

Основы электроники

Курсовой проект

Евгений Зеленин

11 ноября 2024 г.

1. Реализация генератора случайных чисел

Условия задачи. Выполнить реализацию устройства «генератор случайных чисел». Суть. Большая часть цепей устройства должно получать питание по нажатию одной и той же кнопки (повторное ее нажатие отключает питание). По нажатию второй кнопки на индикаторы должно выводиться случайное число. Индикация должна быть двухразрядной. Устройство должно быть рассчитано на входящее напряжение от 10 до 30 Вольт (типовое 12 Вольт). Реализовать доступные цепи защиты от переполюсовки. Модуль включения последующих цепей (ON/OFF) должен иметь напряжение питания не менее 8 Вольт (получить через DC-DC преобразователь, обеспечить визуальную индикацию наличия напряжения). Остальные цепи (генератор, счетчики, индикация) должны иметь напряжение питания не более 5 Вольт (обеспечить визуальную индикацию наличия напряжения). После отладки на макетной плате выполнить окончательную версию сборки на монтажной плате с помощью пайки. Уделить внимание визуальной стороне проекта (продумать расположение и внешний вид). Для задачи выполнить принципиальную схему в KiCAD, приложить описание проведенной работы и обоснование выбранных компонентов в формате PDF. Выбрать(создать) компоненты, развести плату, приложить чертежи в PDF с трассировкой и скрин с 3D видом верх(низ). Проект в KiCAD должен соответствовать реальности! (тому, что и как будет располагаться на вашей плате). Пояснительные чертежи размеров, надписи и прочая пользовательская информация выполняются на слоях User.Drawings и User.Comments.

Логика работы

По заданию, индикация двухразрядная (от 0 до 99). Следовательно, на полный цикл счета требуется 100 импульсов. В качестве органа управления будет использована тактовая кнопка. Как известно, длительность нажатия кнопки не постоянна и колеблется в диапазоне 50-200мс, поэтому, можно использовать длительность нажатия в качестве фактора случайности. Сделаем следующее допущение: пока кнопка нажата, осуществляется счет, как только кнопка отпущена - счет прекращается, а полученное значение фиксируется. Чтобы результат было невозможно предсказать, увеличим частоту генератора до 10000 Гц. Таким образом, за одну секунду счетчик 100 раз просчитает весь диапазон от 0 до 100. В случае кратковременного нажатия (100мс) пройдет 10 циклов счета. Угадать же значение, на котором остановится счетчик, опираясь на скорость реакции человека - невозможно.

Разработка питающей части

По условию задания, входящее напряжение может находиться в диапазоне от 10 до 30В, это достаточно широкий диапазон, стабилизация до 8в с помощью одного лишь линейного регулятора будет связана с большими потерями энергии. Поэтому, наиболее оптимальным будет использование DC-DC преобразователя. По условию, требуется реализовать включения и отключение питания одной кнопкой, для реализации этого функционала подойдет схема управления ключом по одной кнопке на таймере 555.

В этот раз будем разрывать "плюс"питания. В качестве ключа используется NPN транзистор BC337, по опыту предыдущих заданий, два семисегментных индикатора и генератор на микросхеме 555 будут потреблять не более чем 50mA, что меньше максимального тока коллектора BC337 в 10 раз.

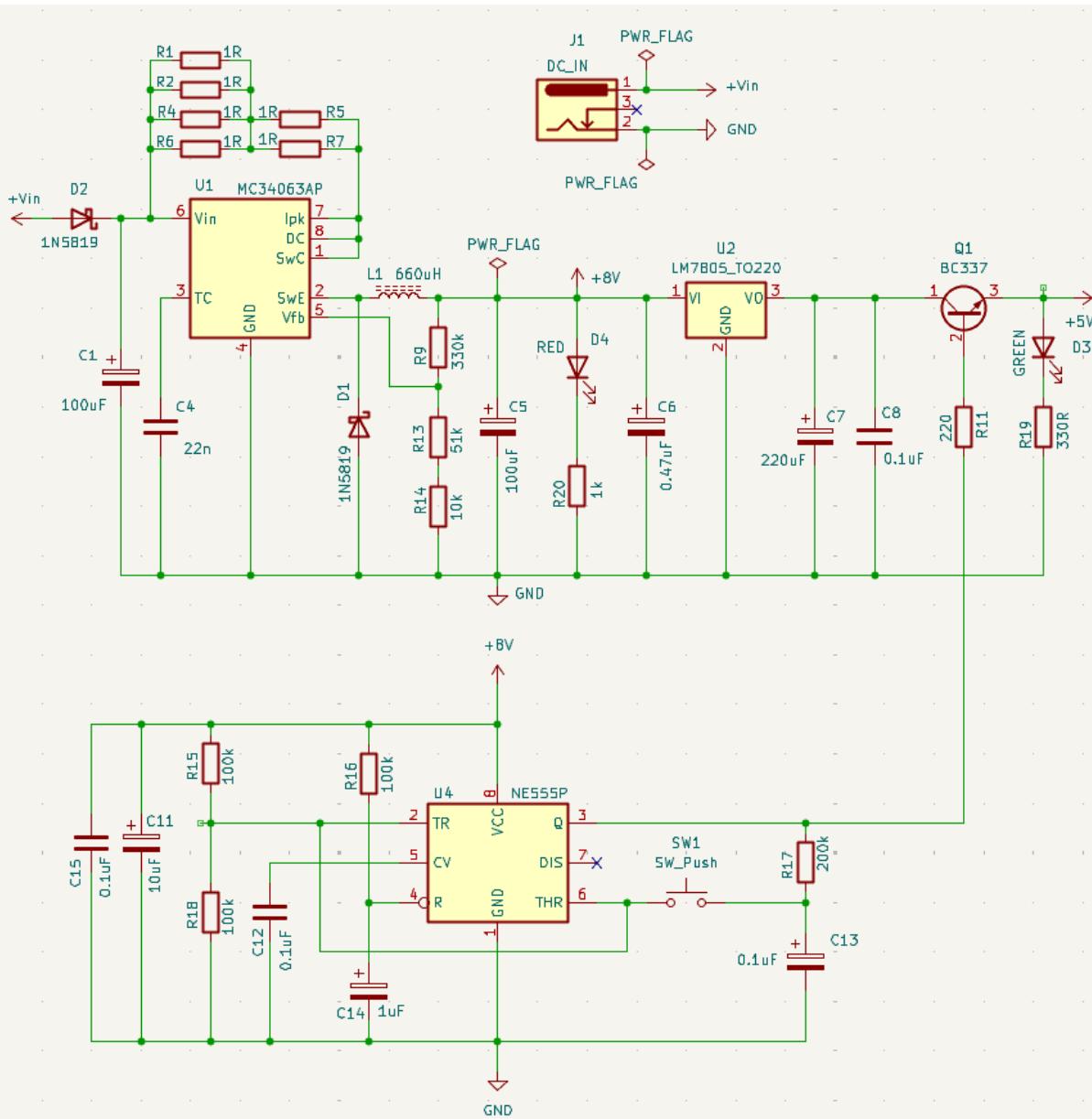


Рис. 1: Схема питающей части

Преобразование питания 8В в 5В осуществляется с помощью LM7805. Следует отметить, что для обеспечения передачи 5в с минимальными потерями, на базе транзистора Q_1 требуется обеспечить управляющее напряжение в 5.7в ($5\text{в} + U_{be}$). Так как U_4 питается от 8в, то уровень управляющего напряжения близок к 6.6в ($V_{cc} - 1.4\text{v}$, из даташит на NE555). Вычислим номинал $R_{11} = \frac{6.6\text{v}-5.7\text{v}}{0.004\text{mA}} = 220$ Ом (Чтобы минимизировать потери на Q_1 , примем ток базы за 4mA для максимального тока коллектора в 400mA, исходя из рисунка 2).

Принципиальная схема показана на рисунке 1. Расчет DC-DC преобразователя производился в online калькуляторе, включение стабилизатора LM7805 типовое. Реализация схемы "защелки" для управления питанием по нажатию одной кнопки полностью повторяет ДЗ 9. После нажатия кнопки, питание поступает на генератор, собранный на микросхеме 555 (рисунок 3) и далее, через штыревой разъем, на плату с пользовательским интерфейсом и счетчиками.

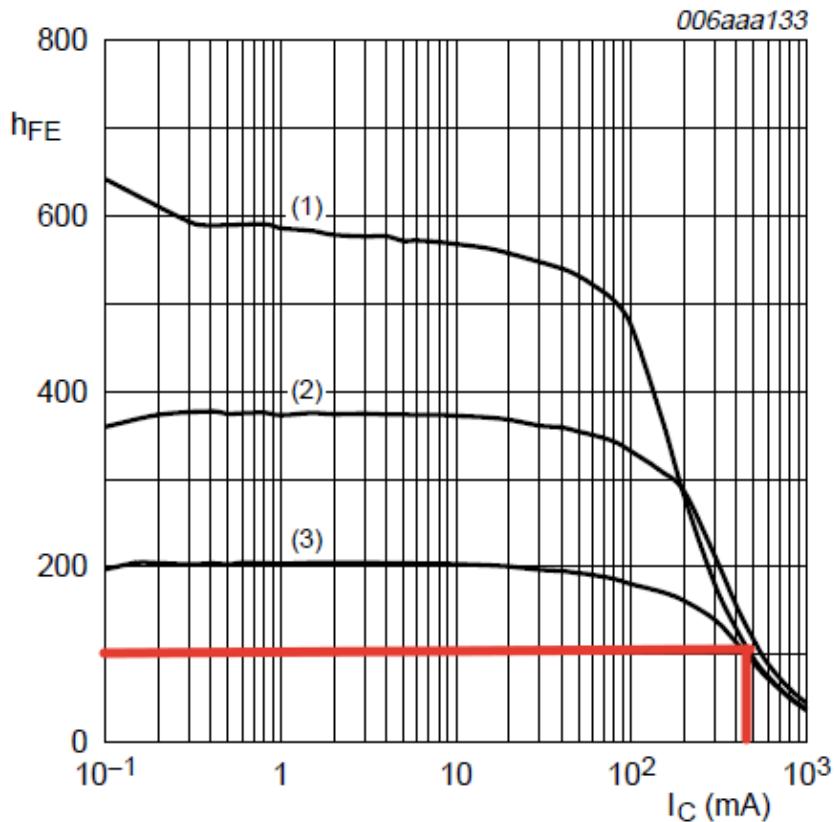


Рис. 2: Определение h_{FE}

Схема генератора

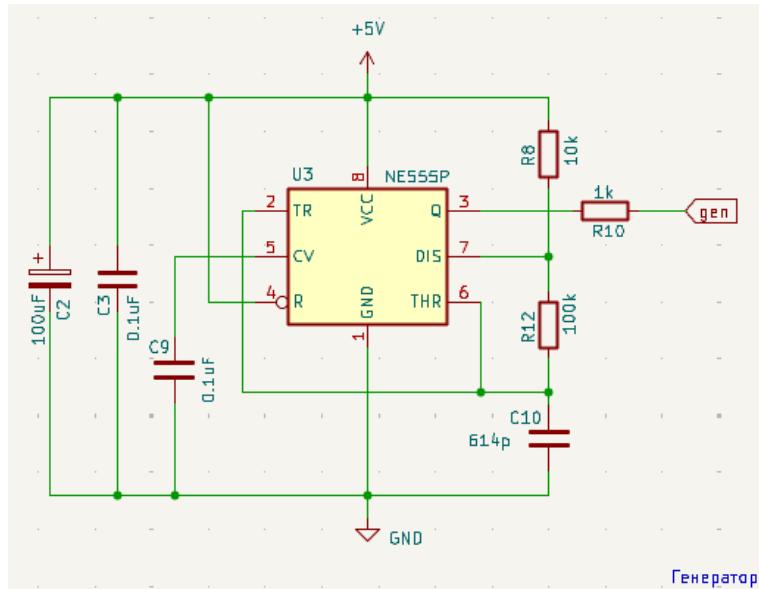


Рис. 3: Схема генератора

Генератор собран на микросхеме 555. Для обеспечения частоты генерации в 10000 Гц, выбраны из доступных следующие номиналы: $C_{10} = 610p$, $R_{12} = 100k$, $R_8 = 10k$.

