

Основы электроники

Домашнее задание №7

Евгений Зеленин

18 сентября 2024 г.

1. Реализация схемы управления реле

Условия задачи. Выполнить разработку на макетной плате (бредборд) схему управления реле 5 Вольт, от тактовой кнопки через оптопару от 3.3 Вольта. Предусмотреть визуальную индикацию состояния реле. Питания 5 и 3.3 Вольта можно взять с модуля питания бредборда. Между управляющим сигналом и реле должна быть опторазвязка (общие минус питаний в данном случае неизбежны). Рекомендуется использовать дополнительный транзистор, даже если ток обмотки реле немного меньше максимального тока через выход оптопары. Для задачи выполнить принципиальную схему в KiCAD, приложите чертежи в PDF.

Приступим к составлению схемы устройства (Рис. 1). Для запуска реле, в целях минимизации потребления электроэнергии, будем использовать пусковой конденсатор C_1 с токоограничительным резистором R_6 . Чтобы ограничить выбросы тока в момент выключения реле применим диод D_3 . Для подачи питания на реле будем использовать pnp транзистор с управлением через оптопару. В качестве нагрузки реле выберем лампу, подключенную к 12в. Лампа питается от отдельного источника питания, полностью изолированного от цепей питания 3.3в и 5в.

Для индикации рабежима работы добавим два светодиода: D_2 (зеленого цвета, показывает что на реле подано напряжение) и D_1 (красного цвета, показывает, что цепь нагрузки разомкнута).

