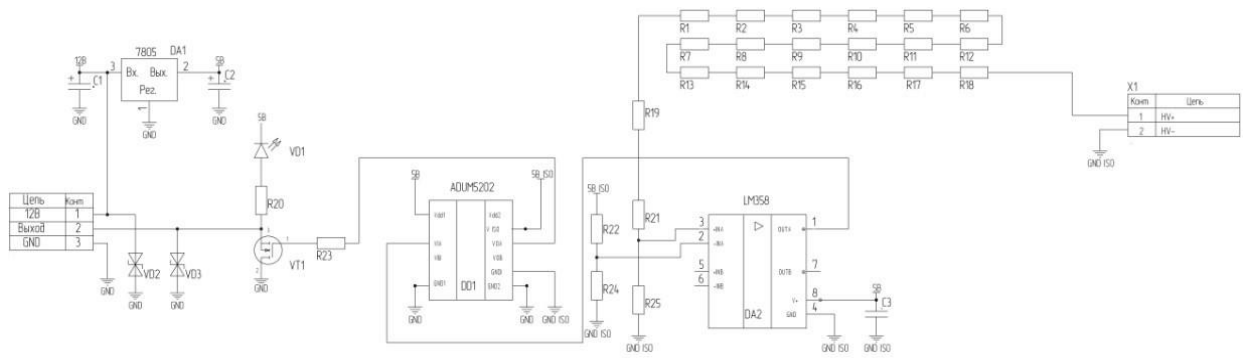


Рисунок 6 - Принципиальная схема высоковольтной платы

Схемы рисовались в соответствии с [2] и [3].

Высокое напряжение поступает через делитель выполненный на резисторах R6-R21 на операционный усилитель U3. В верхнем плече делителя используется двадцать резисторов, каждый номиналом 10 кОм, в нижнем плече стоит резистор с сопротивлением в 10 кОм. Такое соотношение резисторов ослабляет входное напряжение в двадцать один с половиной раз. Поэтому при входном напряжении шестьдесят вольт постоянного тока на выходе делителя и на положительном входе операционного усилителя будет 2.79 В. Все резисторы предназначены для поверхностного монтажа и имеют размер 0603. Так как один резистор такого размера может быть пробит из за своего небольшого размера, то для надежности было использовано несколько резисторов соединенных последовательно. На отрицательный вход микросхемы приходит напряжение с делителя выполненного на резисторах R4 и R5. При работе схемы на выходе делителя всегда присутствует 2.73 В. Соотношения резисторов определялись по формуле (1), а затем выбирались из стандартного ряда.

$$U_{\text{Вых.}} = \frac{U_{\text{Вх.}} \times R_2}{(R_1 + R_2)} \quad (1)$$

Исходя из напряжения питания 5В и ограниченных габаритов был выбран [8] операционный усилитель LM2904 параметры которого приведены в таблицах 2 и 3. Более подробное описание работы операционного усилителя можно найти в [9].

Таблица 2 - Основные параметры операционного усилителя LM2904

Параметр	Значение
Напряжение питания, однополярное, В	3 - 30
Напряжение питания, двуполярное, В	1.5 - 15
Количество каналов	2
Ток собственного потребления, мА	0.7
Выходной ток, мА	40
Корпус	SOIC8
Вес, г	0.15

Таблица 3 - Предельные параметры операционного усилителя LM2904

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	32
Напряжение на входе, В	от -0.3 до +32
Рассеиваемая мощность, Вт	0.5
Входной ток, мА	50
Рабочая температура, °C	От -40 до +125

Для гальванической развязки и питания изолированным напряжением была выбрана микросхема ADUM5202 [21], блок-схема которой представлена на рисунке 7, основные параметры в таблице 4, параметры изолированного преобразователя в таблице 5.

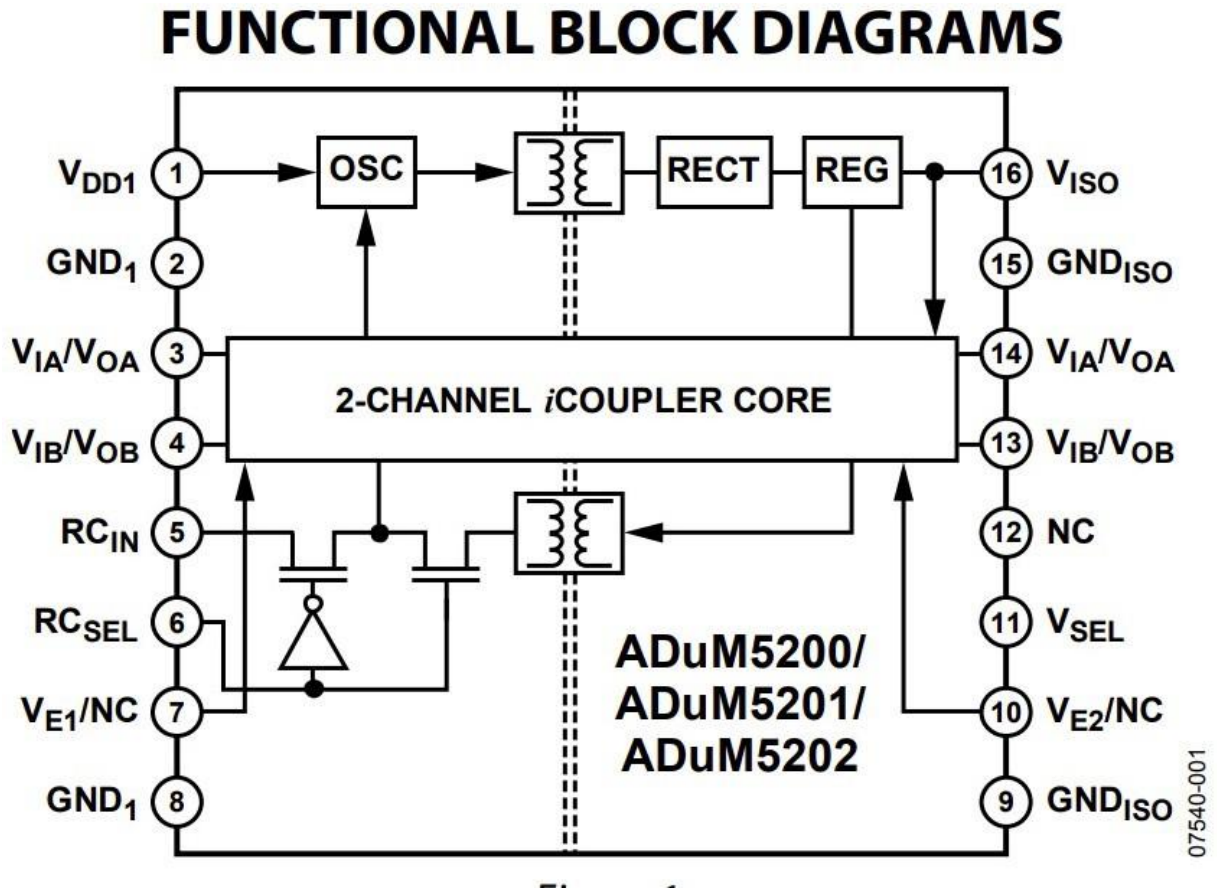


Рисунок 7 - Блок-схема микросхемы ADUM5202

Таблица 4 - Основные параметры микросхемы ADUM5202

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	5
Уровень логического нуля на входе, В0.3	
Уровень логической единицы на входе, В0.7	
Уровень логического нуля на выходе, В0 - 0.4	
Уровень логической единицы на выходе, В4.8 - 5	
Рабочая температура, °С	от -40 до +105

Таблица 5 - Основные параметры изолированного преобразователя микросхемы ADUM5202

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	5
Размах пульсаций на выходе, мВ	75
Размах шума на выходе, мВ	200
Частота переключения, МГц	180
Выходной ток максимальный, мА	100
КПД, при максимальной нагрузке, %	34

Конденсаторы в цепях питания емкостью 100 нФ используются для фильтрации высокочастотных помех, а емкостью 10 мкФ - для стабильной работы.

Также для защиты от высокого напряжения используются защитные диоды D1 и D2.