Интерфейс пользователя

Сигнал генератора вместе с питающим напряжением 5В через 3-ех контактный разъем поступает на плату интерфейса пользователя. На этой плате расположены два 7-сегментных индикатора, два счетчика и кнопка. Схема показана на рисунке 4.

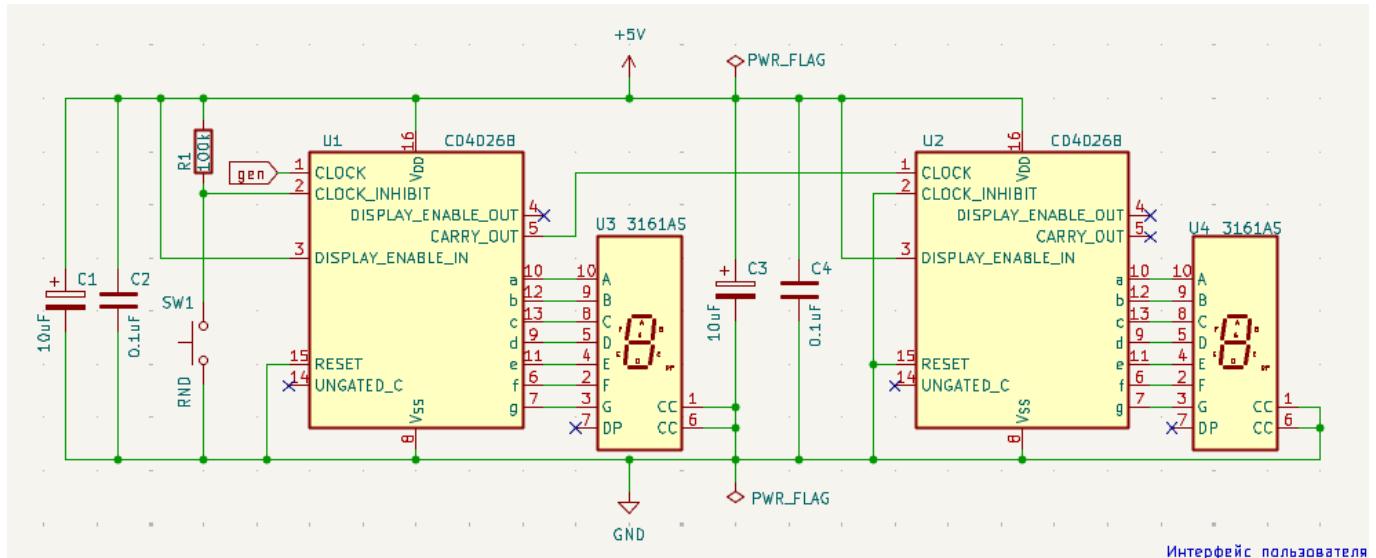


Рис. 4: Схема интерфейса

Сигнал с генератора поступает на счетный вход 1 микросхемы U_1 , но так как вход CLOCK_INHIBIT , через сопротивление R_1 притянут к +5в, счет не ведется. После нажатия кнопки

SW_1 , вывод 2 микросхемы U_1 притягивается на землю, счетчик начинает считать. Как только кнопка отпускается пользователем, счет прекращается. За время нажатия кнопки в 100мс, успевает пройти около 10 циклов счета от 0 до 100, случайное значение достигается за счет непостоянной длительности нажатия кнопки.

Теперь, приступим к проверке этой концепции на практике и соберем схему на макетной плате.

2. Сборка на макетной плате

Сборка на макетной плате производилась в несколько этапов. Сначала, был собран и проверен DC-DC преобразователь на входных напряжениях от 10 до 30в (Рисунки 5, 6). На выходе преобразователя должно быть 8в.

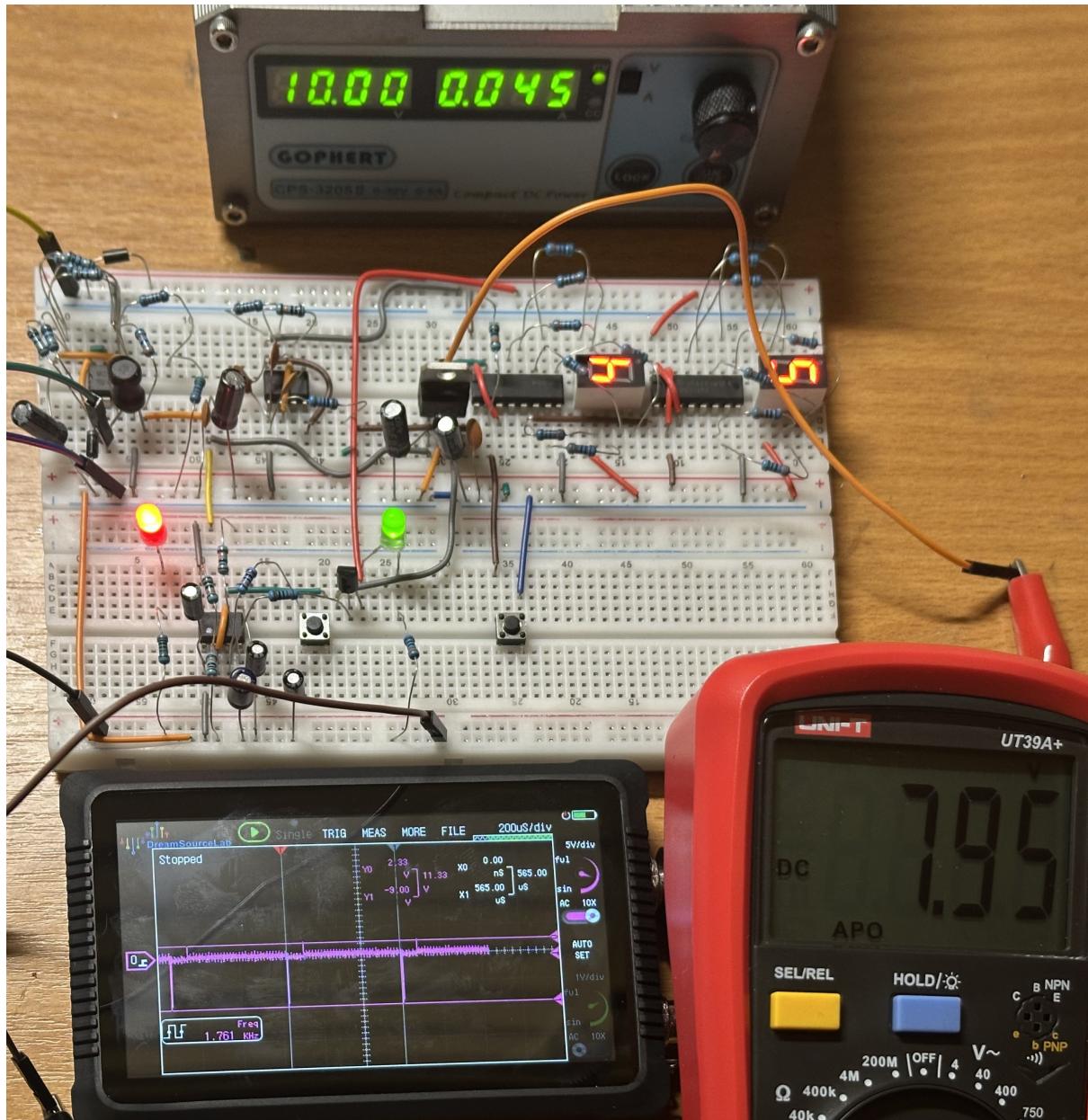


Рис. 5: Работа DC-DC преобразователя от 10В

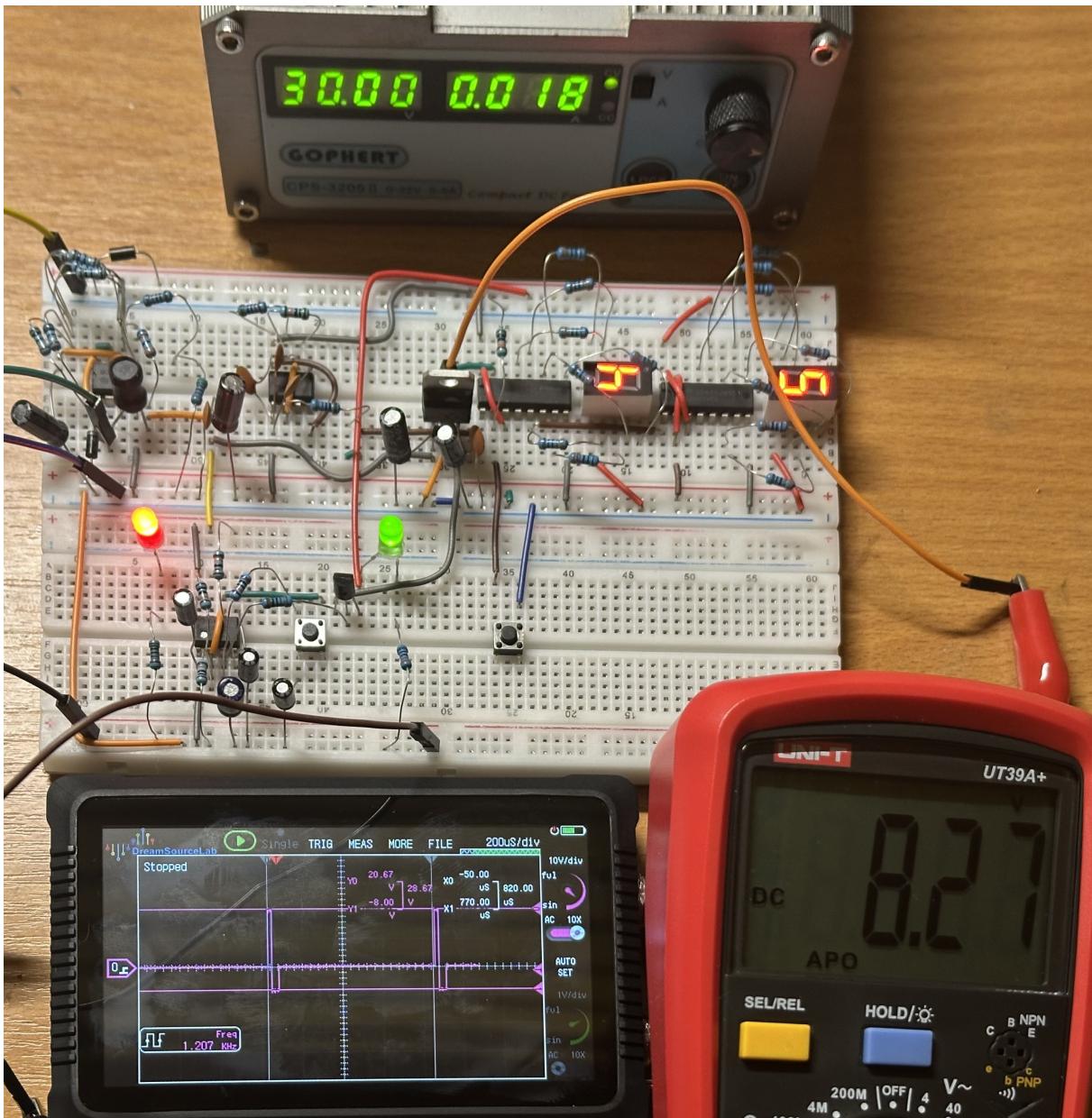


Рис. 6: Работа DC-DC преобразователя от 30В

Далее, был собран и проверен генератор сигнала 10кГц (рисунок 7). После чего собрана часть схемы на счетчиках и индикаторах, измерено потребление схемой от 5в. Как видно из рисунка 8, потребляемый ток не превышает 30mA. Видео с демонстрацией работы приложено в материалах к занятию.