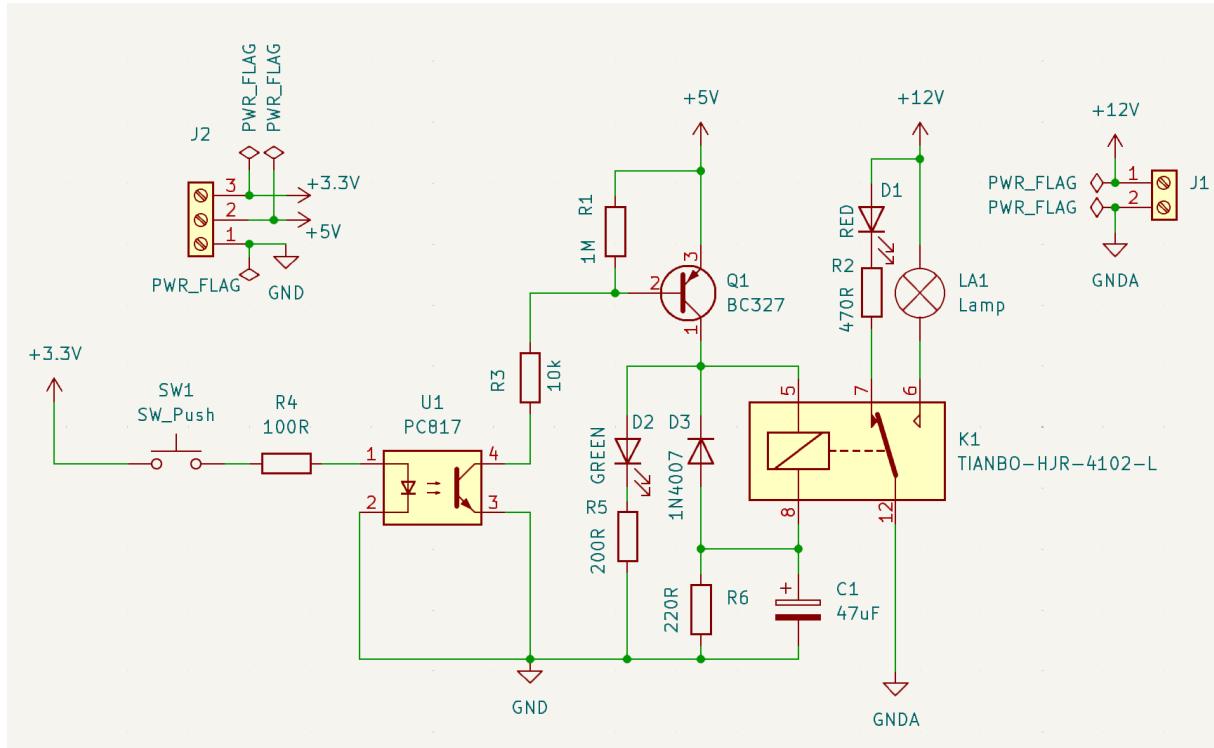


Рис. 1: Схема устройства

Чтобы собрать схему на макетной плате, сначала рассчитаем номиналы элементов. Согласно датасхиту на реле, потребляемый ток равен 40mA. Рассчитаем ток базы $I_b = \frac{I_{CE}}{h_{FE}} = \frac{40mA}{170} = 0.235mA$. Далее, через ток базы Q_1 вычислим номинал сопротивления R_3 . $R_3 = \frac{U_{5v} - U_{BE}}{I_b} =$

$\frac{4.3}{0.235mA} = 18.275$ кОм. Ближайший минимальный номинал в наборе 10 кОм, примем $R_1 = 10\text{k}\Omega$.

Далее, рассчитаем номинал токоограничительного резистора оптопары. $R_4 = \frac{U_{3.3v} - U_{led}}{I_{led}} = \frac{3.3v - 1.3v}{20mA} = 100 \text{ Ом}$.

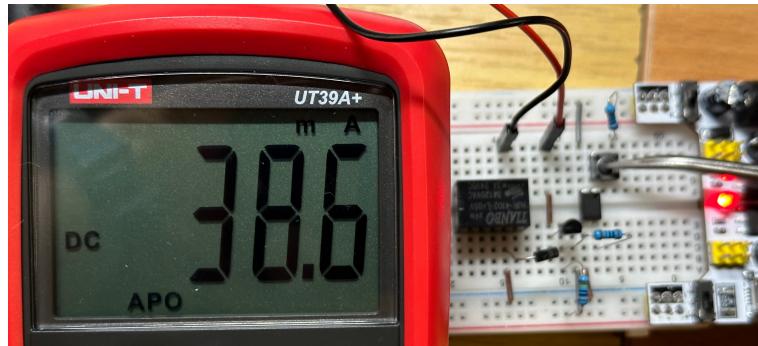


Рис. 2: Ток через реле

Проверим, какой ток течет через реле. Для этого в разрыв цепи включим мультиметр (Рис.2). Ток через меньше номинальных 40mA, это связано с тем, что на переходе коллектор-эмиттер падает напряжение около 0.2в.

Рассчитаем пусковой конденсатор и токоограничительный резистор реле.

В момент пуска требуется обеспечить ток равный номинальному и напряжение не ниже 3.75в. Для этого, в цепь питания реле K_1 включен конденсатор C_1 . Из документации на реле, время включения равно 0.5мс. Тогда, емкость конденсатора вычислим по формуле $C = \frac{\tau}{R_{K1}} = \frac{5ms}{125 \text{ Ом}} = 40\text{мкФ}$. Ближайший больший номинал из набора - 47мкФ, примем $C_1 = 47 \text{ мкФ}$.

Значение сопротивления $R_6 = 220 \text{ Ом}$ было подобрано в ходе испытаний на практике, так как в даташите на реле не указано максимальное напряжение отпускания контактов.

Чтобы посмотреть процессы, протекающие в цепи питания реле, подключим осциллограф к выводу 8 реле K_1 (Рис. 3).



Рис. 3: Момент включения и выключения реле

Как видно из рисунка 1, в момент пуска напряжение на реле равно максимальному, конденсатор C_1 начинает заряжаться. По мере заряда конденсатора, напряжение на реле снижается до значения, ограниченного падением напряжения на резисторе R_6 (горизонтальная линия между выбросами на осциллограмме) и составляет около 1.5в. После закрытия транзистора Q_1 , выброс тока от индуктивности обмотки реле гасится диодом D_3 .