2.3.2 Плата логики

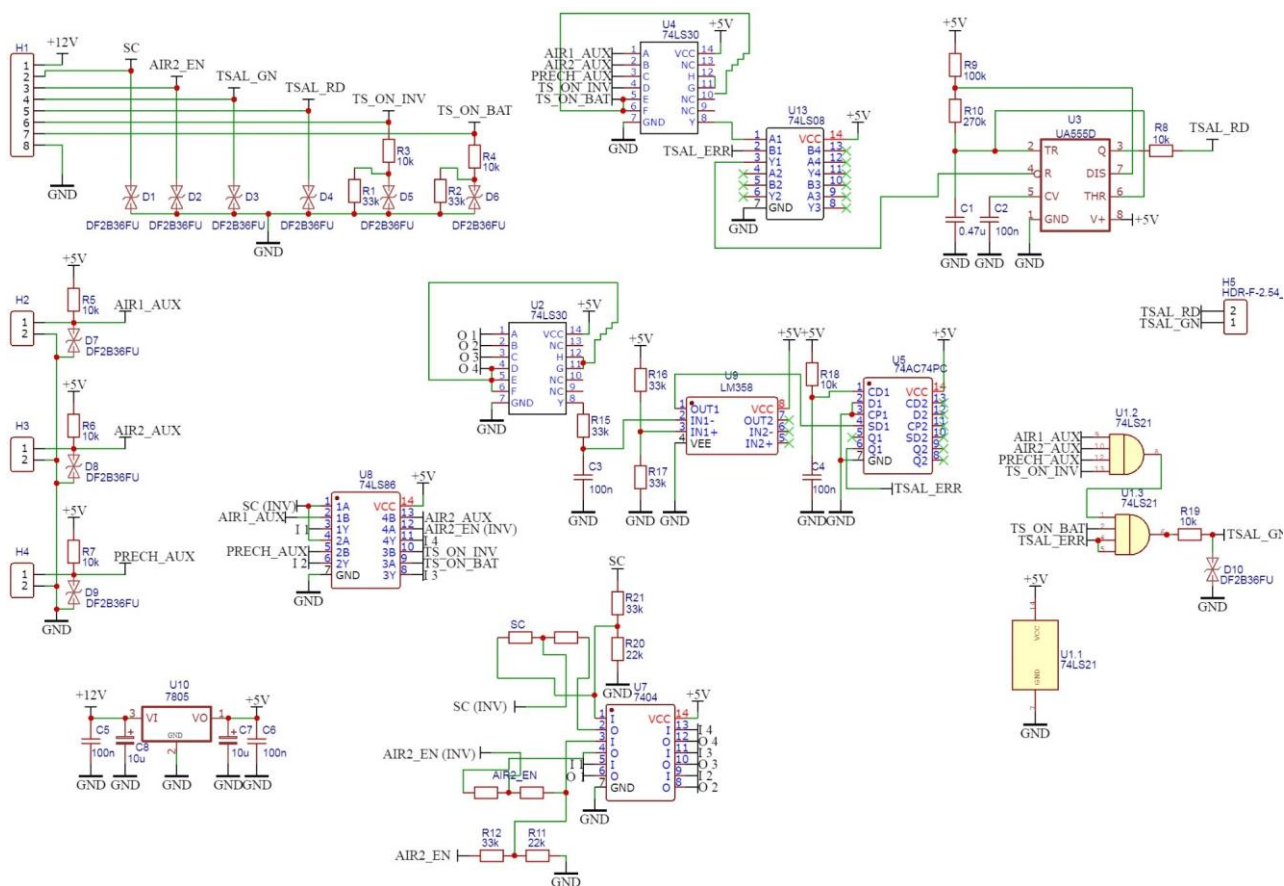


Рисунок 8 - Принципиальная схема платы логики

На этой плате расположены микросхемы, определяющие режим индикации устройства.

Основных режимов два: безопасное состояние, при котром автомобиль не может быть приведен в движение, и рабочий режим, при котором подходить к транспортному средству может быть опасно, так как на контроллер двигателя подаётся высокое напряжение с аккумулятора и автомобиль может быть приведен в движение. Ещё на микросхемах логики семьдесят четвертой серии собрана схема определения ошибки. Она может сработать если сигналы с одного или нескольких реле отсутствуют или сообщают противоположное значение контактов, а также при несоответствии

высоких напряжений . В этом случае работают оба цвета: горящий зеленый и мигающий красный.

При отсутствии высокого напряжения на контактах 2, 9, 10, 12, 13 микросхемы DD1 74LS21 присутствует уровень логической единицы. На контактах 4 и 5 присутствует уровень логического нуля приходящий туда от участка схемы, выявляющей ошибки. В этом случае с выхода этой микросхемы поступает уровень логической единицы. Он же приходит на плату индикации и открывает ключи управляющие зелеными светодиодами.

Если высокое напряжение обнаружено платами - датчиками и высоковольтные замкнули цепь от высоковольтного аккумулятора до контроллера двигателя, то на выводах 1, 2, 3, 4,5, 6, 11, 12 микросхемы DD4 присутствует уровни логического нуля. С выхода микросхемы DD4 сигнал поступает на микросхему DD13 являющуюся логическим элементом И. Также на эту микросхему в нормальном состоянии на выводе 2 должен присутствовать логического нуля. С выхода микросхемы DD13 Сигнал поступает на вход прерывания работы микросхемы таймера DD3. С выхода этой микросхемы выходит прямоугольный сигнал управления красным цветом.

Частота его была рассчитана по формуле (2).

$$F = \frac{1.45}{(R1 + 2R2) * C} \quad (2)$$

Где F - частота колебаний, C – емкость конденсатора C1, а R1, R2 – сопротивление резисторов R9 и R10 соответственно.

На этой плате также присутствуют защитные диоды для защиты микросхем от высокого напряжения. Для питания микросхем присутствует

линейный стабилизатор, построенный на микросхеме 7805 которая из 12-14 В поступающих от аккумулятора выдаёт стабильные 5 В. Принцип работы и внутреннее устройство микросхемы можно найти в [7]. Выбор в пользу линейного стабилизатора был сделан из-за меньших помех создаваемых последним по сравнению с импульсными стабилизаторами, а также минимуму дополнительных компонентов. Однако для мощных потребителей следует использовать импульсные стабилизаторы.

2.3.2.1 Выбор типа микросхем

Существуют два основных типа логических микросхем: на основе Комплементарной структуры Металл-Оксид-Полупроводник (КМОП) и Транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ).

В КМОП микросхемах используются полевые транзисторы с изолированным затвором с каналами разной проводимости [17]. Главным преимуществом является малое потребление энергии в статическом режиме. Однако микросхемы, созданные по КМОП технологии, обладают небольшой скоростью переключения и подвержены воздействию статического электричества. Это может привести к пробоям и выходу микросхемы из строя.

Логические ТТЛ микросхемы, построены на основе биполярных транзисторов и резисторов. Этот тип микросхем имеет большее потребление энергии в отличие от КМОП микросхем. Однако при работе ТТЛ логики появляются всплески токов, которые могут создавать наводки по цепям питания. Более подробное описание логики этого типа можно найти в [25].

Для работы в плате логики были использованы микросхемы на транзисторно-транзисторной логике так как из-за статического электричества КМОП микросхемы могут выйти из строя что недопустимо.

2.3.3 Плата индикации

Плата индикации(рис 9) представляет собой плату со светодиодами на которую приходят питание и сигналы управления от платы логики.

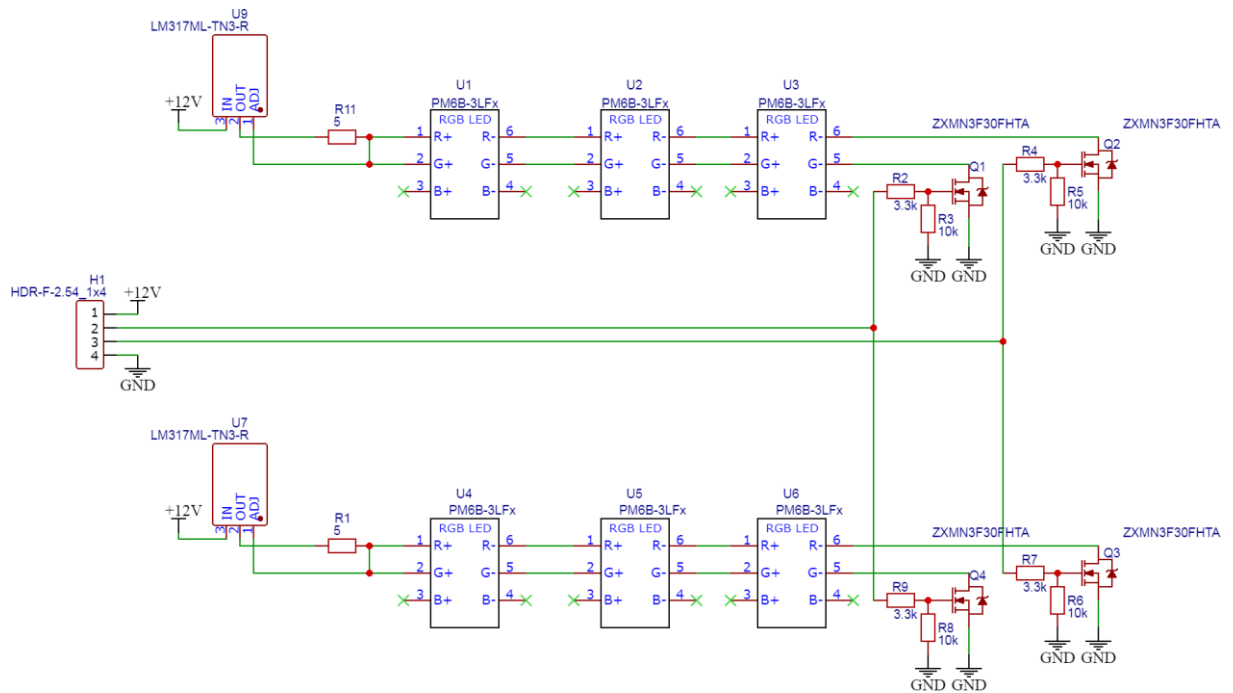


Рисунок 9 - Принципиальная схема платы индикации

Для построения платы индикации для начала нужно выбрать какие светодиоды будут использоваться. Светодиоды бывают разных видов: светодиоды для поверхностного монтажа (рис. 10), выводные светодиоды (рис. 11).



Рисунок 10 - Светодиоды для поверхностного монтажа



Рисунок 11 - Светодиоды выводные

Первые предпочтительней для использования в этом устройстве так как для создания того же светового потока их нужно взять меньше чем выводных светодиодов.[4]

Для питания светодиодов обязательно нужно использовать стабилизатор тока, иначе без контроля светодиоды могут достаточно быстро терять яркость, перегреться или сгореть. Для задания тока был использован линейный стабилизатор lm317. Для этих светодиодов номинальный ток равен 350 мА. Но так как 6 светодиодов находясь на небольшой плате могут перегреться, был выбран ток в 250 мА.