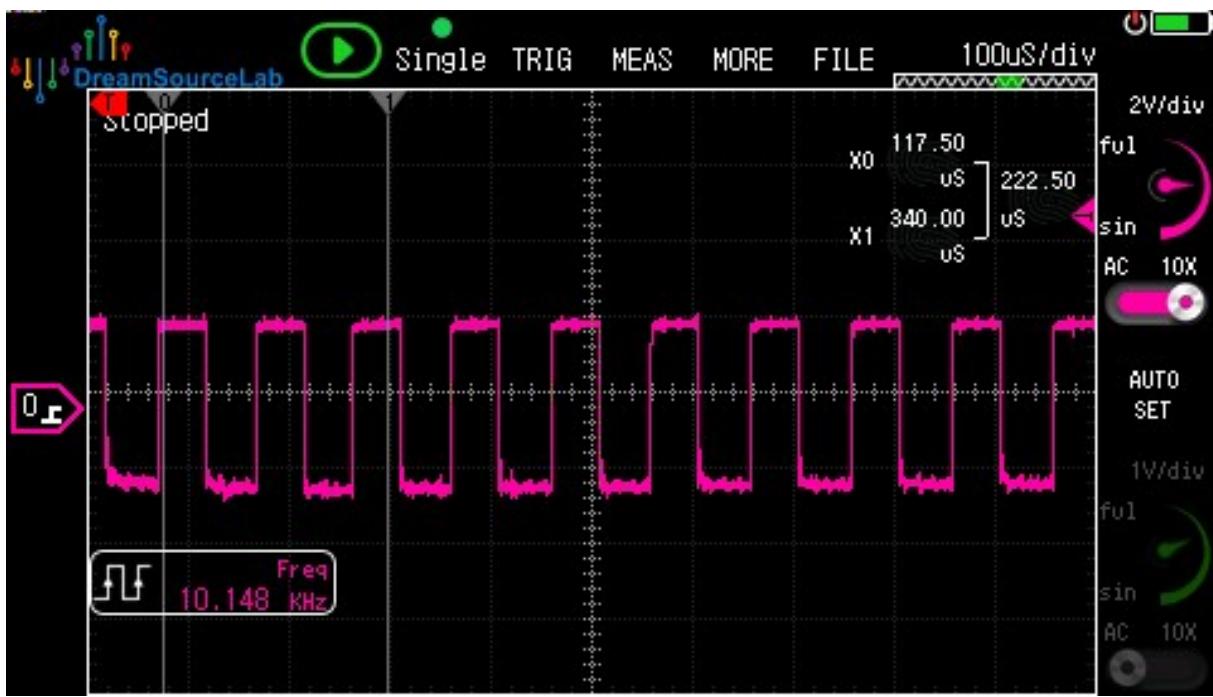


Рис. 7: Работа генератора 10кГц

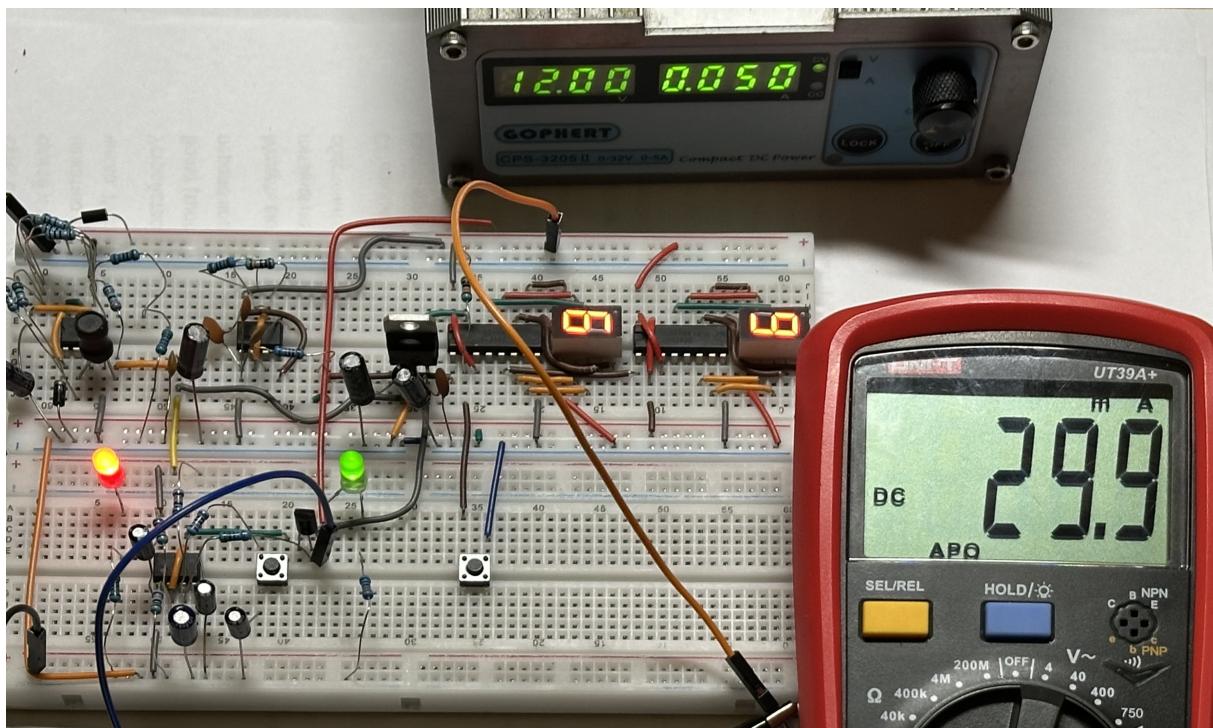


Рис. 8: Потребление схемы от 5в

3. Проектирование в KiCAD

Для задачи выполнить принципиальную схему в *KiCAD*, приложить описание проведенной работы и обоснование выбранных компонентов в формате PDF. Выбрать(создать) компоненты, развести плату, приложить чертежи в PDF с трассировкой и скрин с 3D видом верх(низ). Проект в *KiCAD* должен соответствовать реальности! (тому, что и как будет располагаться на вашей плате). Пояснительные чертежи размеров, надписи и прочая пользовательская информация выполняются на слоях *User.Drawings* и *User.Comments*.

Исходя из размеров монтажных плат и компонентов в наборе, было принято решение разделить устройство на две платы: плату с интерфейсом пользователя (индикаторы, счетчики, кнопка) и плату управления питанием и генератора. Для каждой платы создавался отдельный проект. После проектирования в *KiCAD* и преобразования проектов в STEP формат, можно оценить собираемость модулей между собой, а так же приступить к проектировке корпуса.

На рисунке 9 показан скриншот платы питания и генератора.

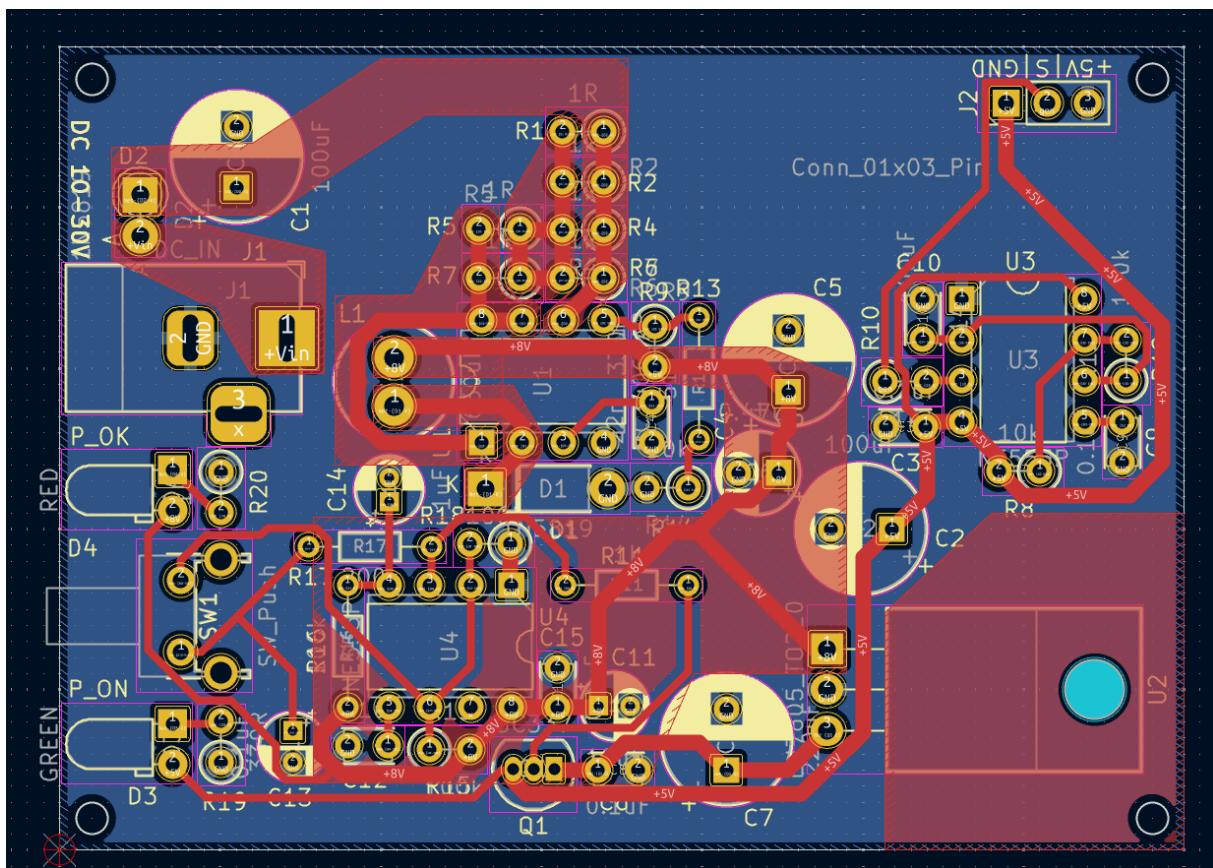


Рис. 9: Скриншот платы питания и генератора

На рисунке 10 показан скриншот платы интерфейса пользователя.

Для соединения плат между собой использован штыревой коллектор (pin header) на 3 контакта.

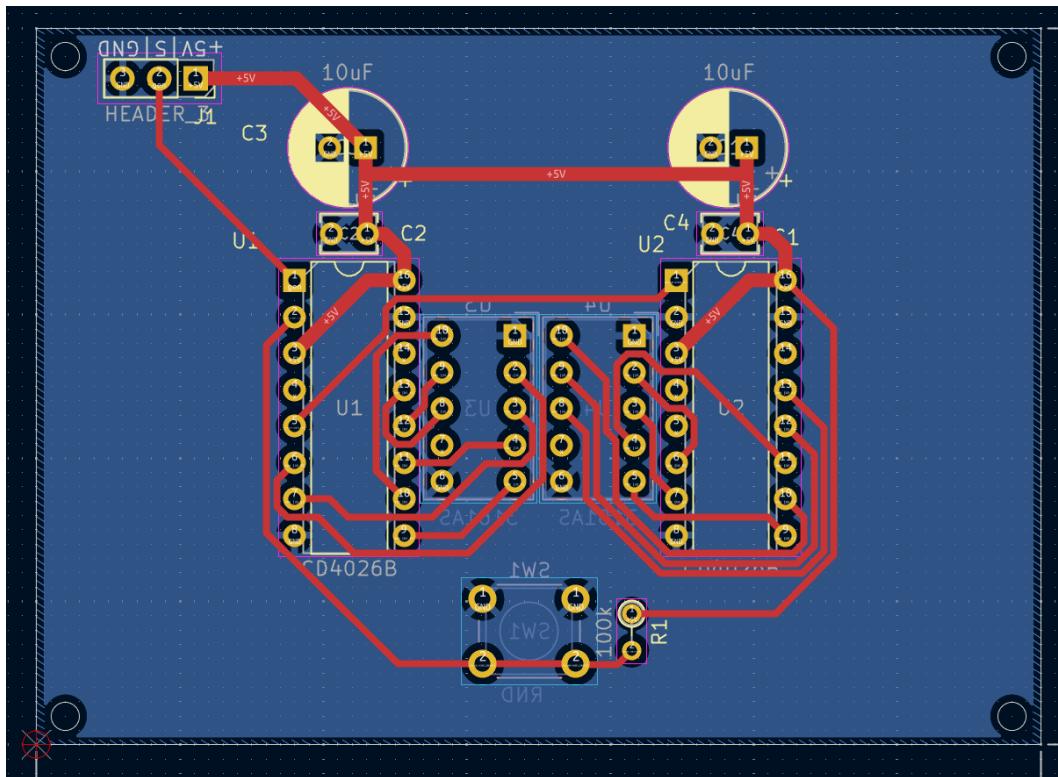


Рис. 10: Скриншот платы интерфейса

Трехмерные виды платы питания показаны на рисунках 11, 12. Трехмерные виды платы интерфейса показаны на рисунке 13.

