

Основы электроники

Домашнее задание №9

Евгений Зеленин

28 сентября 2024 г.

1. Реализация схемы управления реле

Условия задачи. 1. Реализовать цепь питания 9 Вольт для выполнения пунктов 2-4.

Условия: входящее питание 12 Вольт, линейный регулятор LM317T. 2. Реализовать на основе бистабильного режима 555 таймера схему включения и отключения нагрузки ОДНОЙ и той же тактовой кнопкой (первое нажатие включает нагрузку, повторное нажатие - отключает). Напряжение питания схемы 9 вольт. 3. Реализовать на основе астабильного режима 555 таймера схему генератора периодических импульсов частотой 1-10 Гц (чтобы визуально подтвердить работоспособность) 4. Считать пункт 3 нагрузкой для пункта 2 и организовать подачу питания. Сборку выполнить на макетной плате (бредборд). Задокументировать на видео все этапы работы. Подключение питания на макетку, первое нажатие тактовой кнопки (подача питания на нагрузку пункт 3), работоспособность генератора (индикация мигающим с расчетной частотой светодиодом), повторное нажатие на тактовую кнопку для отключения нагрузки. Подключение пункта 3 напрямую к выводу 3 таймера не рекомендую. Оформляйте через ключ на транзисторе. Для задачи выполнить принципиальную схему в KiCAD, приложите описание проведенной работы и чертеж в формате PDF.

Расчет линейного регулятора

Приступим к составлению схемы устройства (Рис. 1). В соответствии с заданием, Для питания используется линейный стабилизатор LM317T, включенный по стандартной схеме из даташита. Так как в наборе отсутствует сопротивление 240 Ом (R_9), его номинал заменен на 220 Ом. Регулировка уровня выходного напряжения осуществляется с помощью потенциометра RV_1 . Чтобы обеспечить регулировку в требуемом диапазоне (9В), номинал RV_1 должен быть не менее 2 кОм ($\frac{U_{st}-1.25}{\frac{1.25}{R_9}} = 1364$ Ом, округляем в большую сторону до ближайшего значения - 2кОм).

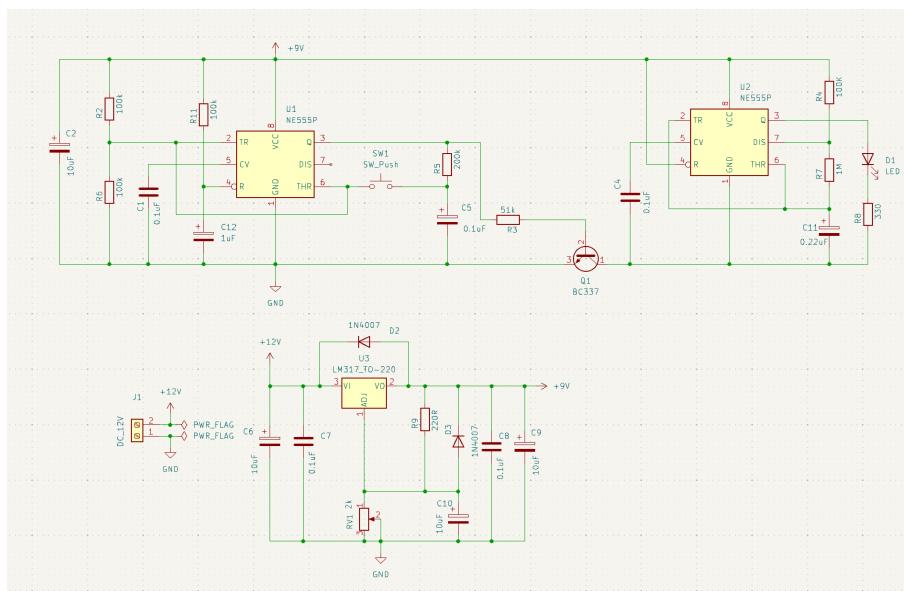


Рис. 1: Схема устройства

Питание с линейного регулятора поступает на триггер-зашелку, который управляет питанием генератора импульсов. Соберем устройство на макетной плате (Рис. 2).