Проведем эксперимент и посмотрим что будет в случае, если защитный диод исключить из схемы. Для этого настроим триггер осциллографа по спаду импульса и увеличим количество отсчетов.

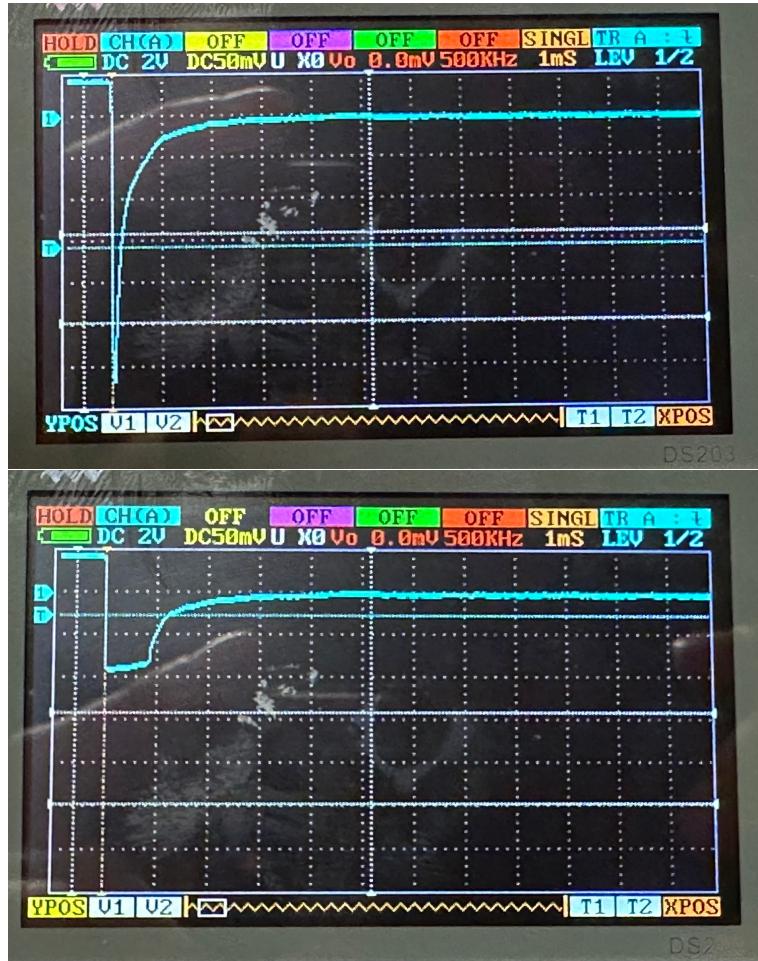


Рис. 4: Выброс в момент отключения индуктивности без диода и с диодом

Рассчет номиналов токоограничительных резисторов светодиодов был сделан в предыдущих ДЗ. Для светодиода D_2 (цепь 5в, зеленый), $R_5 = 200$ Ом, для светодиода D_1 (цепь 12в, красный), $R_2 = 470$ Ом.

Продолжим сборку схемы. Подключим к контактам реле отдельно стоящий источник питания 12в и нагрузку в виде лампы.