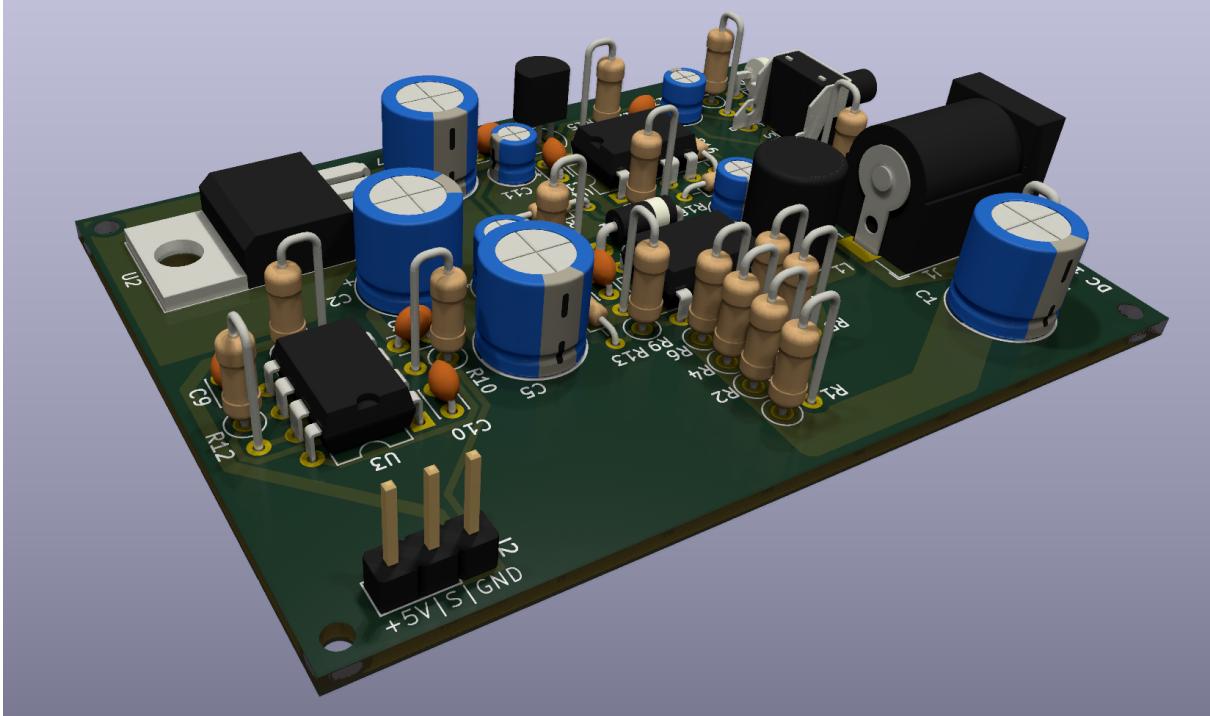
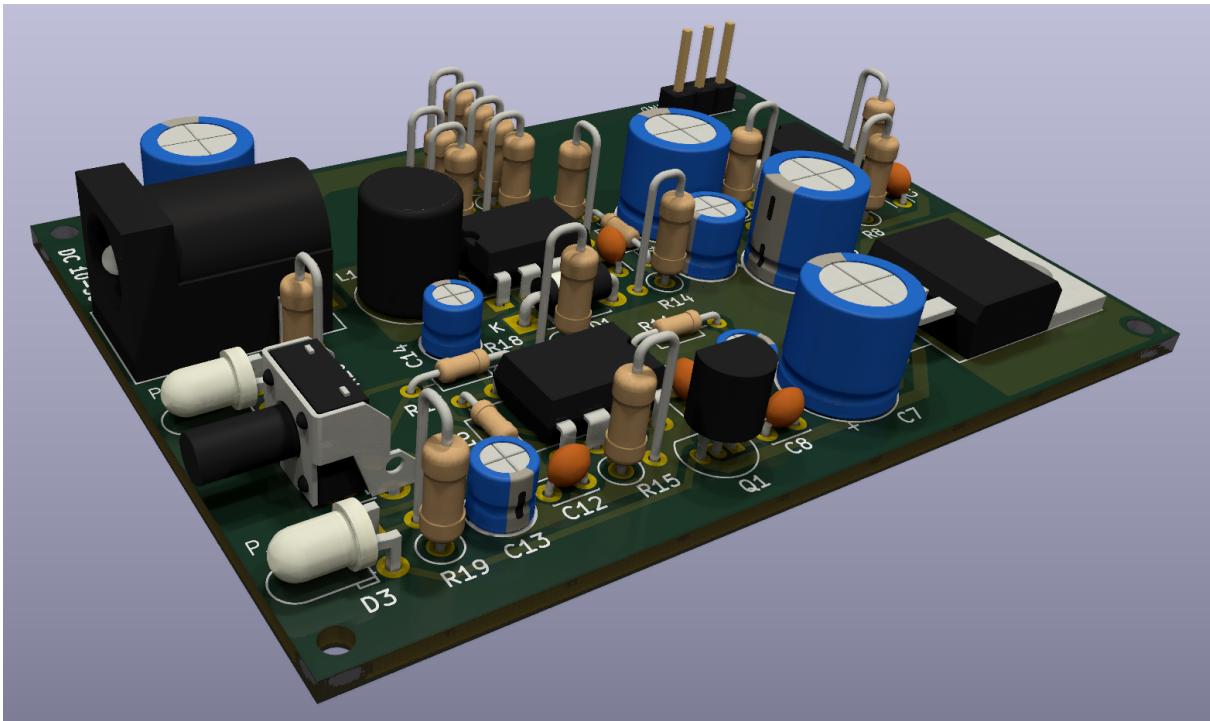