Для расчета резистора R использована формула (3), по которой для заданного тока сопротивление резистора равно 5 Ом. Из-за большого тока протекающего через резистор, последний используется мощностью 5 Вт.

$$R = \frac{1.25}{I} \quad (3)$$

Чтобы управлять светодиодами можно использовать: реле, ключ на биполярном транзисторе, ключ на транзисторе, ключ на транзисторе с изолированным затвором.

Использовать реле удобнее для управления мощной нагрузкой. Также реле это механический прибор, поэтому оно имеет ограниченное число надежных переключений, имеет невысокое быстродействие и достаточно большое потребление энергии. Также для управления реле нужно более высокое напряжение, а значит для этого придется использовать транзистор в ключевом режиме.

Ключ на биполярном транзисторе в статическом режиме имеет большое потребление по цепи управления, большее быстродействие но ограниченное скоростью рассасывания неосновных носителей, меняет режим работы при изменении температуры.

Ключ на полевом транзисторе не имеет потребления статической мощности по цепи управления, имеет высокое быстродействие и термостабильность.

Ключ на транзисторе с изолированным затвором [5] объединяет преимущества биполярного и полевого транзисторов. Такой ключ имеет сверхмалое сопротивление в открытом состоянии, что позволяет управлять большими токами и отсутствие потребления по цепи управления. Из-за достоинств этого типа ключа он был выбран для управления светодиодами. Благодаря малому падению напряжения удалось использовать транзистор с

изолированным затвором для поверхностного монтажа. Его основные характеристики приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Основные характеристики транзистора

Параметр	Значение
Напряжение сток - исток, В30	
Напряжение затвор - исток, В20	
Постоянный ток стока, при напряжении затвор - исток 4.5 В и температуре 25 °С, А	4.6
Импульсный ток, А	21
Рабочая температура, °С От -55 до 150	

Для управления светодиодами используются четыре ключа на транзисторах с изолированным затвором. Для закрытия транзисторов используются резисторы R3, R5, R6, R8 каждый номиналом 10 кОм.

2.4 Создание печатных плат

Создание печатных плат - сложный и трудоемкий процесс в котором нужно знать правила и принципы расположения деталей на плате учитывать их влияние друг на друга. Сегодня гораздо проще использовать программы для разработки печатных плат чем разводить их вручную. Существуют программы, которые позволяют только нарисовать печатную плату без привязки к схеме. Пример такого программного обеспечения - программа Sprint Layout (рис. 12)

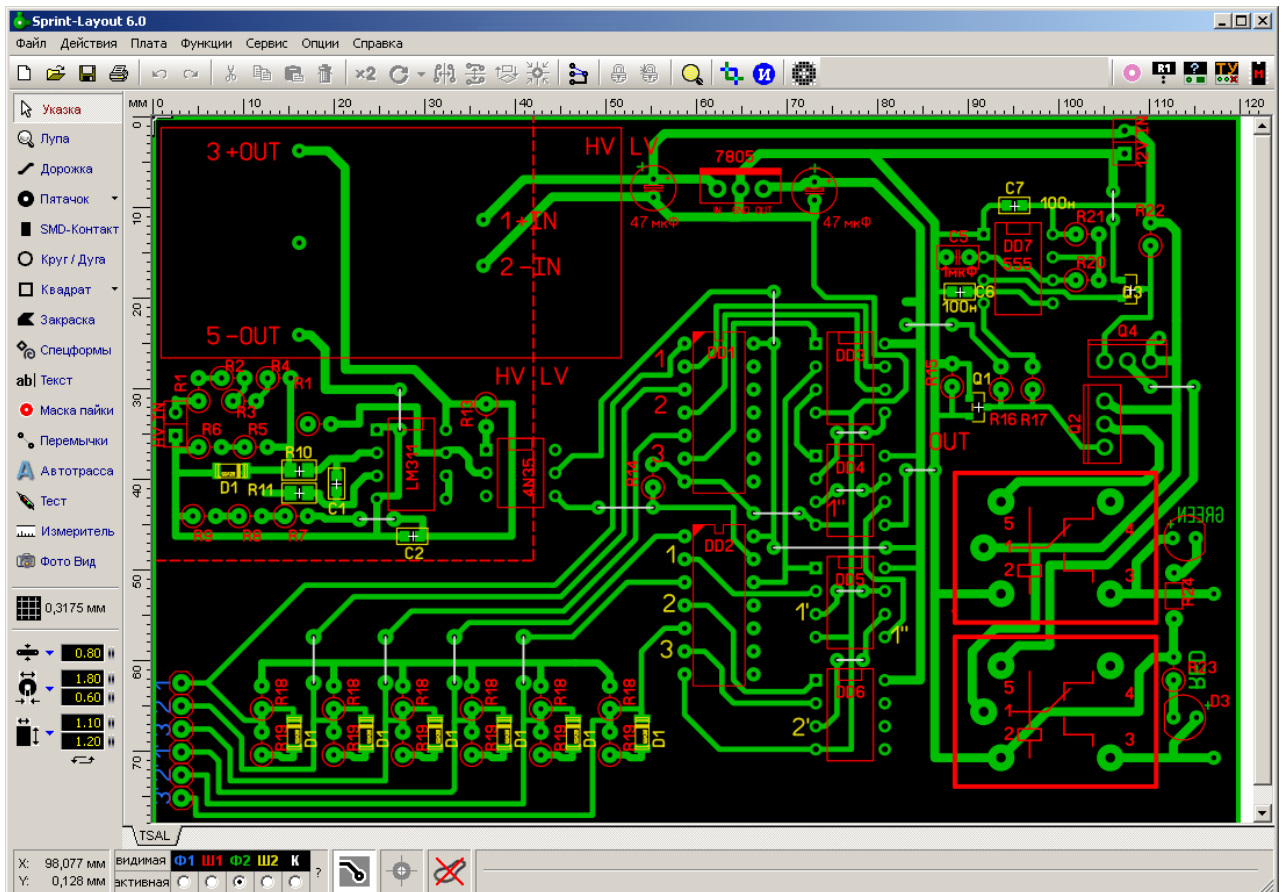


Рисунок 12 - Программа Sprint Layout 6.0

С помощью этого инструмента можно создавать многослойные платы, создавать специальные типы плат, а также настраивать расположение

дорожек и отверстий на плате. Подробное описание возможностей программы можно найти в [24].

Однако из-за того что схема создается в одной программе а чертеж печатной платы в другой сделать ошибку очень легко. Поэтому лучше всего использовать системы со сквозным проектированием. В них гораздо проще осуществлять контроль и внесение изменений. Примерами таких программ можно назвать Altium Designer (рис. 13), KiCad, Eagle, DipTrace, EasyEDA (рис. 14).