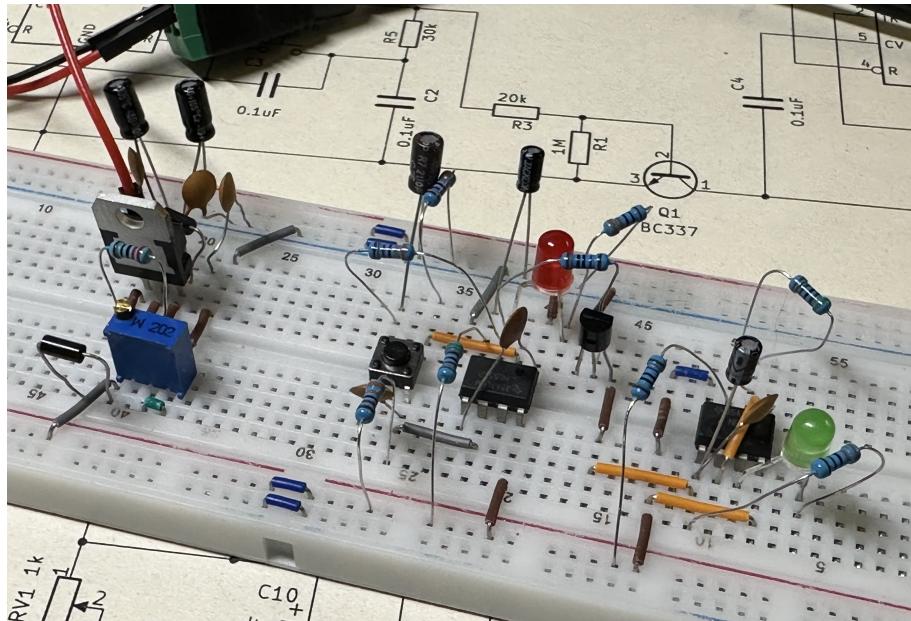


Рис. 2: Сборка на макетной плате

Расчет бистабильного режима

Более подробно остановимся на реализации бистабильного режима таймера 555. Основа работы схемы - делитель $R_2 - R_6$, резистор обратной связи R_5 , время задающая RC цепь $C_5 - R_5$. Суть в следующем. Выводы 2 и 6 (Trigger и Thresold) соединены вместе и подключены к делителю R_6, R_2 , который обеспечивает $V_{ref} = 0.5 \cdot V_{cc} = 4.5v$ на этих входах. Переключение микросхемы из одного состояния в другое осуществляется, когда управляющий сигнал достигает 1/3 или 2/3 питающего напряжения.

Таким образом, при превышении 6в на делителе, выход 3 (Q) устанавливается в 0в, а при снижении уровня ниже 3в - 9в. Когда кнопка SW_1 разомкнута, микросхема находится в одном из стабильных состояний (9в или 0в на выходе).

В случае, когда на выходе Q присутствует высокий уровень напряжения, конденсатор заряжается до этого же уровня. В момент нажатия кнопки, C_5 коммутируется с центральной точкой делителя и управляющими входами 2 и 6, что эквивалентно подтягиванию их к V_{cc} кратковременно, это вызывает переключение выхода Q в противоположное состояние (0B).

Когда на выходе Q уровень напряжения низкий (0B), конденсатор C_5 разряжен, а в момент нажатия кнопки это эквивалентно притягиванию к земле. Что приводит к переключению выхода Q и появления на нем высокого уровня (Примерно V_{cc}).

Номинал R_5 должен быть больше, чем номиналы R_2, R_6 , так как в момент нажатия кнопки R_5 подключается параллельно с R_2 (На Q высокий уровень) или R_6 (На Q низкий уровень), в следствие чего соотношение делителя изменяется и если R_5 меньше чем $R_2(R_6)$, на управляющие входы будет поступать сигнал меньше 1/3 или больше 2/3 напряжения питания на протяжении всего времени нажатия кнопки, что приведет к постоянным переключениям и нестабильному режиму работы.

Без конденсатора C_5 работа схемы также невозможна, так как падения напряжения только на R_5 недостаточно для переключения схемы из одного состояния в другое. Номинал C_5

должен быть таким, чтобы его заряда хватило на переключение триггера.

Перейдем к расчету номиналов сопротивлений $R_2..R_6$ и конденсатора C_5 . Текущий вариант схемы сохраняет устойчивую работу при широком диапазоне номиналов сопротивлений и емкостей, поэтому, введем несколько критериев:

- Ток делителя не более 0.1mA
- Номинал R_5 больше чем R_2, R_6
- Наличие номиналов в наборе
- Длительность нажатия кнопки 0.1-0.2с
- Время переключения - 600нс

При токе делителя в 0.1mA сумма значений сопротивлений должна быть не менее $\frac{U_{9v}}{0.0001A} = 90$ кОм. Выберем ближайшее большее сопротивление из набора - 100кОм.

Время задающая цепочка из $C_5 - R_5$ должна соответствовать следующим критериям: с одной стороны, обеспечивать уровень переключения на протяжении не менее чем 600нс, с другой стороны, это значение должно быть меньше чем длительность нажатия кнопки, иначе это приведет к большим паузам между нажатиями и даже может привести к работе схемы в режиме генератора импульсов.

Примем $C_5 = 0.1$ мкф, это минимальный электролитический конденсатор в наборе. Примем резистор $R_5 = 200$ кОм, чтобы его сопротивление было близко к сопротивлению делителя. Временная задержка такой цепи будет $\tau = 0.1\text{мкф} \cdot 200\text{k}\Omega = 0.02\text{s}$, что с запасом подходит для наших целей.