Рис. 11: Плата питания: верх

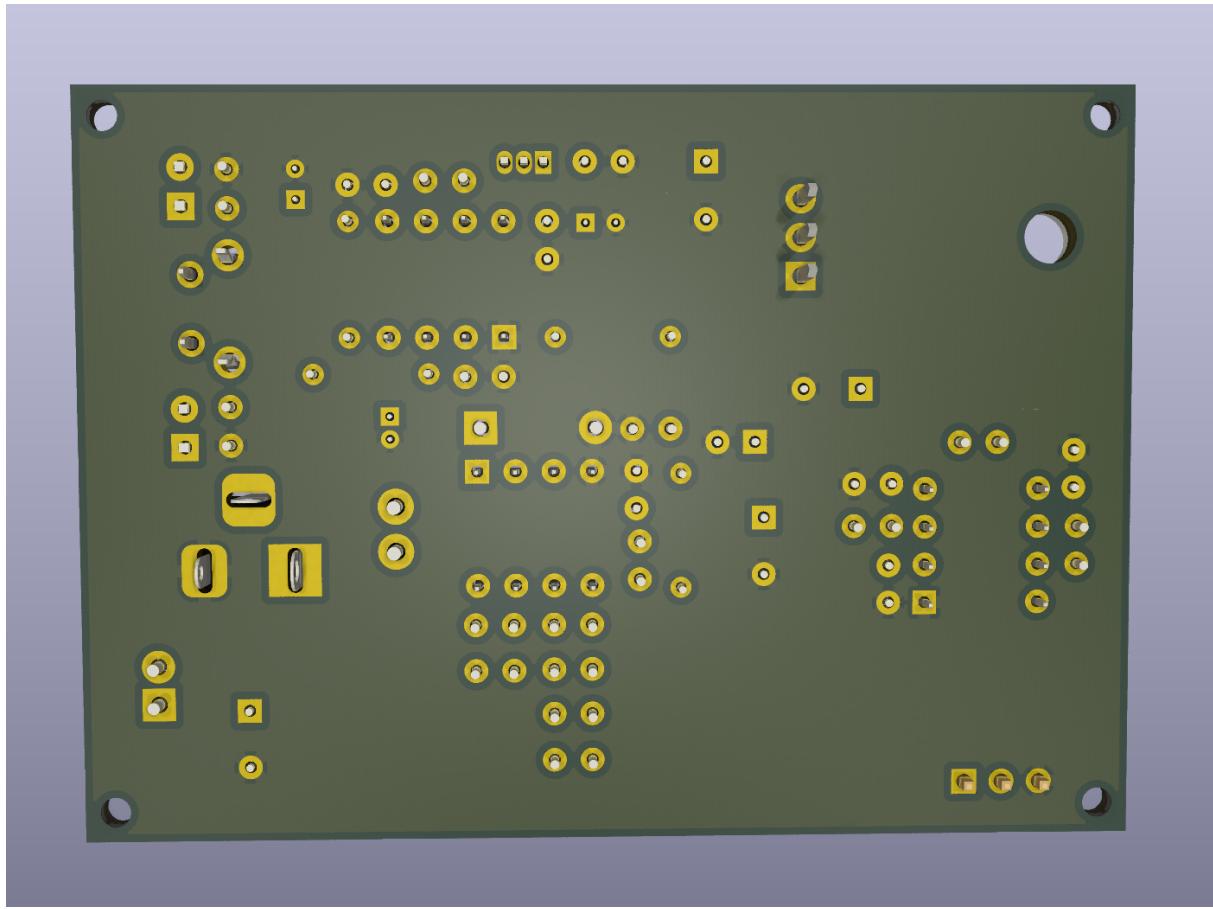


Рис. 12: Плата питания: низ

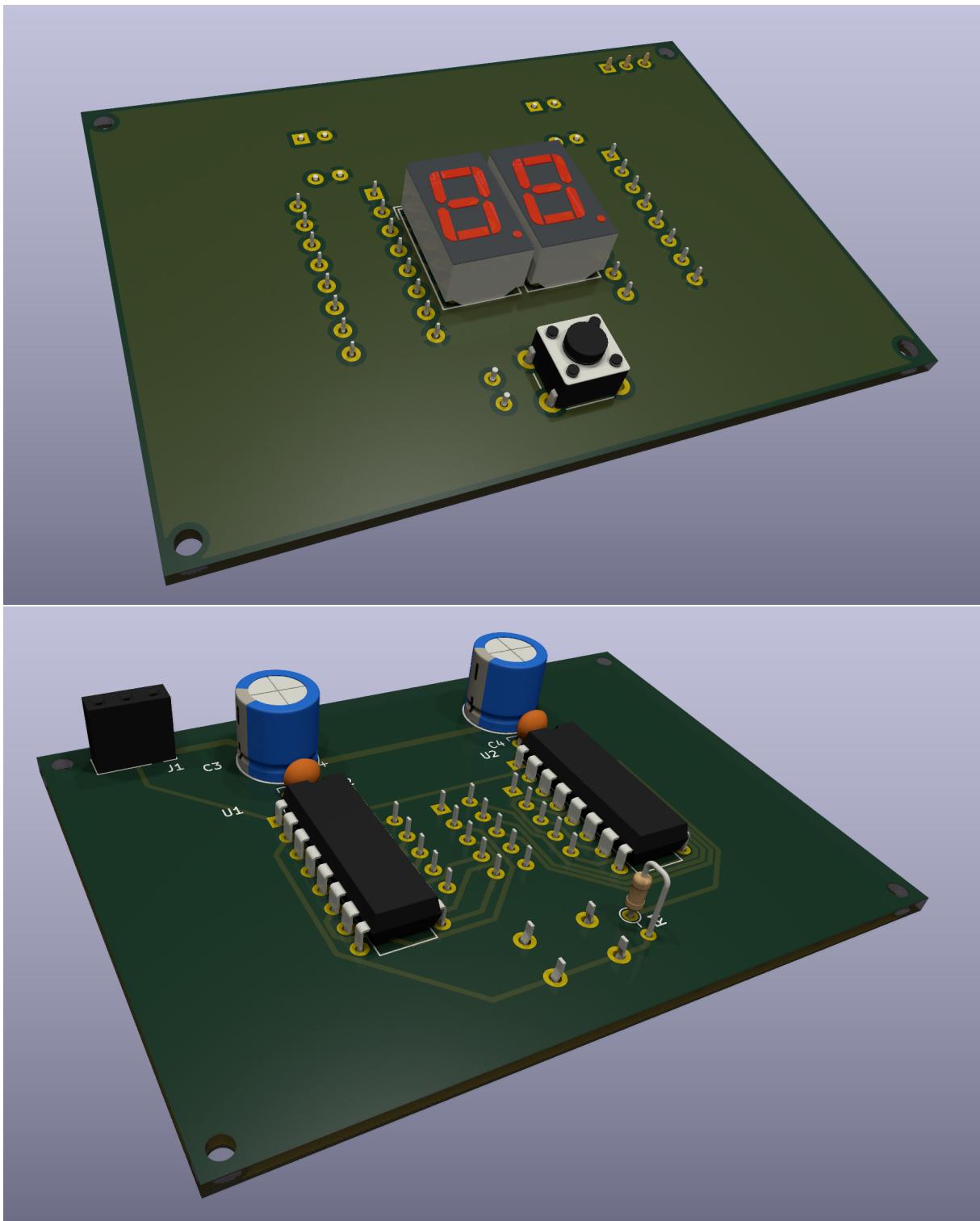


Рис. 13: Плата интерфейса

4. Проектирование корпуса

Перед проектирования корпуса, оценим собираемость устройства. Для этого используем отечественную САПР Компас 3D. Экспортируем проекты KiCAD в STEP формате и импортируем их в сборку в проект Компас.

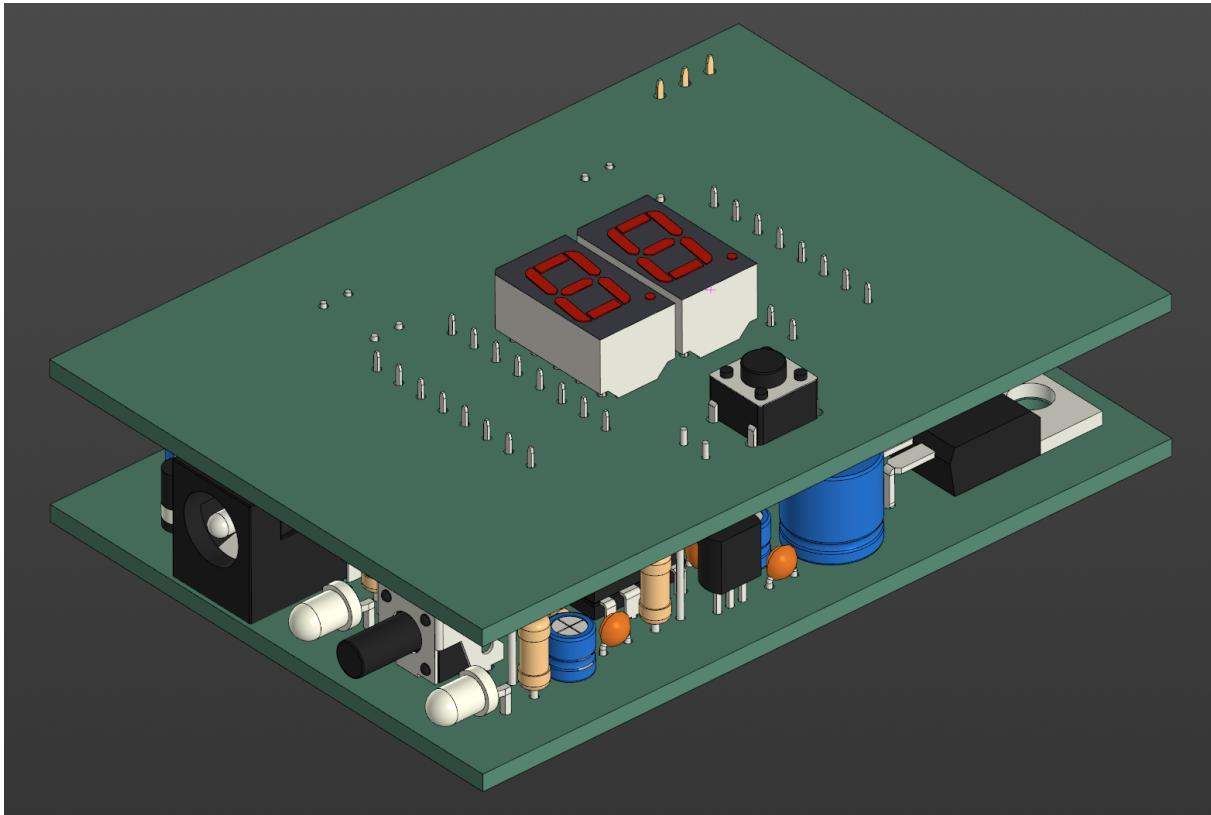


Рис. 14: Проверка собираемости

Как видно из рисунков 14 и 15, собираемость полная, компоненты не пересекаются друг с другом. Чтобы достичь такого результата, пришлось несколько раз вносить изменения в проект KiCAD, передвигать компоненты и выполнять трассировку заново. Некоторые элементы пришлось повернуть набок, так как они не помещались по высоте в пространство между двумя платами.

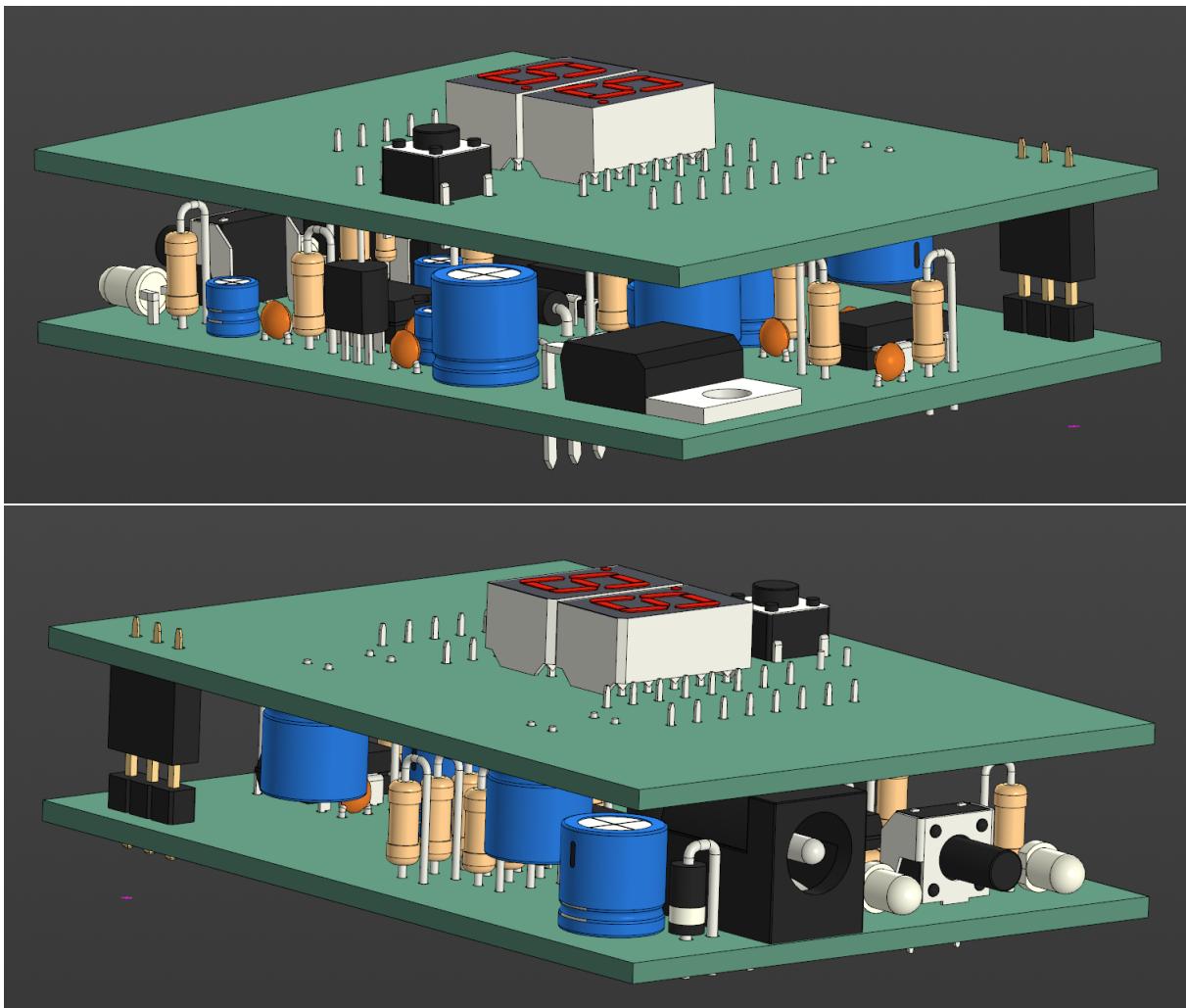


Рис. 15: Проверка собираемости, вид сбоку

После устранения проблем с совместимостью, можно приступить к проектировке корпуса. Так как изготовление будет производиться методом 3D-печати, то следует обеспечить боковой зазор между частями 0.2-0.3мм.

Чтобы достичь нужной глубины посадки платы, предусмотрены специальные выступы в корпусе, а для надежной работы кнопки (без перекосов), выполнена боковая поддержка в форме дуги (Рисунок 16).

Края крышки корпуса выполнены по схеме ласточкиного хвоста, они одновременно выполняют функцию фиксации платы питания и при этом надежно держится в корпусе за счет расклинивания (Рисунок 17).