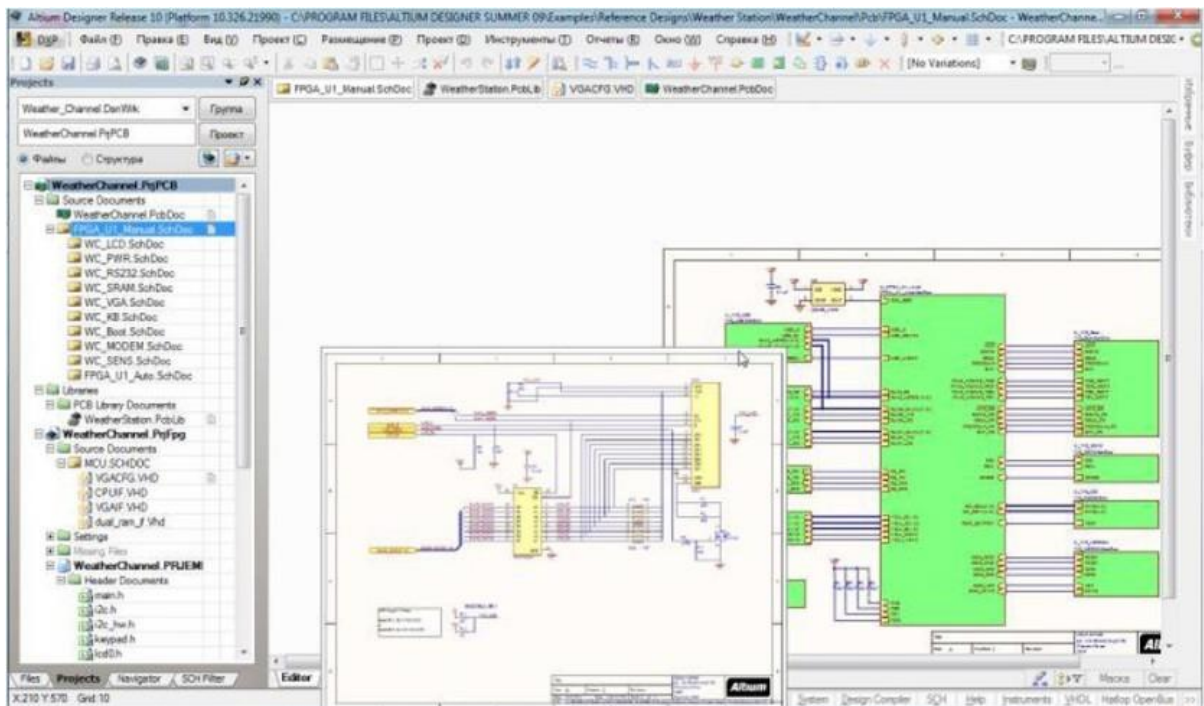


Рисунок 13 - Программа Altium Designer

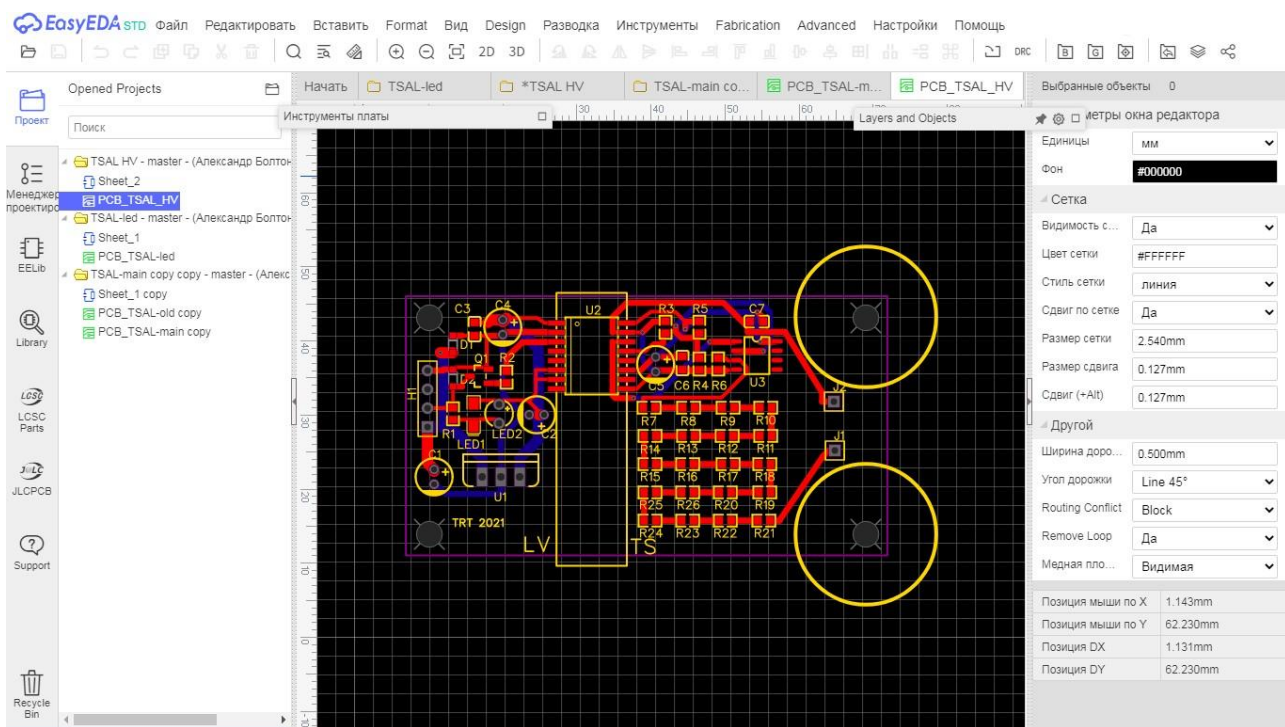


Рисунок 14 - Программа EasyEDA

Для создания печатных плат была использована программа EasyEDA. В отличие от других программ эта способна работать без установки каких либо прямо через web-браузер при наличии доступа к сети Интернет. Это позволяет проложить работу на любом компьютере, подключенном к всемирной сети. Также возможно прямо из программы заказать производство плат и при необходимости они могут быть частично или полностью собранными при наличии деталей у поставщика, выбранных при создании платы. Также в программе присутствуют: редактор принципиальных схем, симулятор работы аналоговых и цифровых схем, редактор блок-схем. Полное описание возможностей программы можно найти в [16].

При создании печатных плат главной целью было сохранить возможно меньшие габариты поэтому все платы имеют печатные проводники с двух сторон. Трассировка печатных плат это сложный и долгий процесс. Он может

занять значительное время разработки. Значительно упрощает разводку печатных плат автотрассировщик(рис. 15).

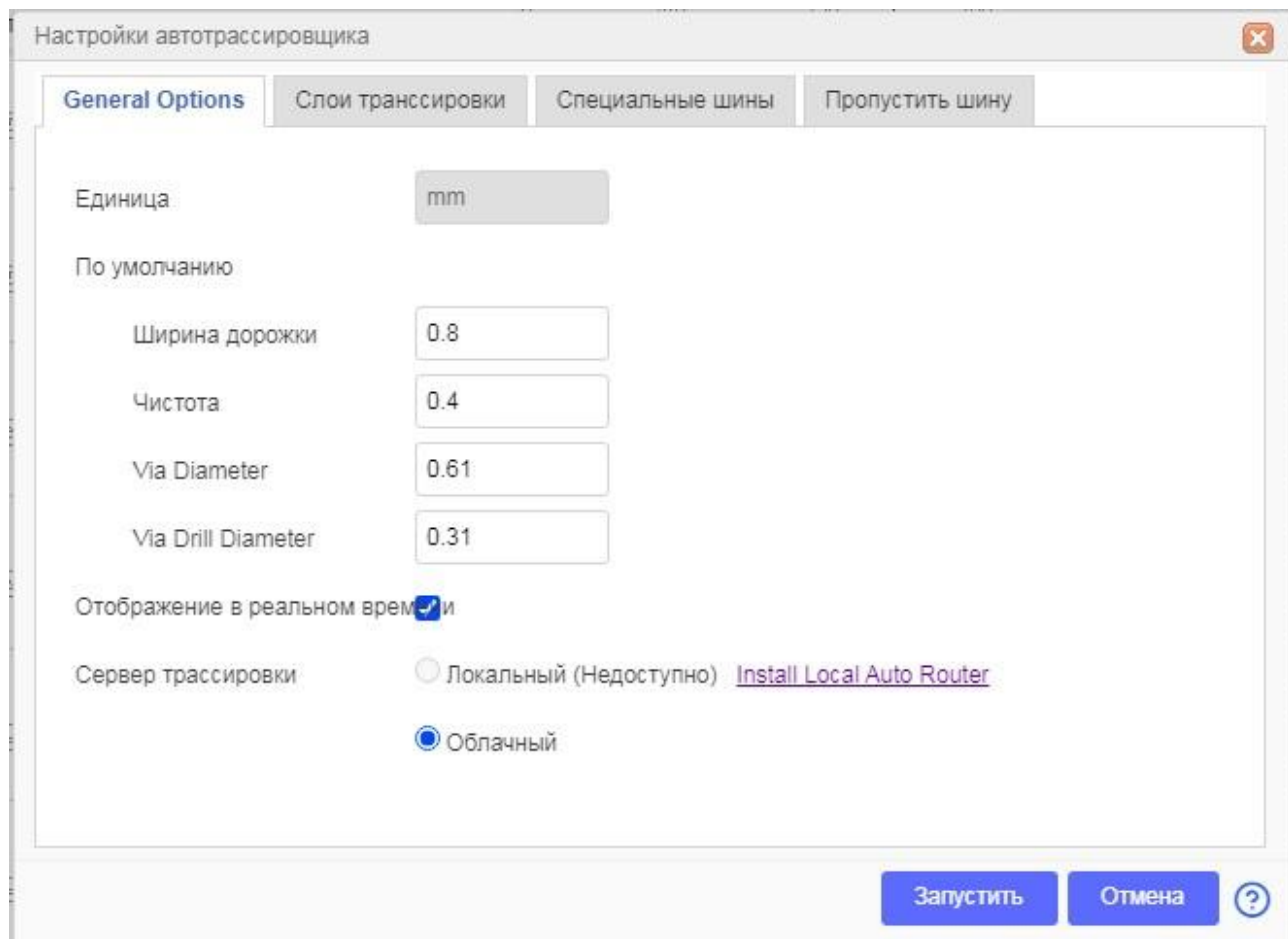


Рисунок 15 - Окно автотрассировщика

Он может сам, на основе заданных параметров, расставить печатные проводники и переходные отверстия. Из за загруженности серверов программы EasyEDA облачный авторассировщик может не работать, но можно установить локальный [23].

При создании высоковольтной платы нужно учесть из-за высокого напряжения может произойти пробой. Для исключения этого можно располагать высоковольтную и низковольтную части на минимальном расстоянии, значения которого можно найти в таблице 7, взятой из регламента

[20] , сделать вырез в плате или покрыть её защитным покрытием, например лаком. В данном случае напряжение питания составляет 150В, а значит попадает под предел 150 -300 В. Расстояние между выводами микросхемы разделяющей высоковольтную и низковольтную часть составляет 7.4 мм (рис. 16) что меньше допустимого расстояния по поверхности, следовательно в плате под микросхемой нужен вырез, для исключения пробоя.