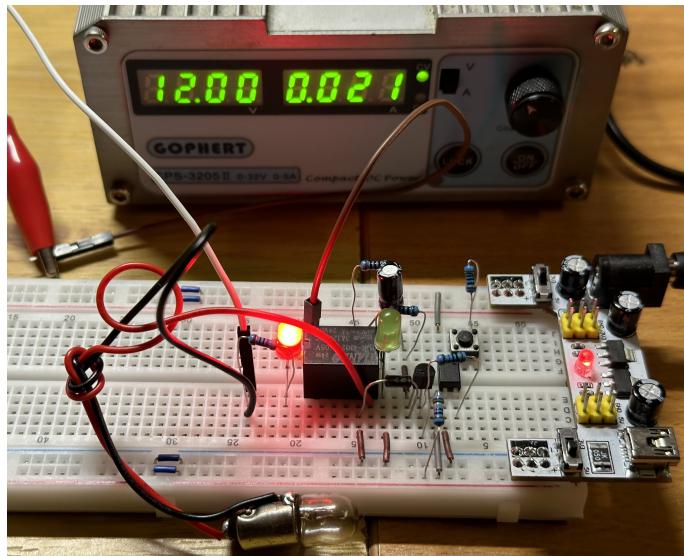


Рис. 5: Управляющий сигнал отсутствует, течет ток через диод

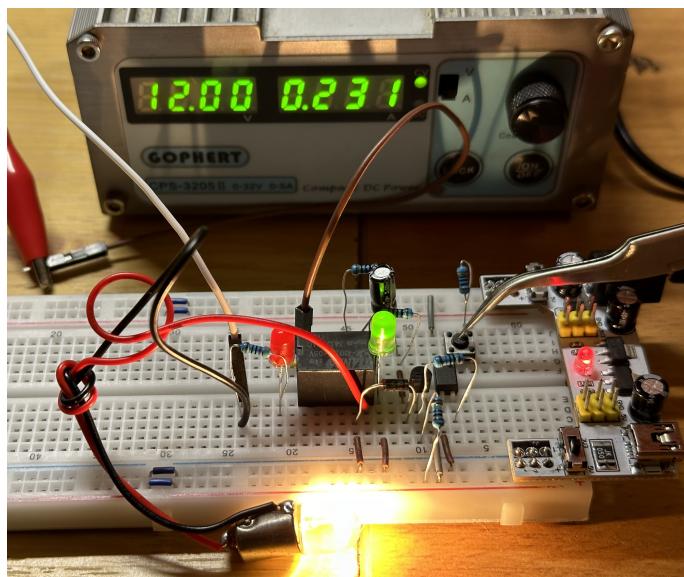


Рис. 6: Нажата кнопка, течет ток через лампу

Как видно из Рисунков 5 и 6, в режиме простоя течет ток 21mA (через красный светодиод), а когда нагрузка включена - 231mA (через лампу накаливания).

Теперь проведем следующий эксперимент. Подключим щуп осциллографа в цепь питания лампы и посмотрим, какие процессы протекают в момент замыкания контактов.