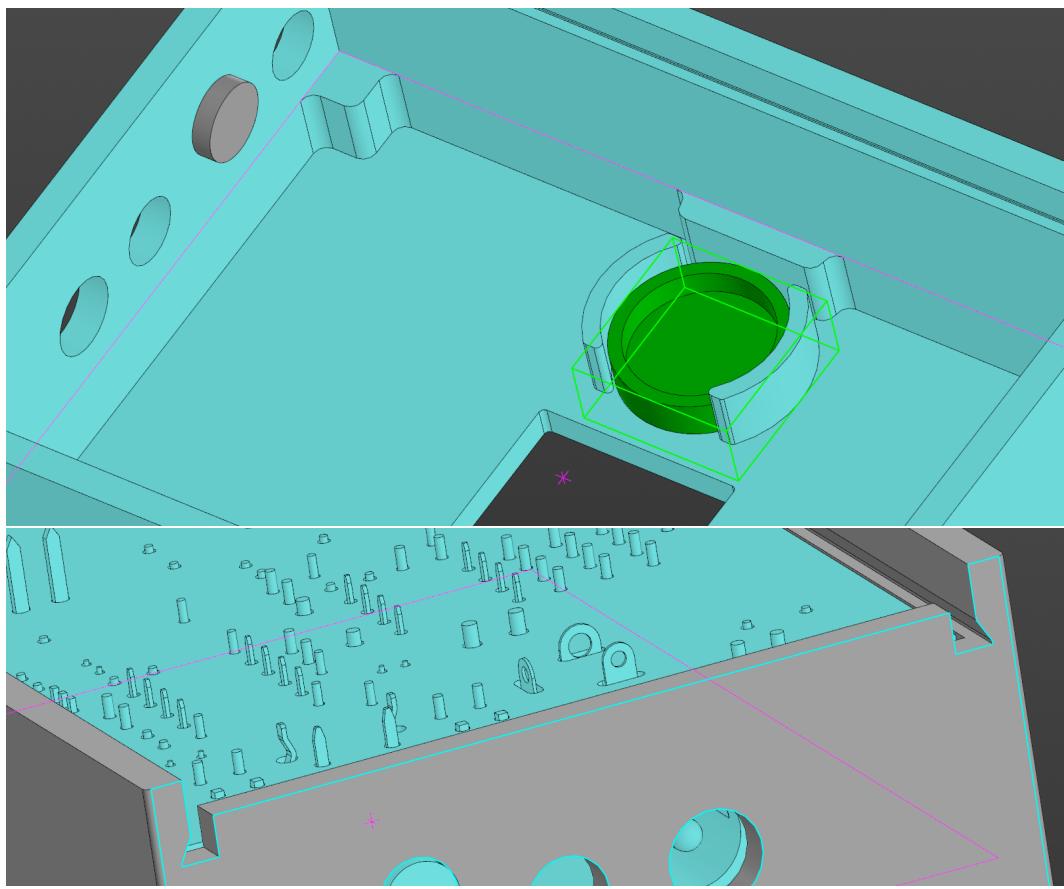


Рис. 16: Кнопка питания (слева), кнопка запуска с боковыми упорами (справа), крышка (снизу)

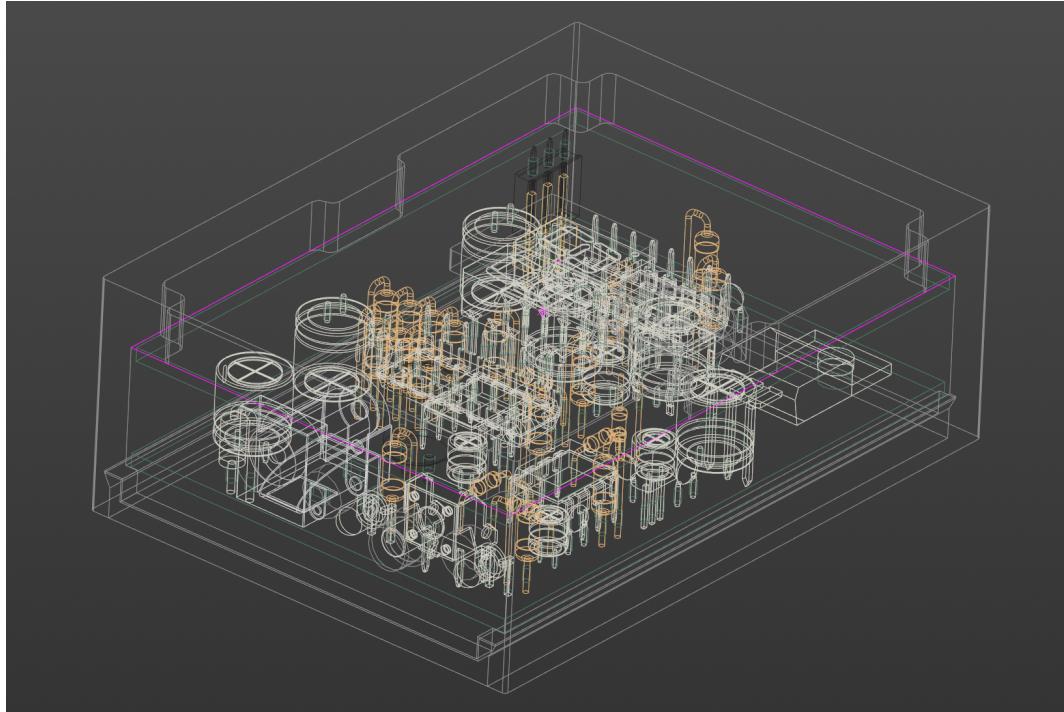


Рис. 17: Скелетный вид

Общий вид корпуса показан на рисунке 18.

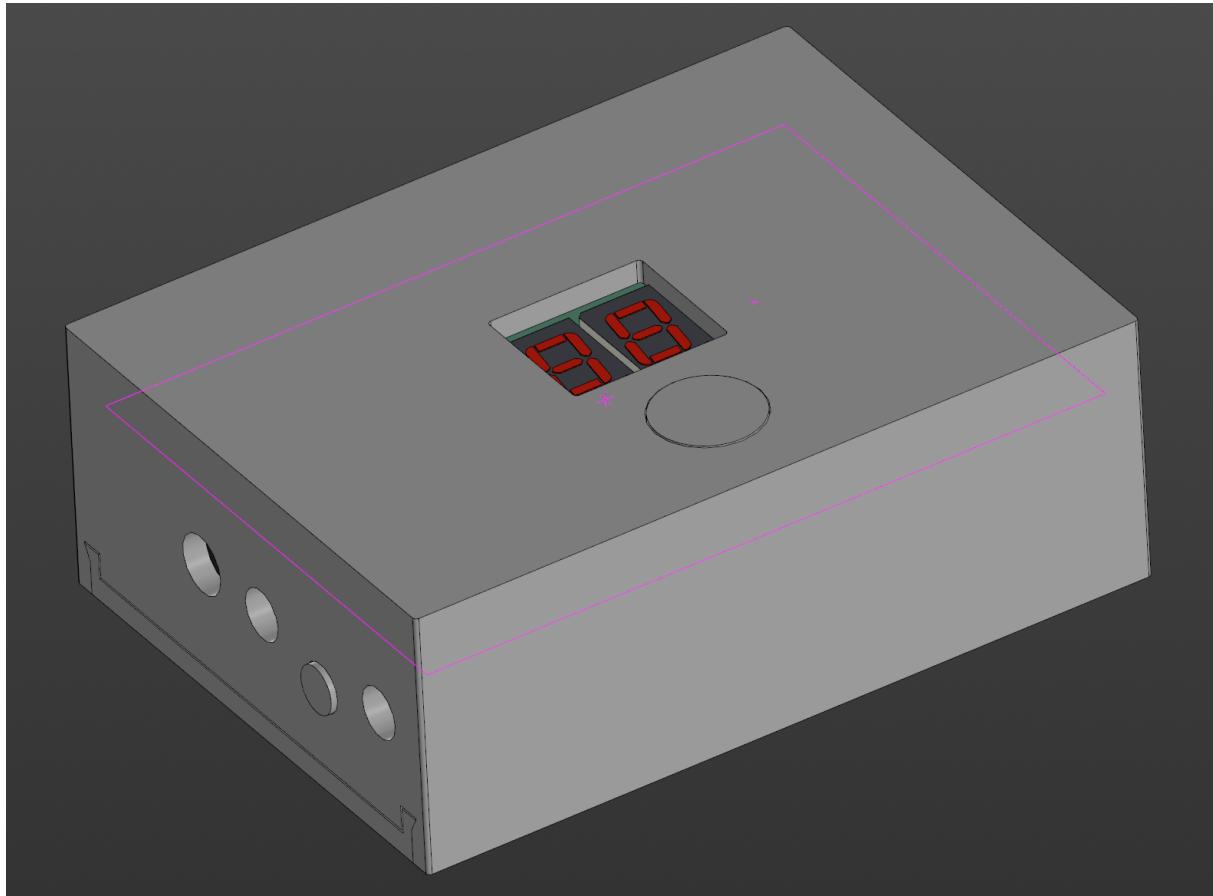


Рис. 18: Общий вид корпуса

После проектирования, приступим к воплощению проекта в реальный мир. Для этого, сначала соберем его на монтажной плате, затем сравним с проектом и, при необходимости, внесем корректировки в корпус устройства.

5. Сборка на монтажной плате

Сборка на монтажной плате, также, осуществлялась в несколько этапов: сначала была собрана плата интерфейса, затем собран DC-DC преобразователь, схема управления питанием стабилизатор пит器ия на 5в, генератор. На каждом этапе производился контроль работоспособности собранной части схемы (так как допуск ошибки на ранней стадии, приводит к значительному усложнению ее устранения на более поздних этапах).

Стоит отметить, что по мере добавления деталей на плату, производилась примерка "на собираемость" и, в случае необходимости, детали передвигались, вносились необходимые изменения в проект. Некоторые электролитические конденсаторы DC-DC преобразователя и катушку индуктивности пришлось повернуть на бок.

На рисунках 19-20 показана плата питания с размещенными на ней компонентами, а на рисунках 21-22 плата интерфейса. Во время монтажа, старался достичь максимального сходства с проектом, как минимум, по расположению компонентов.