Таблица 7 - Расстояния необходимые между высоковольтной и низковольтной частями

Напряжение, В	Расстояние, мм		
	По поверхности	По воздуху (вырез в плате)	С защитным покрытием
0 - 50	1.6	1.6	1.0
50 - 150	6.4	3.2	2.0
150 - 300	9.5	6.4	3.0
300 - 600	12.7	9.5	4.0

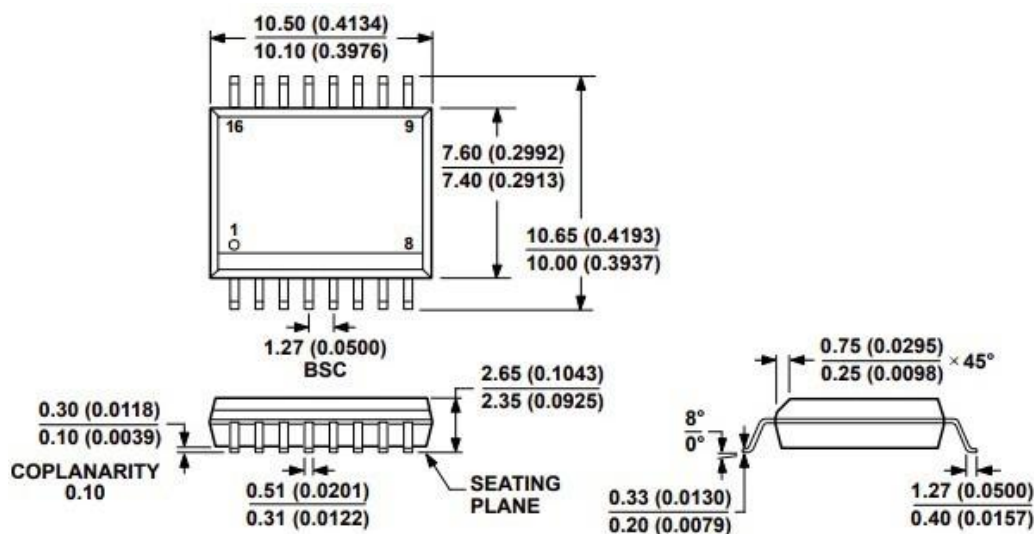


Рисунок 16 - размеры микросхемы ADUM5202

При разводке печатных плат необходимо руководствоваться многими правилами [1]. Лучше задавать ширину печатных проводников максимально

возможной, так как это повысит его прочность, падение напряжения будет меньше, при большом токе дорожка будет меньше нагреваться. Также желательно чтобы ширина дорожки была немного меньше ширины площадки, к которой этот проводник подключен. Пример таких проводников приведён на рисунке 17. На рисунке 18 изображены проводники слишком малой толщины.

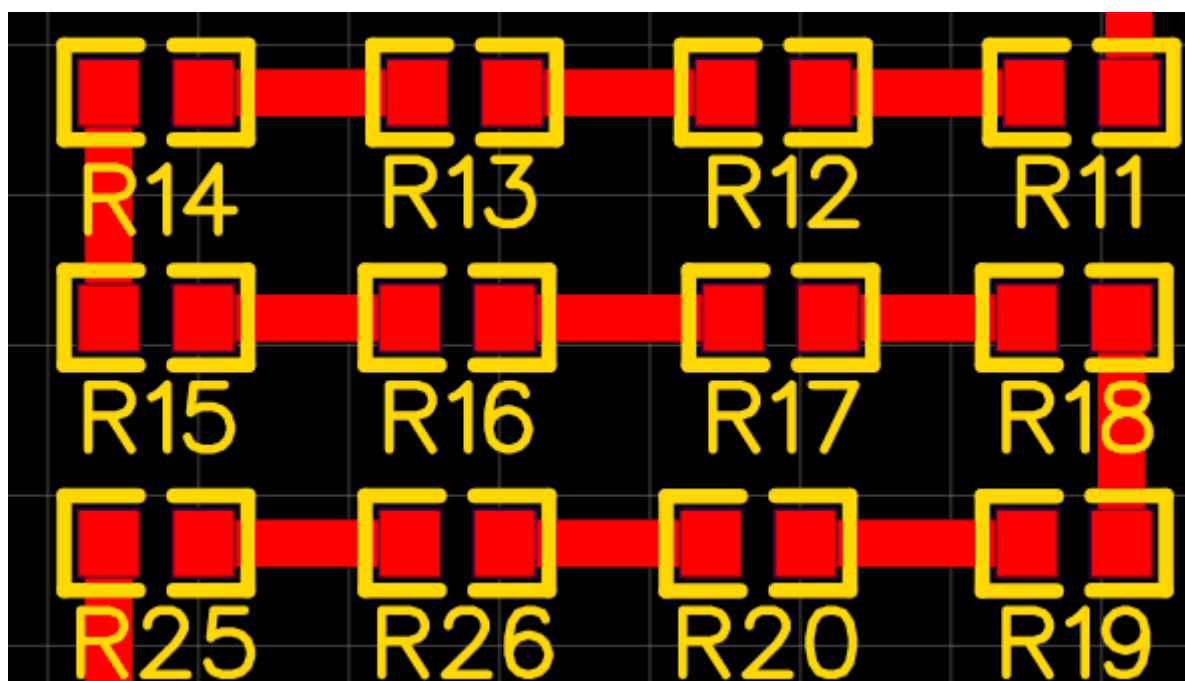


Рисунок 17 - Пример проводников правильной ширины

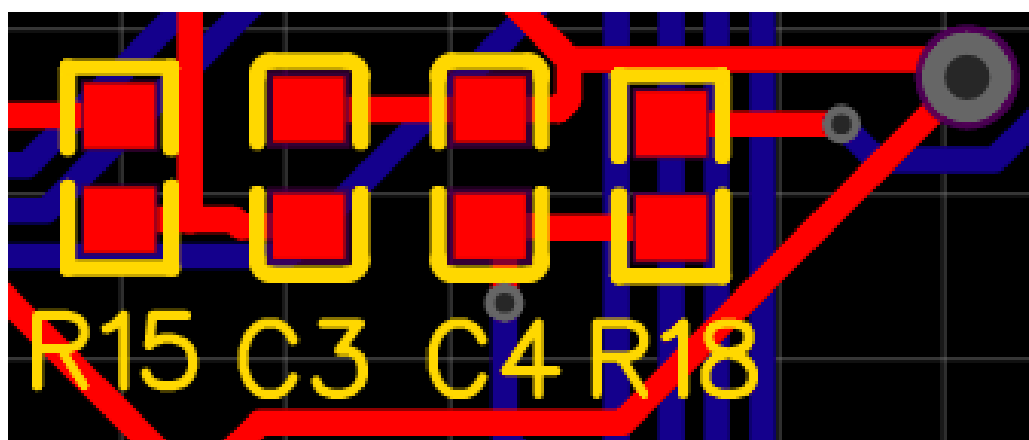


Рисунок 18 - Пример проводников недостаточной ширины

2.5 Изготовление печатных плат

Обычно в качестве основы используют текстолит, стеклотекстолит или гетинакс[11]. Стеклотекстолит, показанный на рисунке 19, состоит из нескольких слоев стеклоткани пропитанных и склеенных терморезистивной смолой под высоким давлением.

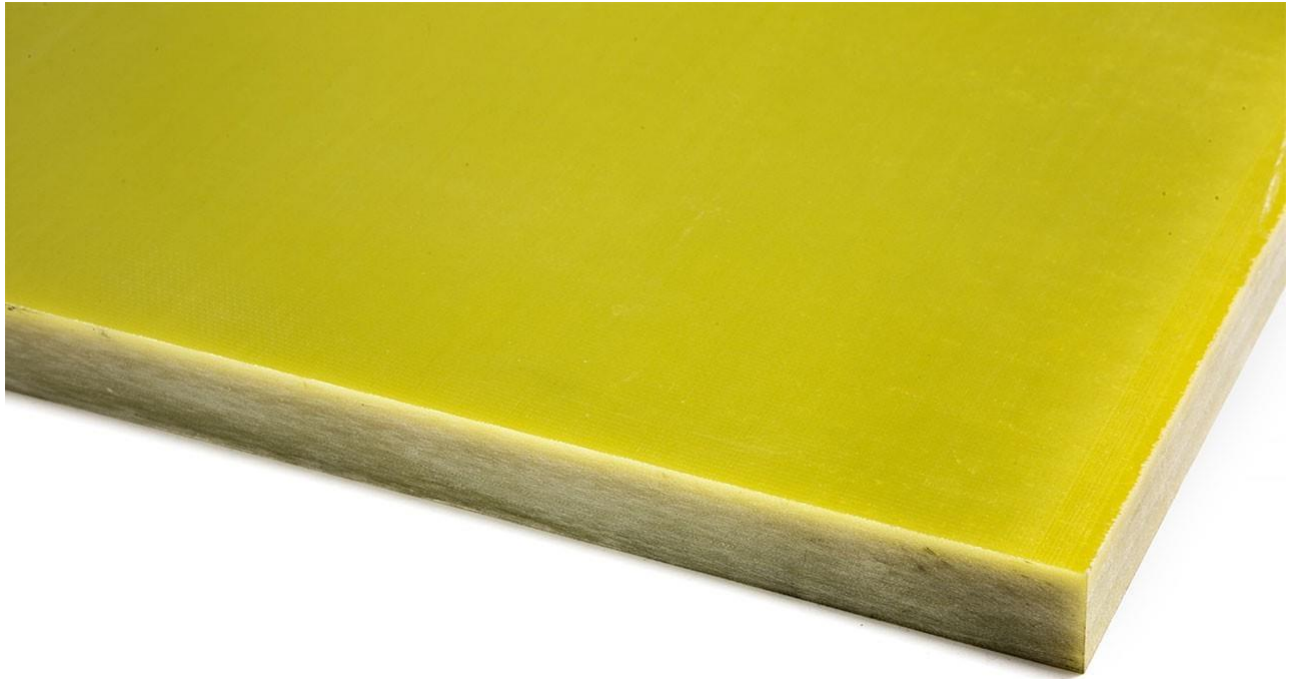


Рисунок 19 - Стеклотекстолит

К плюсам данного материала можно отнести высокую прочность, долговечность и его диэлектрические качества. Из недостатков можно отметить опасную пыль при обработке материала.