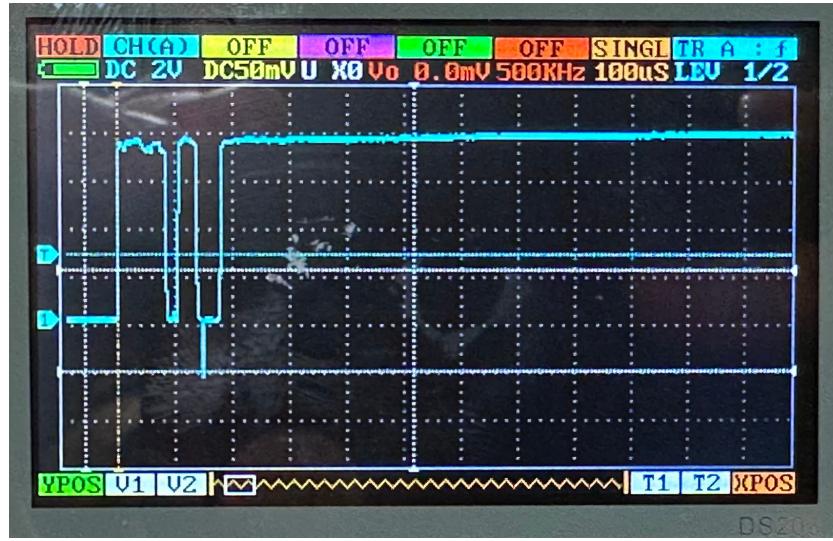


Рис. 7: Дребезг на контактах реле

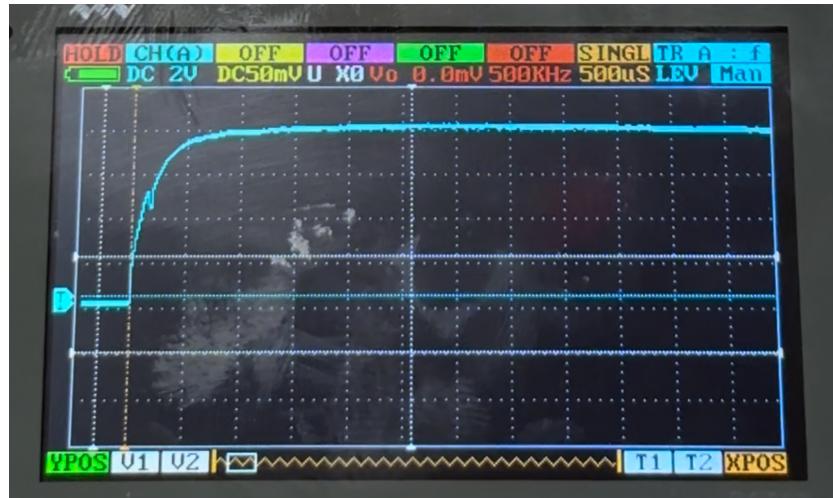


Рис. 8: Установлена сглаживающая RC-цепочка

Как видно из рисунка 7, в момент включения реле контакты дребезжат, это проявляется на осциллограмме в виде высокочастотных переключений. Чтобы проиллюстрировать каким образом можно скомпенсировать дребезг, введем в цепь сглаживающую RC-цепочку, (параллельно нагрузке), результат показан на рисунке 8. Таким способом можно компенсировать дребезг контактов при обработке управляющего сигнала, например с кнопки.

Макетная плата крупным планом показана на рисунке 9.