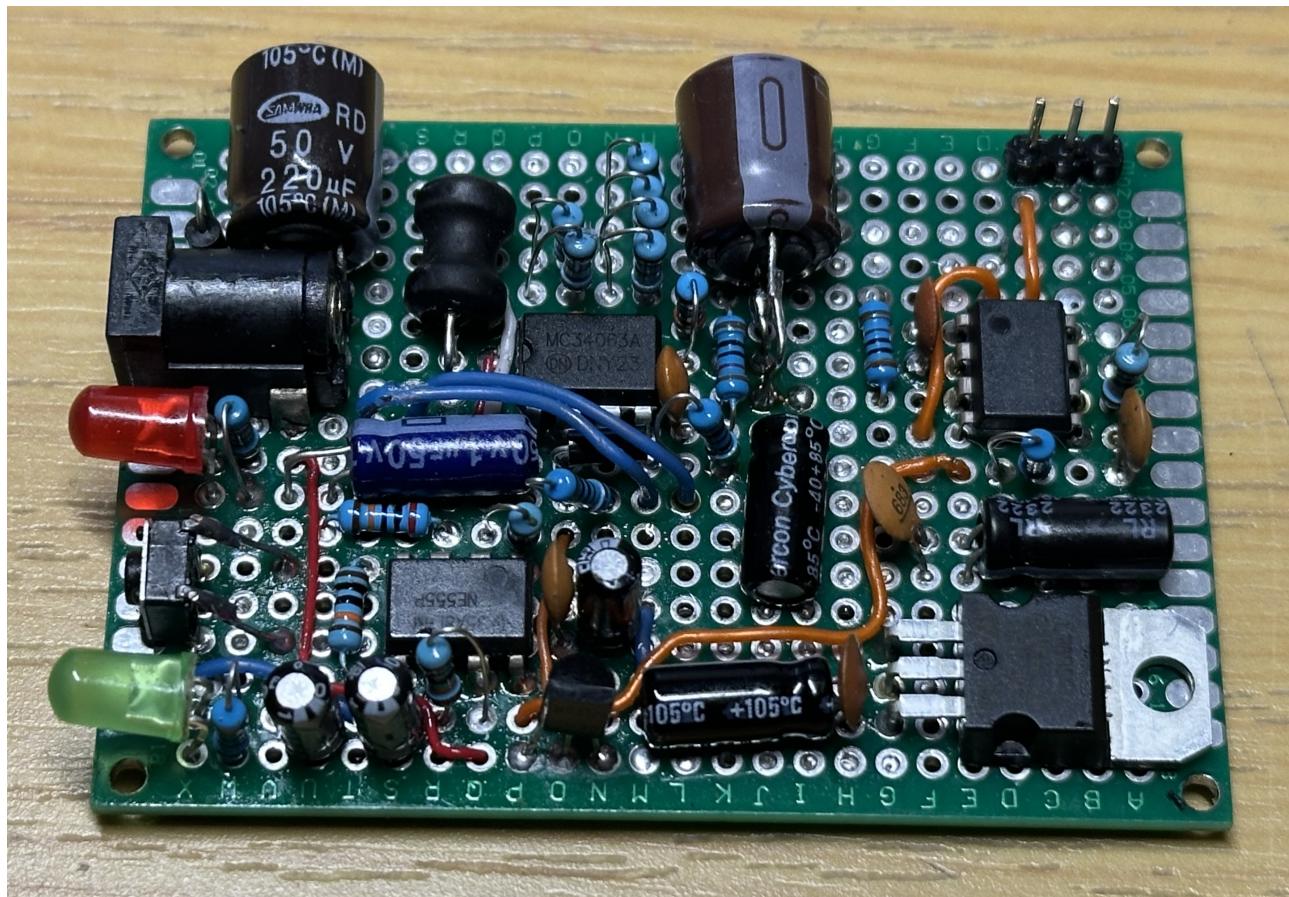


Рис. 19: Плата питания - вид сверху

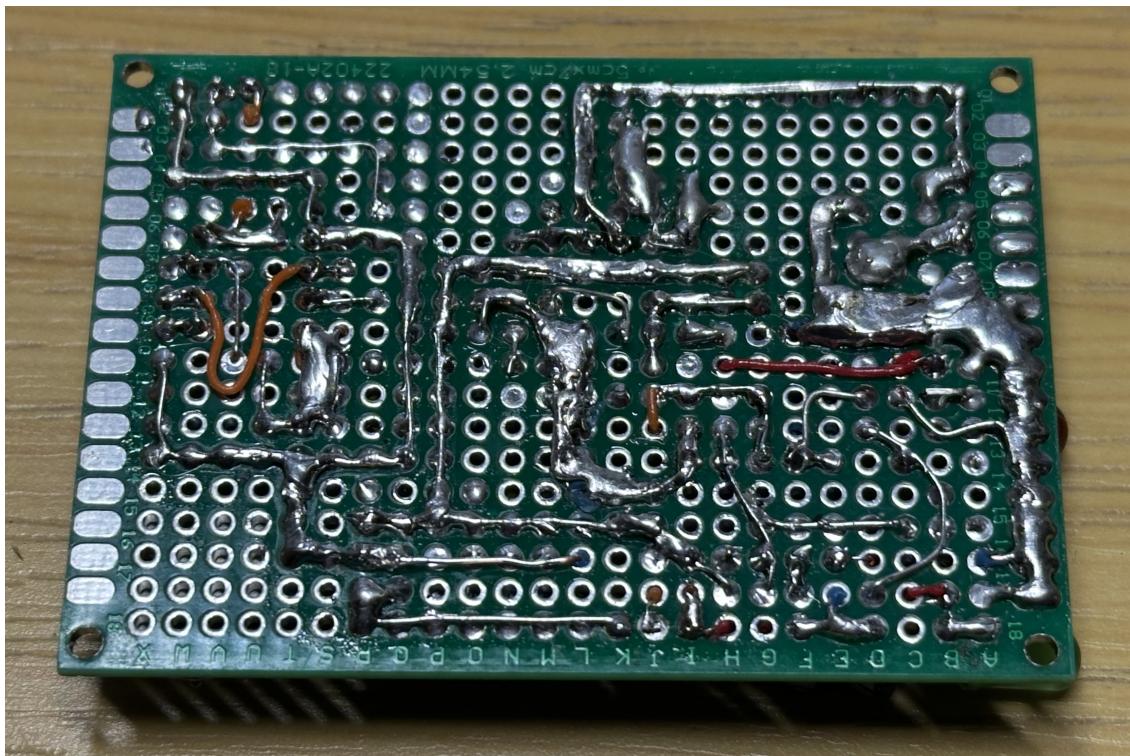


Рис. 20: Плата питания - вид снизу

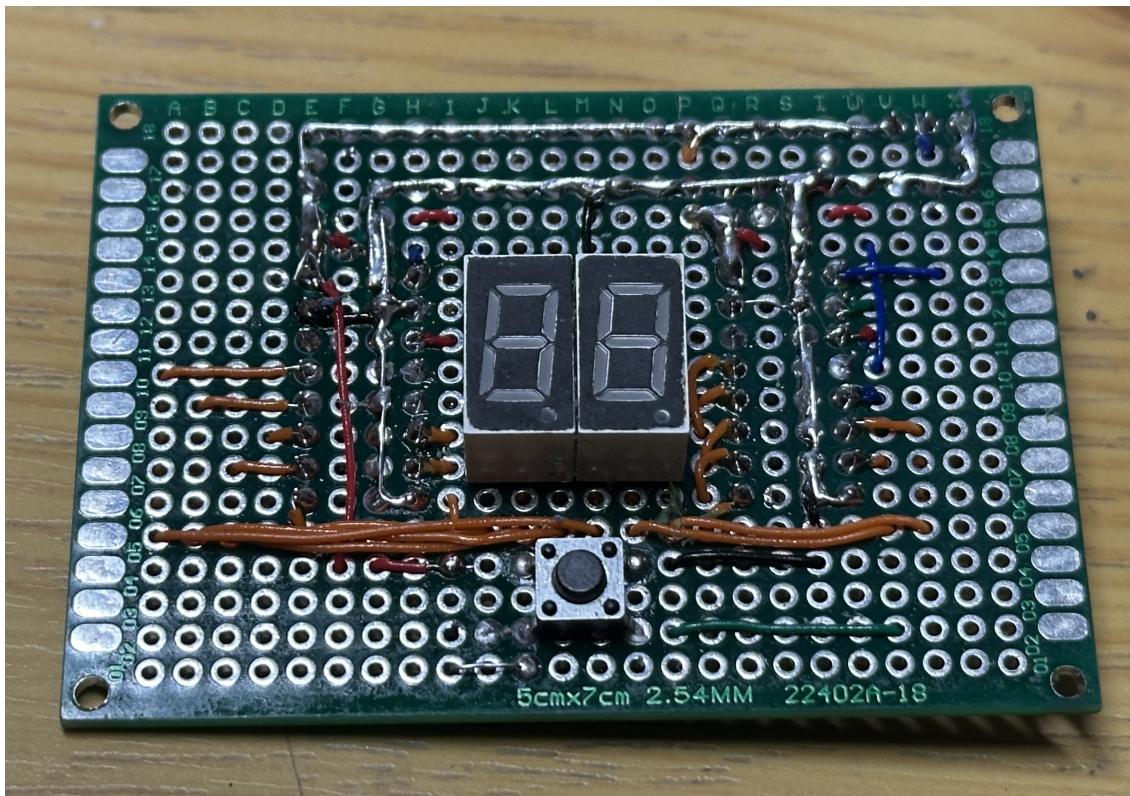


Рис. 21: Плата интерфейса - вид сверху

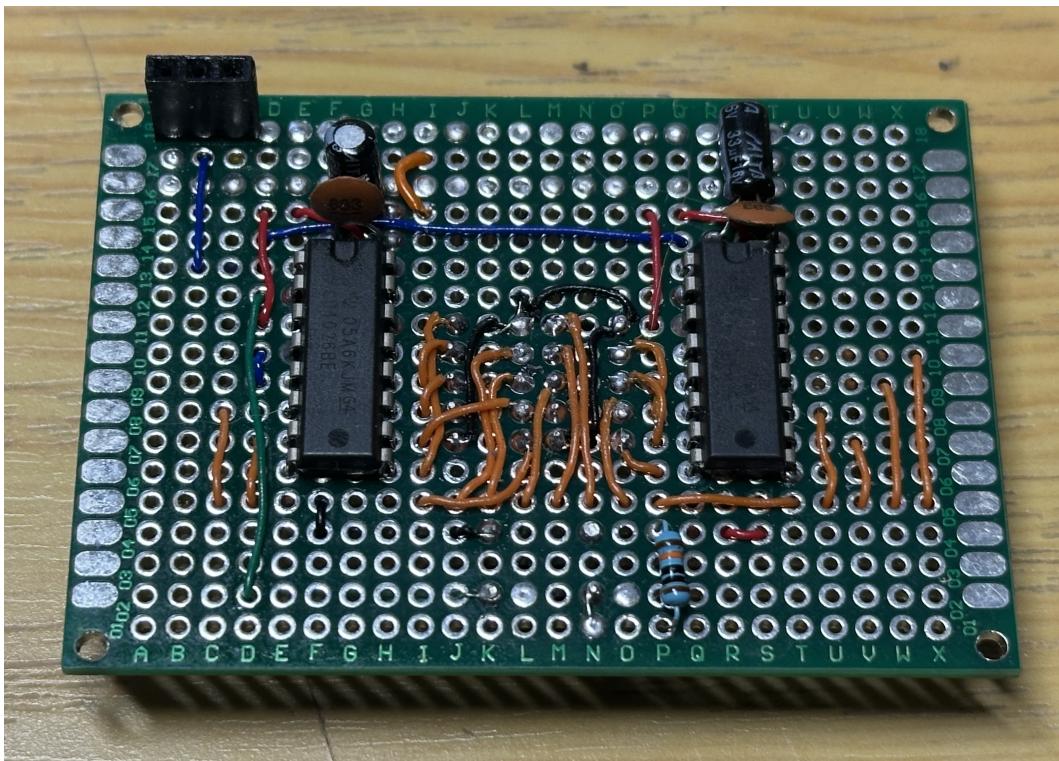


Рис. 22: Плата интерфейса - вид снизу

Оценим собираемость корпуса.

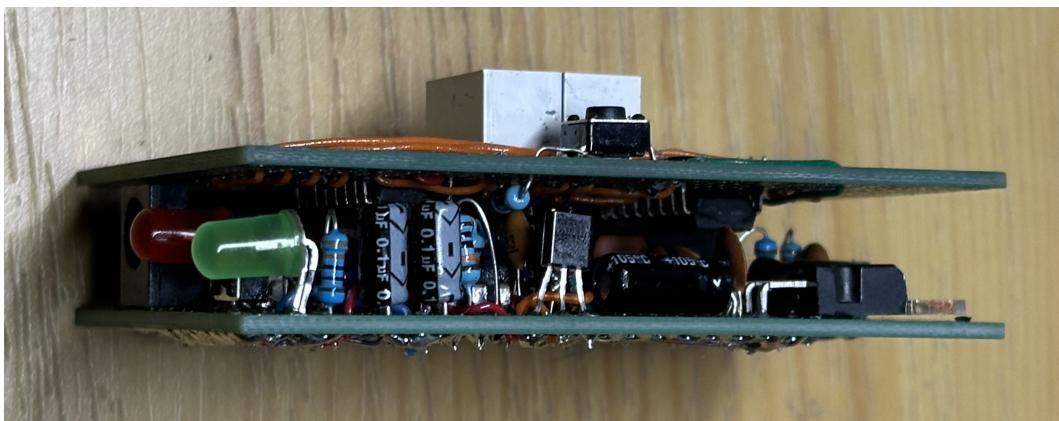


Рис. 23: Оценка собираемости

Несмотря на достаточно плотную компоновку, удалось разместить элементы и достигнуть воздушного зазора не менее 0.5мм между ними.