Текстолит, показанный на рисунке 20, состоит из ткани и полимерного связующего вещества.



Рисунок 20 - текстолит

Обладает в сравнении со стеклотекстолитом меньшим удельным сопротивлением и термостойкостью [12].

Гетинакс, показанный на рисунке 21, состоит из прессованной бумаги, пропитанного эпоксидной смолой.

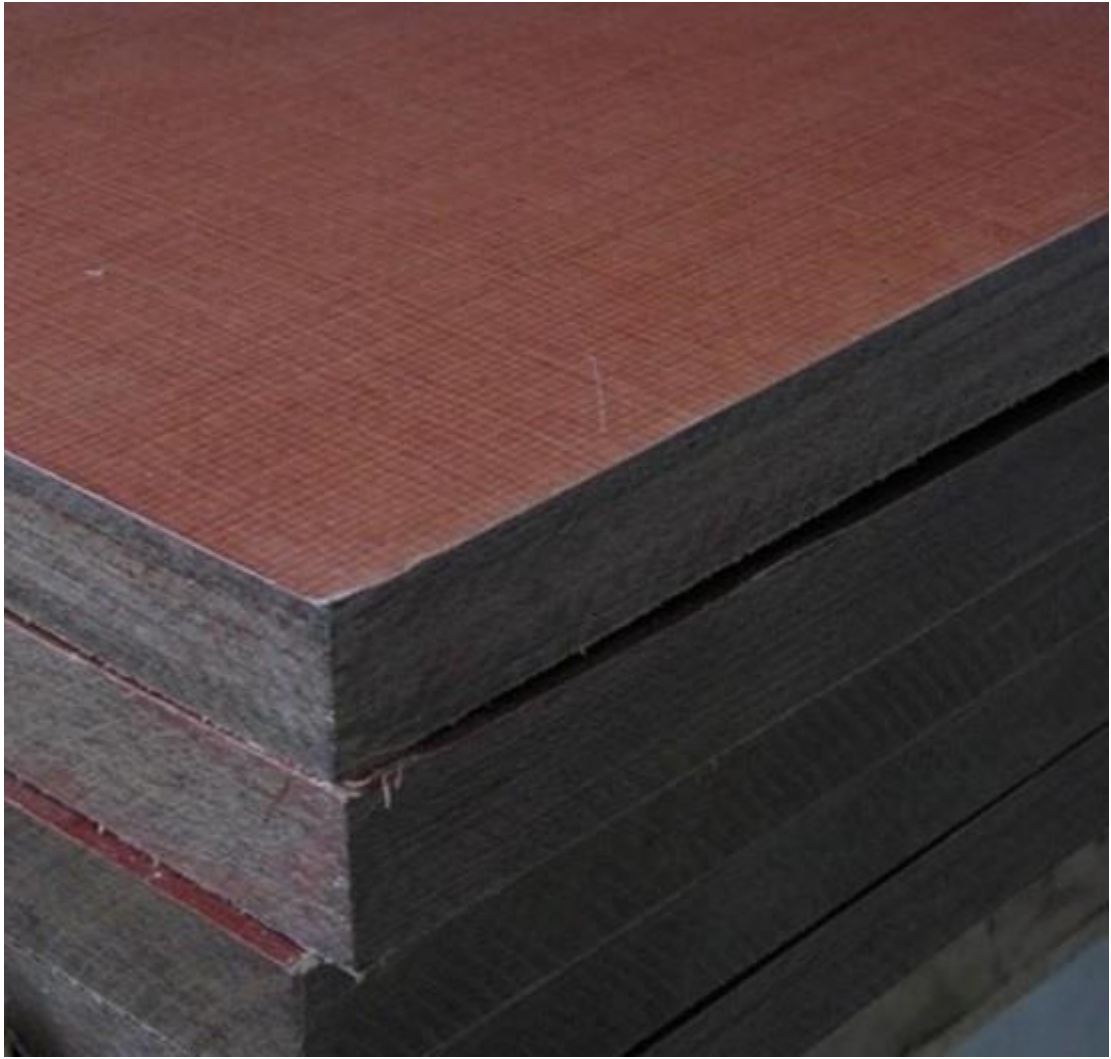


Рисунок 21 - Гетинакс

Имеет небольшую стоимость. Так как при производстве материала используется картон, то гетинакс обладает проводимостью из-за поглощения влаги из воздуха. Обладает меньшей прочностью чем текстолит. При нагреве может изменить форму.

На сегодняшний день печатные платы лучше всего делать из стеклотекстолита. Однако для пробных образцов можно использовать платы из гетинакса. Так как данное устройство будет использоваться на автомобиле, а значит должно работать и в условиях большой влажности температуры и тряски, то использовать платы на основе гетинакса не следует.

Перенести рисунок печатных дорожек на фольгированный стеклотекстолит и протравить лишнее можно несколькими способами.

Лазерно-утюжная технология. Распечатанный на лазерном принтере рисунок печатной платы при воздействии температуры и давления переносится на медную фольгу как на рисунке 22 [6].

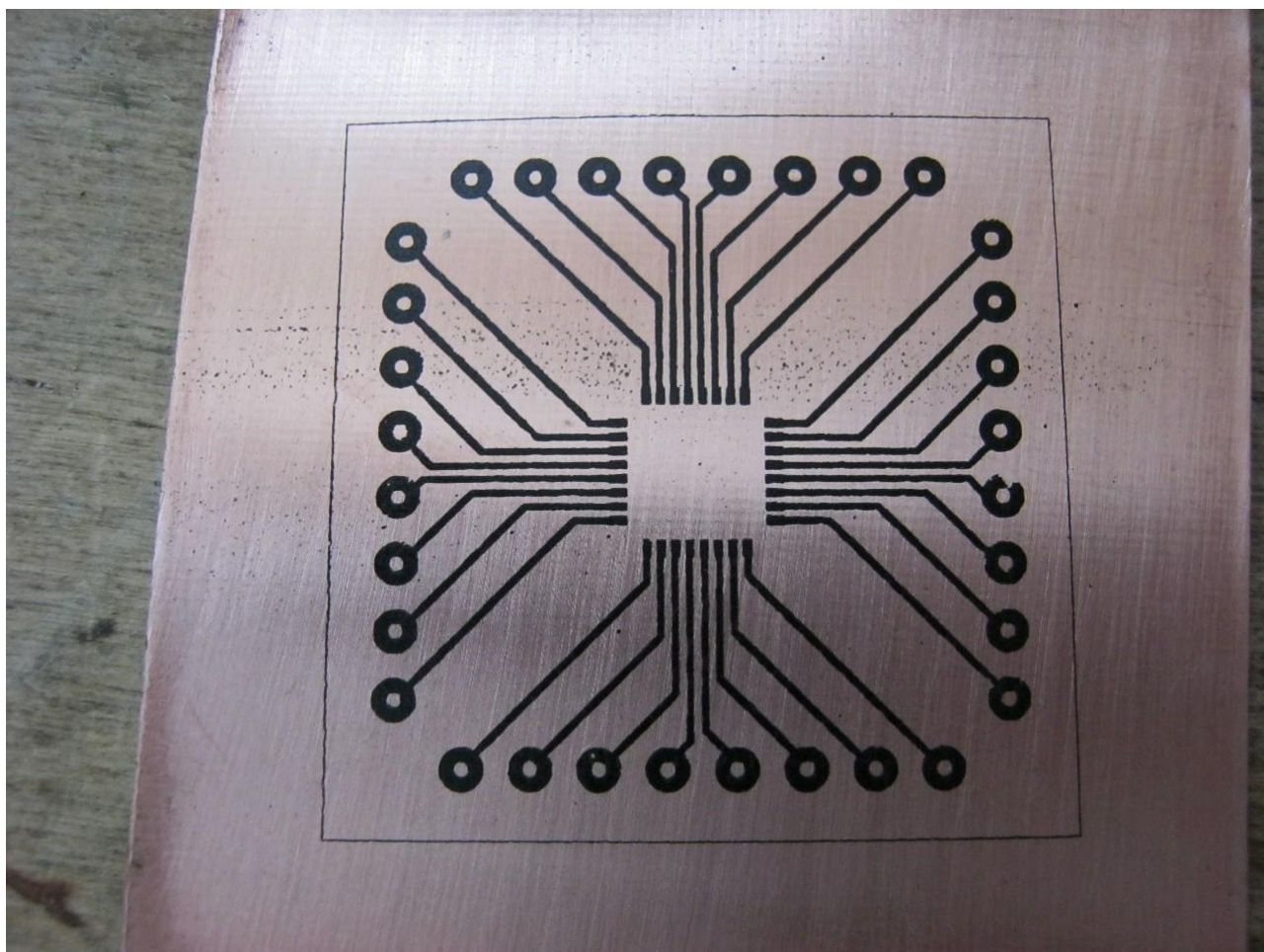


Рисунок 22 - Рисунок дорожек сделанных по технологии ЛУТ

Первый прототип платы TSAL был сделан именно по этой технологии.

Перенос рисунка с помощью фоторезиста. Фоторезист это светочувствительный материал. Обычно перенос рисунка происходит под воздействием ультрафиолетового излучения [14]. Этот способ дает высокое и стабильное качество печатных дорожек, рисунок 23.