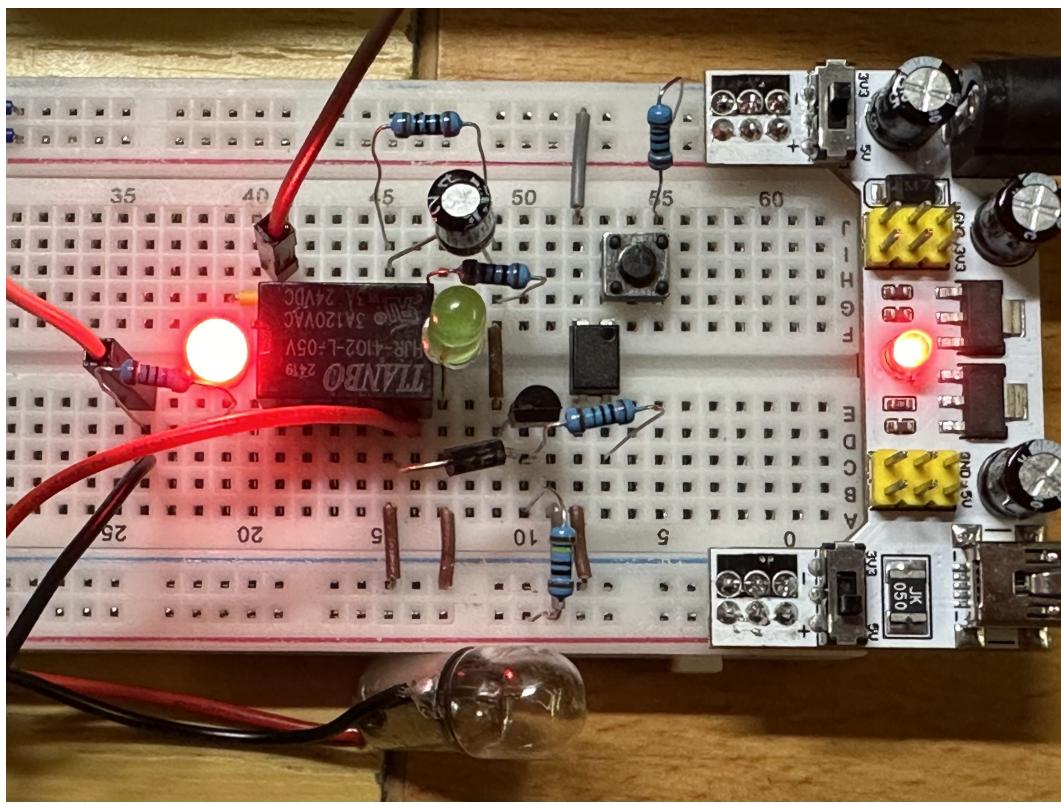


Рис. 9: Общий вид на конечный вариант устройства

2. Проект печатной платы в KiCAD

Условия задачи. *Выбрать (создать) компоненты, развести плату, приложить чертежи в PDF с трассировкой и скрин с 3D видом верх (низ). Пояснительные чертежи размёров, надписи и прочая пользовательская информация выполняются на слоях *User.Drawings* и *User.Comments*.

Трассировка платы выполнялась в САПР KiCad. Скриншот чертежа приложен на рисунке 10.

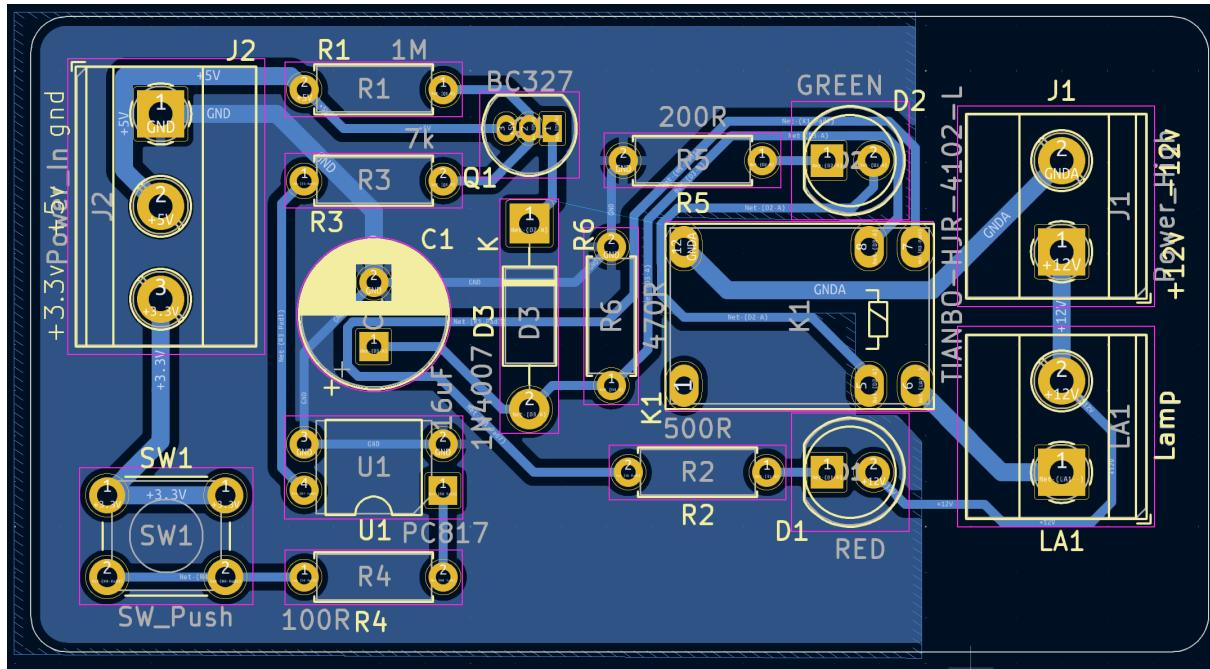


Рис. 10: Чертеж платы

Трехмерные виды показаны на рисунке 11.