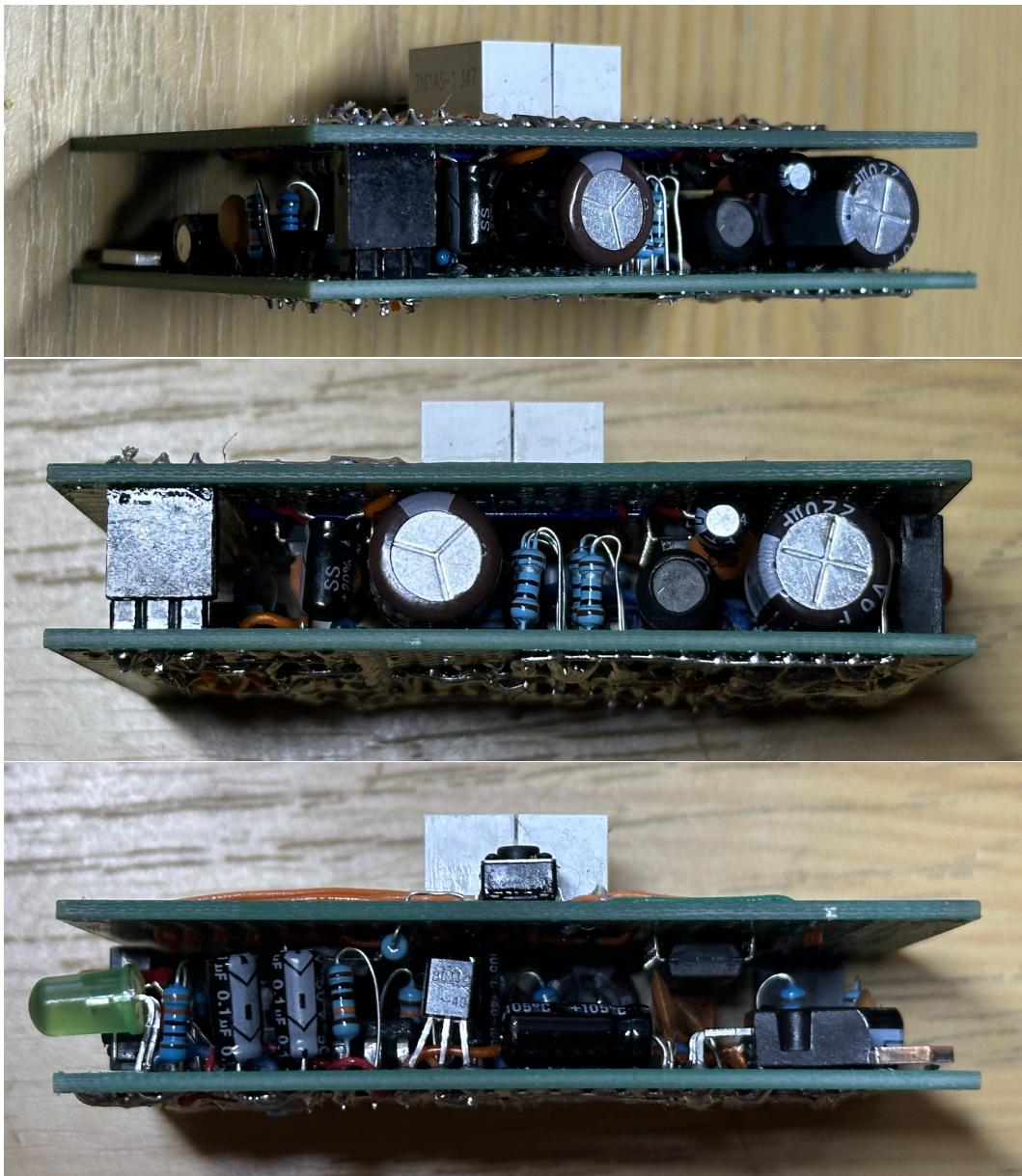


Рис. 24: Оценка собираемости

6. 3D-печать корпуса

После получения опытного образца на монтажной плате, можно доработать корпус. Изменения с проектными оказались незначительными: пришлось немного сместить разъем питания, изменить высоту отступов для фиксации платы и пересчитать расстояния для обеспечения комфорtnого нажатия кнопок. В качестве материала корпуса выбран двухцветный PLA-Silk.

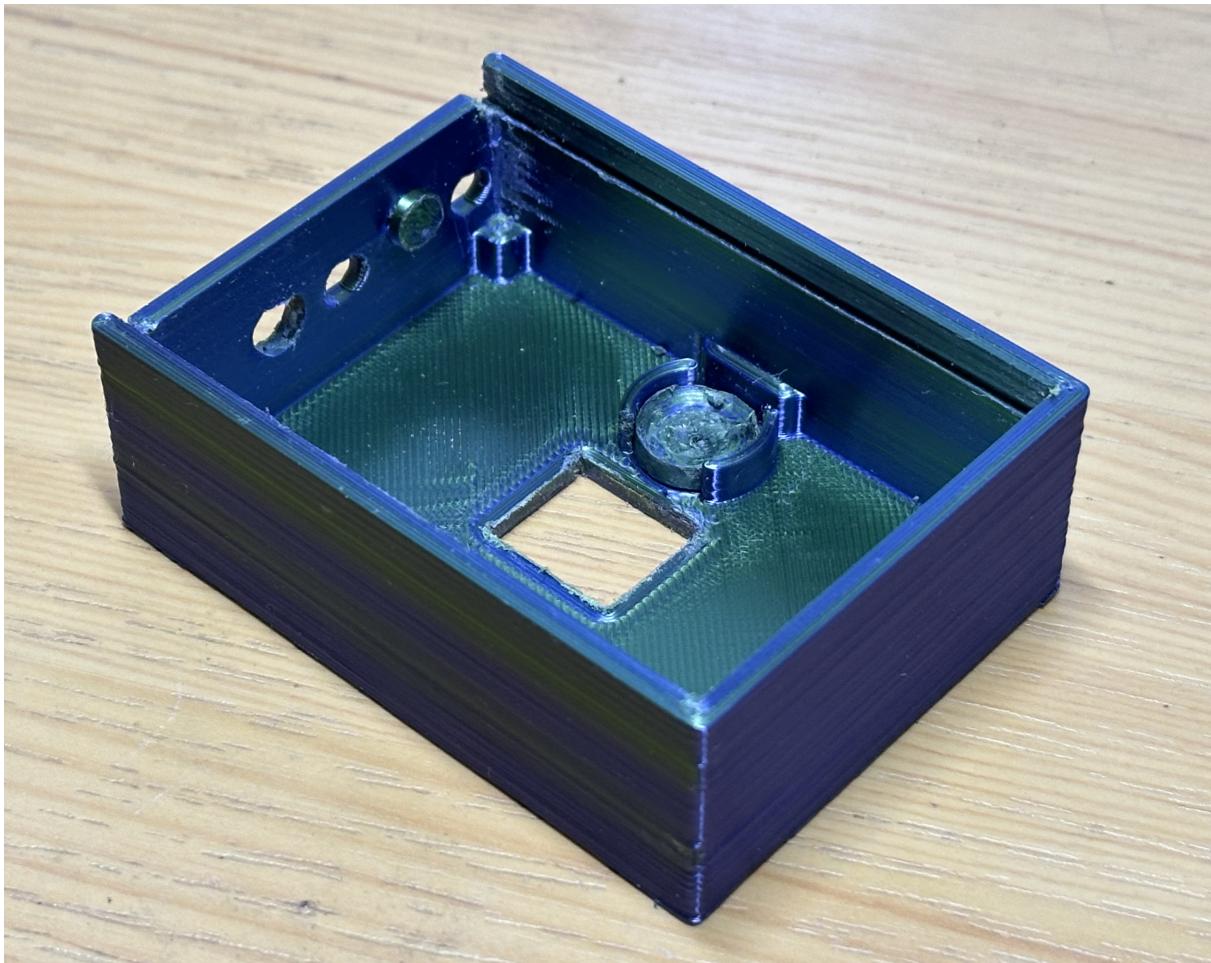


Рис. 25: Корпус и кнопки, напечатанные на 3D-принтере

По задумке, сначала в корпус устанавливается кнопка и плата интерфейса пользователя. После чего, устанавливается кнопка питания, а плата питания вставляется под углом, местоположение штыревых контактов выбрано не случайно и поэтому установка таким образом возможна. Плата питания, как и плата интерфейса, фиксируется в трех точках: с одной стороны штыревым разъемом, с другой стороны - упором на корпус разъема питания, с третьей - стенками корпуса. В верхней части корпуса паз выполнен таким образом, что в момент установки крышки платы прижимаются друг к другу, к стенкам корпуса и упорам, чем достигается их надежная фиксация без использования каких-либо дополнительных крепежных элементов.

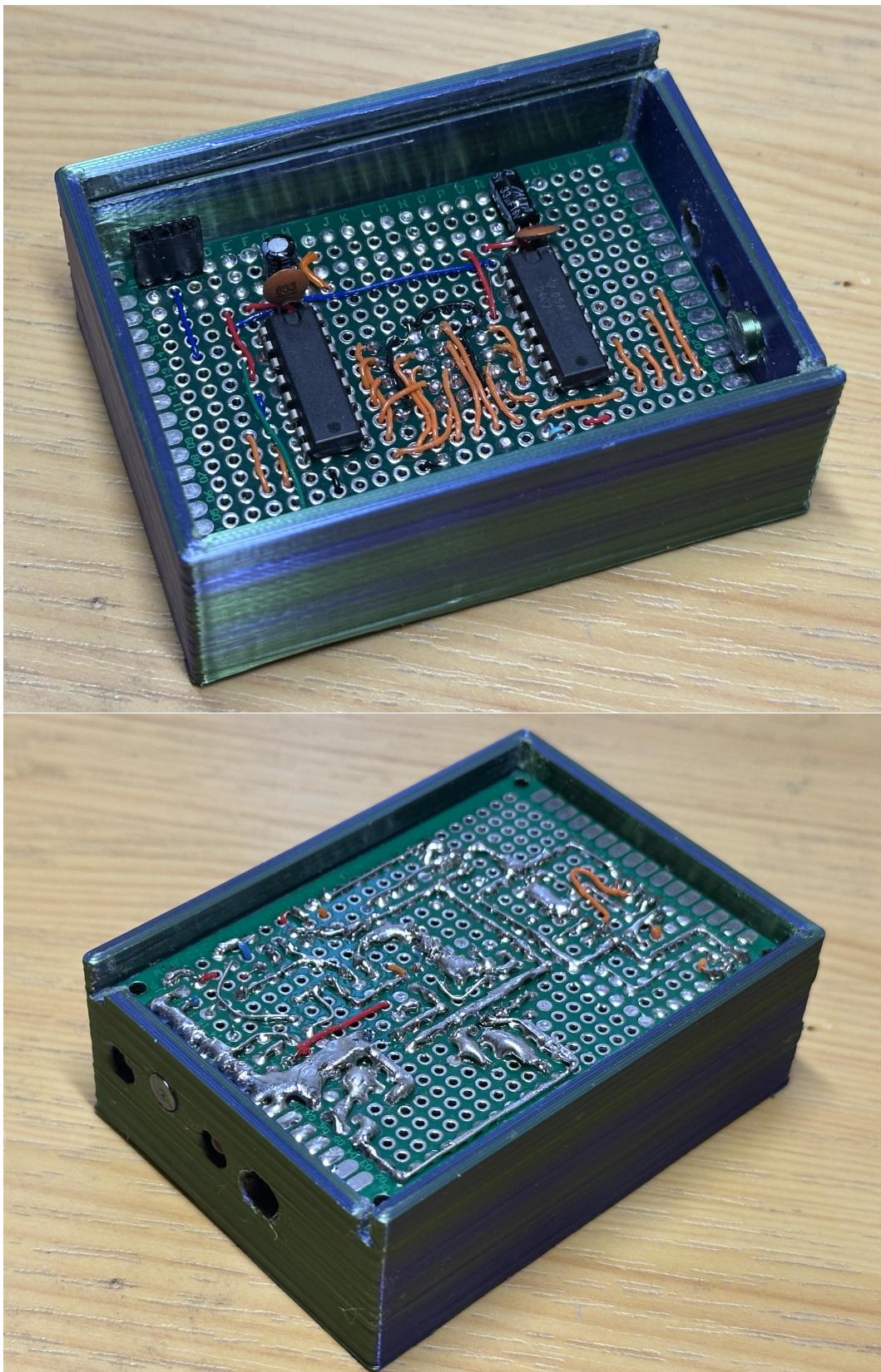


Рис. 26: Установка платы интерфейса и питания



Рис. 27: Общий вид устройства

7. Материалы к занятию

Схемы, демонстрация работы и прочие материалы к занятию расположены в папке на google диске по следующей ссылке: Курсовой проект, материалы