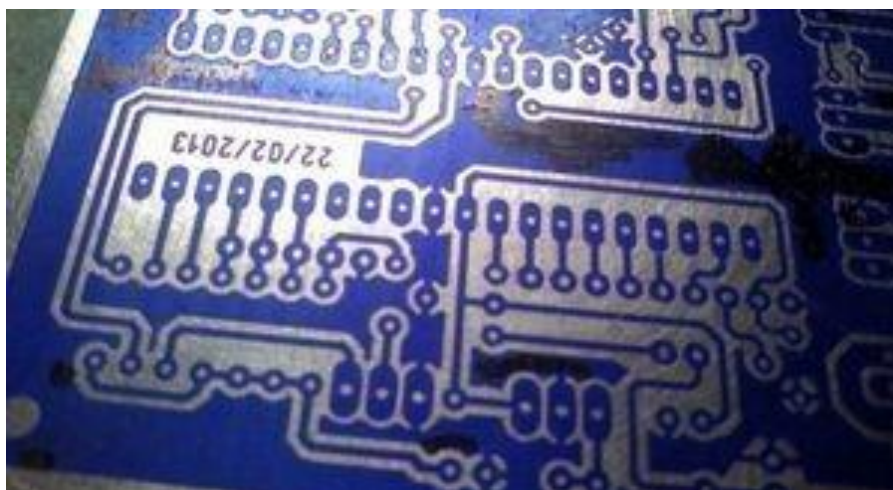


Рисунок 23 - Плата после переноса на неё фоторезиста

Также с помощью фоторезиста можно делать паяльную маску и шелкографию.

Следующим этапом в изготовлении печатных плат идет травление [10]. Все на окрашенные части медной поверхности должны быть растворены. Для этого обычно используют раствор содержащий хлорное железо (рис. 24) или медный купорос с поваренной солью [13].

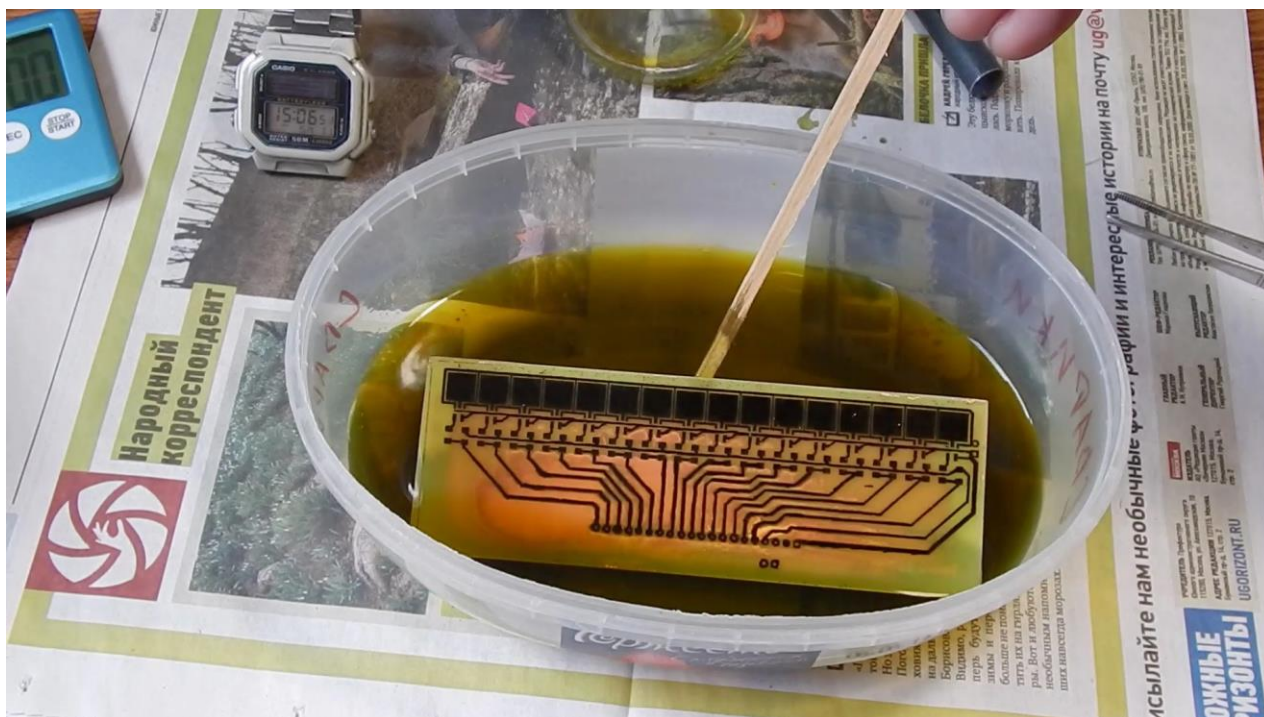


Рисунок 24 - Плата в растворе хлорного железа

После травления и промывки платы, её следует осмотреть и убедиться в отсутствии ошибок.

Следующим этапом нужно залудить плату. Это делается для того чтобы медные дорожки не окислялись и паять было проще. Для этого можно использовать припой который плавится при низкой температуре, например сплав Розе с температурой плавления $94\text{ }^{\circ}\text{C}$ [22]. Из за низкой температуры плавления залудить плату можно в кипящей воде. В результате получаются платы, равномерно покрытые сплавом как на рисунке 25.

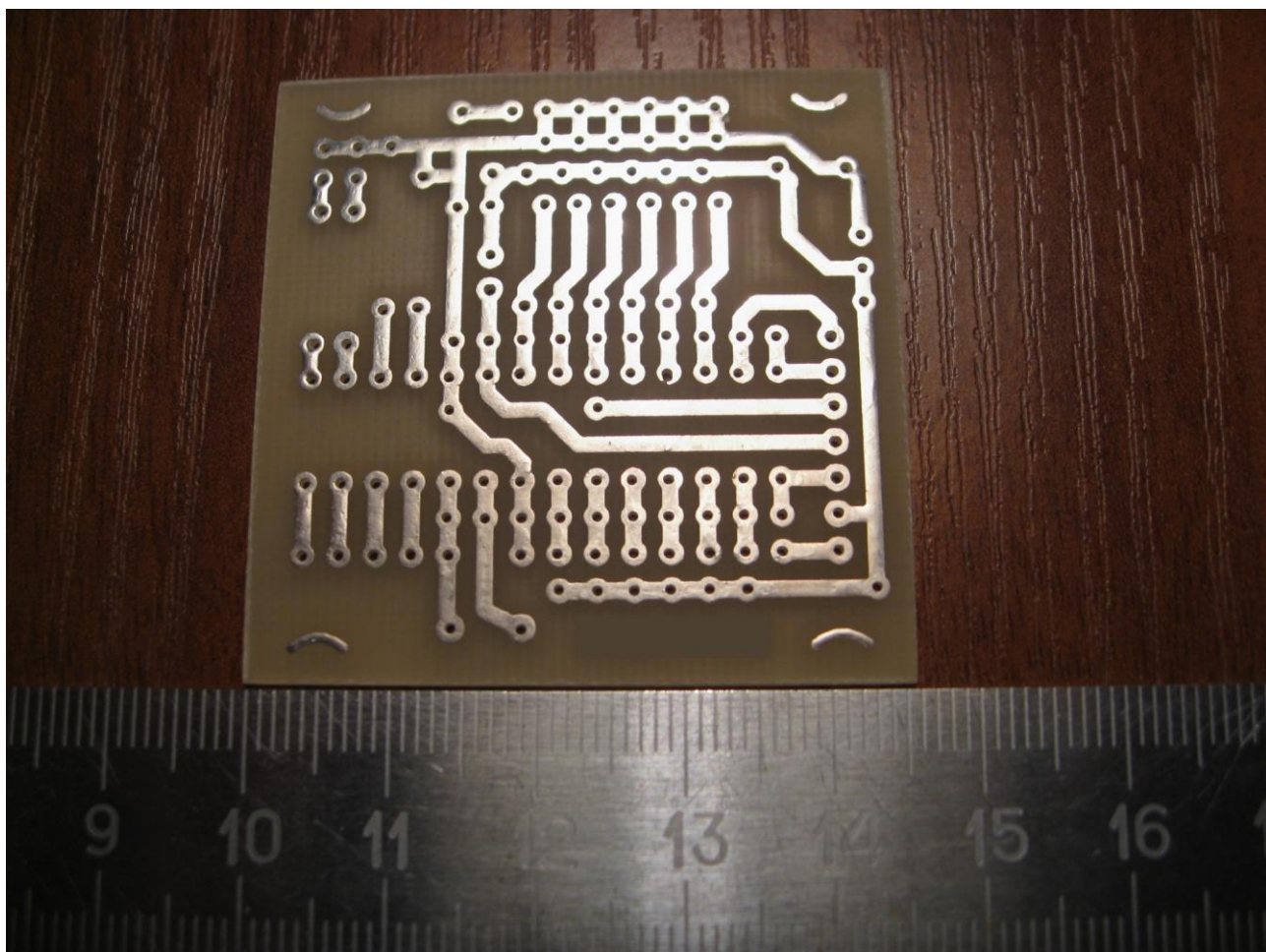


Рисунок 24 — Плата, залуженная сплавом Розе

Однако у этого сплава есть некоторые недостатки. Паянные сплавом Розе соединения обладают хрупкостью, поэтому его лучше не использовать для пайки, а только для защиты поверхности или выпайки компонентов. Также сплав токсичен при нагреве, поэтому работать с ним нужно только в хорошо проветриваемом помещении.