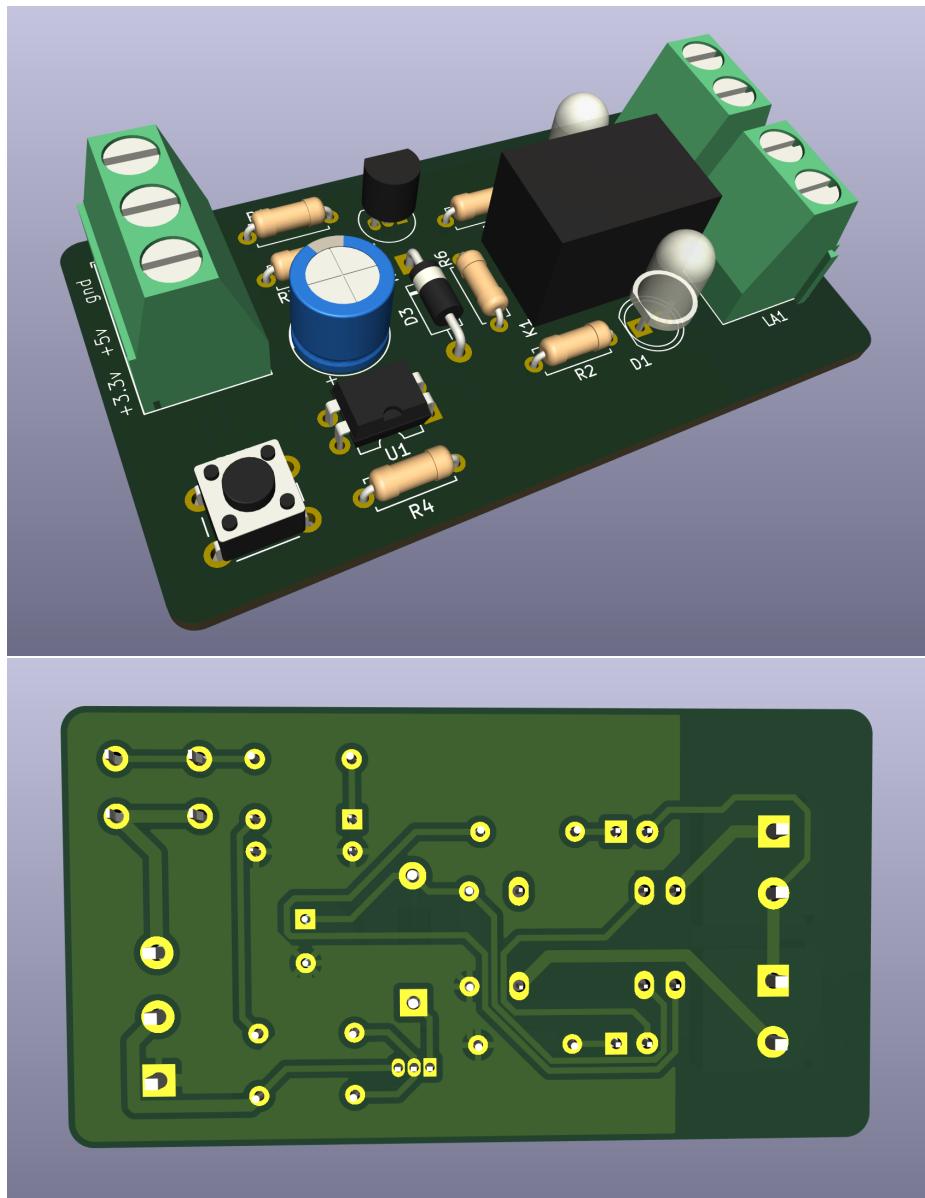


Рис. 11: 3D-вид

3. Материалы к занятию

Схемы и материалы к занятию расположены в папке на google диске по следующей ссылке:
материалы к ДЗ-07