Существует сплав Вуда, который обладает ещё более низкой температурой плавления равной 60-68.5 °С. Но этот сплав обладает большей токсичностью в сравнении со сплавом Розе. Сплав Вуда содержит кадмий который выделяется в виде паров при нагревании и может вызывать риск повреждения внутренних органов и появления рака. Ещё сплав содержит свинец который тоже опасен для здоровья. Из-за своих вредных свойств и

возможности расплавления при рабочей температуре, сплав Вуда не использовался при изготовлении данных печатных плат.

Заключение

В процессе создания выпускной работы были изучены основы работы с программами Компас 3D, EasyEDA, Altium Designer. Также в процессе создания устройства были углублены знания по электронике, по созданию печатных плат в домашних условиях. Было разработано устройство соответствующее всем требованиям регламента соревнований Формула Студент.

Список используемой литературы

1. 7 правил проектирования печатных плат [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/414141/> (дата обращения: 10.06.2021)
2. ГОСТ 2.104-2006. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем. Межгосударственный стандарт . Введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 августа 2011 г. № 211-ст. Дата введения 2012-01-01 // Консорциум «Кодекс» : электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200086241> (дата обращения: 10.06.2021)
3. ГОСТ 2.104-2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи. межгосударственный стандарт. Введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июня 2006 г. № 118-ст. Дата введения 2006-09-01 // Консорциум «Кодекс» : электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200045443> (дата обращения: 10.06.2021)
4. Какие бывают виды светодиодов [Электронный ресурс]. URL: <http://ledno.ru/svetodiody/vidy-led.html> (дата обращения: 10.06.2021)
5. Ключ на полевых транзисторах [Электронный ресурс]. URL: https://chipinfo.pro/elements/transistors/general/mosfets_as_key.shtml (дата обращения: 10.06.2021)
6. Лазерно-утюжная технология [Электронный ресурс]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/461389> (дата обращения: 10.06.2021)
7. Микросхемы серии 78xx [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D1%8B_

- %D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B8_78xx (дата обращения: 10.06.2021)
8. Операционные усилители - проблема выбора [Электронный ресурс]. URL: <https://kit-e.ru/bez-rubriki/operacziionnye-usiliteli-problema-vybora-2/> (дата обращения: 10.06.2021)
9. Пауль Х., Уинфилд Х The Art of Electronics / Cambridge University Press 1989. 1171 с/
10. Способы травления печатных плат (3 рецепта) [Электронный ресурс]. URL: <https://frompinski.wordpress.com/2014/04/14/%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D1%8B-%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F-%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%BD%D1%8B%D1%85-%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%82-3-%D1%80%D0%B5%D1%86%D0%B5/> (дата обращения: 10.06.2021)
11. СТЕКЛОТЕКСТОЛИТ, ГЕТИНАКС, ТЕКСТОЛИТ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eleciz.ru/articles/2887/59611/> (дата обращения: 10.06.2021)
12. Текстолит [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82> (дата обращения: 10.06.2021)
13. Травление платы в домашних условиях [Электронный ресурс]. URL: <https://orpro.ru/travlenie-platy-v-domashnih-usloviyah-izgotovlenie-vysokokachestvennyh-pechatnyh-plat-v-domashnih-uslo/> (дата обращения: 10.06.2021)
14. Фоторезист [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82> (дата обращения: 10.06.2021)

15. Электромобиль [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C> (дата обращения: 10.06.2021)
16. A Full Review of EasyEDA: A Circuit EDA Online Tool [Электронный ресурс]. URL: <https://atadiat.com/en/e-full-review-of-easyeda-circuit-eda-online-tool/> (дата обращения: 10.06.2021)
17. CMOS [Электронный ресурс]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/CMOS> (дата обращения: 10.06.2021)
18. Electrical System Form FSAE-E2018. University of Wisconsin-Madison [Электронный ресурс]. URL: https://www.wisconsinracing.org/wp-content/uploads/2020/10/2018_ESF_Submission.pdf (дата обращения: 10.06.2021)
19. Formula Electric Belgium – Safety Indicators [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eurocircuits.com/blog/formula-electric-belgium-own-electronic-control-unit-with-eurocircuits-pcbs-3/> (дата обращения: 10.06.2021)
20. FS Rules 2020 [Электронный ресурс]. URL: https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2020/rules/FS-21.Rules_2020_V1.0.pdf (дата обращения: 10.06.2021)
21. How to select the right digital isolator for your design [Электронный ресурс]. URL: https://e2e.ti.com/blogs_/b/analogwire/posts/how-to-select-a-digital-isolator (дата обращения: 10.06.2021)
22. Rose's metal [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Rose%27s_metal (дата обращения: 10.06.2021)
23. Route tracks. Tutorial. EasyEDA [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.easyeda.com/en/PCB/Route/index.html> (дата обращения: 10.06.2021)
24. Sprint-Layout. Руководство пользователя. [Электронный ресурс]. URL: http://wzone.vegalab.ru/faq/sprint_layout (дата обращения: 10.06.2021)

25. Transistor–transistor logic [Электронный ресурс]. URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor%E2%80%93transistor_logic (дата
обращения: 10.06.2021)

Приложение А

Часть регламента соревнований Formula Student

EV 4.10 Система тяги Active Light (TSAL)

EV 4.10.1 Транспортные средства должны включать один TSAL, который должен указывать статус TS. TSAL не должен выполнять никаких других функций. Допускается TSAL с несколькими светодиодами в одном корпусе.

EV 4.10.2 TS активен, когда выполняется ЛЮБОЕ из следующих условий:

- Реле изоляции аккумулятора замкнуто.
- Реле предварительной зарядки, см. EV5.7.2, замкнуто.
- Напряжение вне аккумуляторного контейнера (ов) превышает 60 В

постоянного тока или 25 В переменного тока среднеквадратичное значение.

EV 4.10.3 TS отключается, когда выполняются ВСЕ следующие условия:

- Все реле изоляции аккумулятора разомкнуты.
- Реле предварительной зарядки, см. EV5.7.2, размыкается.
- Напряжение вне аккумуляторного контейнера (ов) не превышает 60 В

постоянного тока или 25 В переменного тока (среднеквадратичное значение).

EV 4.10.4 Упомянутые состояния реле (разомкнут / замкнут) являются фактическими механическими состояниями. Механическое состояние может отличаться от преднамеренного, т.е. если реле заблокировано. Любая схема, определяющая механическое состояние, должна соответствовать EV5.6.2.

EV 4.10.5 Сам TSAL должен:

- Быть красным цветом и непрерывно мигать с частотой от 2 Гц до 5 Гц тогда и только тогда, когда TS активен, см. EV4.10.2, и LVS включен.

- Быть зеленым и непрерывно светиться тогда и только тогда, когда TS деактивирован, см. EV4.10.3, и LVS включен.

EV 4.10.6 TSAL должен:

- Находиться ниже самой высокой точки основных пальцев и включать крепление в пределах защитной оболочки при опрокидывании, см. T1.1.14.

Продолжение Приложения А

- Находиться не ниже 150 мм от наивысшей точки основных пальцев.
- Ни при каких обстоятельствах не иметь возможности касаться шлема водителя.

EV 4.10.7 Вся освещенная поверхность TSAL должна быть четко видна:

- За исключением небольших углов, которые блокируются основными пальцами.

- Из точки 1,60 м по вертикали от уровня земли, в пределах 3 м горизонтального радиуса от TSAL.

- Под прямыми солнечными лучами.

EV 4.10.8 TSAL и вся необходимая электрическая схема должны быть жестко защищены электроникой. Программный контроль не разрешен.

EV 4.10.9 Зеленый индикатор в кабине, который хорошо виден даже при ярком солнечном свете и четко обозначен «TS off», должен загореться, если TS деактивирован, см. EV4.10.3.

EV 4.10.10 Сигналы, влияющие на TSAL и индикатор в соответствии с EV4.10.9, - это SCS, см. T11.9. Безопасное состояние для TSAL определяется как TSAL без подсветки. TSAL имеет активную индикацию отсутствия отказов (постоянное зеленое свечение) и, следовательно, не должен светиться для видимой проверки, см. T11.9.5.

EV 4.10.11 TSAL должен быть спроектирован так, чтобы единственная точка отказа в схеме TSAL не показывала активированный TS как деактивированный TS согласно EV4.10.5.

EV 4.10.12 Схема, определяющая состояния реле, упомянутые в EV4.10.2 и EV4.10.3, не нуждается в обнаружении разрыва цепи при преднамеренном размыкании реле. Цепи обнаружения напряжения не требуется обнаруживать обрыв цепи, если напряжение отсутствует.

Продолжение Приложения А

EV 4.10.13 Напряжение вне аккумулятора TS необходимо как минимум измерять независимо.

- через конденсаторы промежуточного контура в каждом корпусе с конденсаторами промежуточного контура
- на стороне транспортного средства реле изоляции аккумулятора (AIR) внутри аккумуляторного контейнера

Если есть какая-либо неправдоподобность между независимыми измерениями напряжения, необходимо перейти в безопасное состояние независимо от состояний реле.

EV 4.10.14 Если аккумуляторный контейнер TS снимается с транспортного средства, необходимо использовать устройство, которое логически заменяет части TSAL внутри аккумуляторного контейнера. Не должно быть механической возможности электрического соединения аккумуляторной емкости TS с автомобилем, когда это устройство установлено.