Далее, управляющий сигнал с выхода Q (U_1) поступает через резистор R_3 на базу транзистора Q_1 . Коллекторный ток примем за 30mA (ток диода 20mA и 10mA ток генератора). Рассчитаем токоограничительный резистор транзистора. $R_3 = \frac{U_{9v} \cdot h_{FE}}{I_c} = \frac{9B-270}{0.04mA} = 81$ кОм. Ближайший минимальный номинал из доступных = 51кОм, следовательно $R_3 = 51$ кОм.

Расчет генератора

Генератор собран по классической схеме из датапита на микросхему NE555, а для индикации работы используется светодиод D_1 , подключенный к выходу Q микросхемы U_2 .

По заданию, период сигнала должен находиться в пределах 1-10Гц. Под эти условия подходит огромное количество сочетаний резисторов и конденсаторов. Поэтому, введем ограничение по максимально допустимому току через делитель в 0.1mA. Это значение определяется резистором R_4 , $R_4 = \frac{9B}{0.1mA} = 90k$, округляем до 100кОм из набора. Чтобы мигание светодиода было легко различимым, коэффициент заполнения возьмем близким к 0.5. Рассчитаем номинал R_7 через коэффициент заполнения (в этой схеме, он не может быть меньше 0.5). $R_7 = \frac{R_4(1-D)}{2D-1} = \frac{100k(1-0.52)}{2 \cdot 0.52 - 1} = 1.2M$, ближайший номинал из набора - 1М, принимаем R_7 за 1М.

Рассчитаем номинал конденсатора: $C_7 = \frac{1}{0.693 \cdot (100k+2 \cdot 1M) \cdot 5 \text{ Гц}} = 0,13\text{мкФ}$. Ближайший номинал из набора - 0.22мкф, при этом, частота на выходе генератора составит $f_{out} = \frac{1.44}{(R_4+2R_7)C_7} = \frac{1.44}{(100k+1M)0,22\text{мкФ}} = 3.11\text{Гц}$.

Подключим осциллограф, измерим реальную частоту на выходе генератора. Как видно из фото (рис. 3), период сигнала равен 216мС, значит частота генератора $f = 4.6\text{Гц}$. Такое

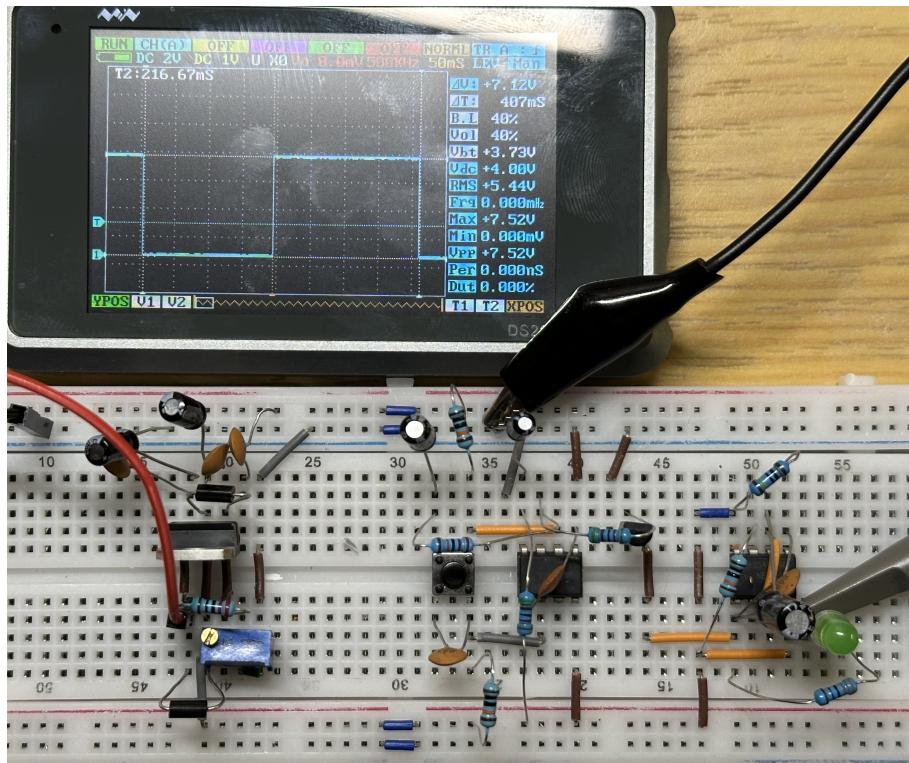


Рис. 3: Подключение осциллографа

отклонение можно объяснить неидеальностью реальных компонентов, погрешностью осциллографа.

Измерения

Проведем несколько измерений.

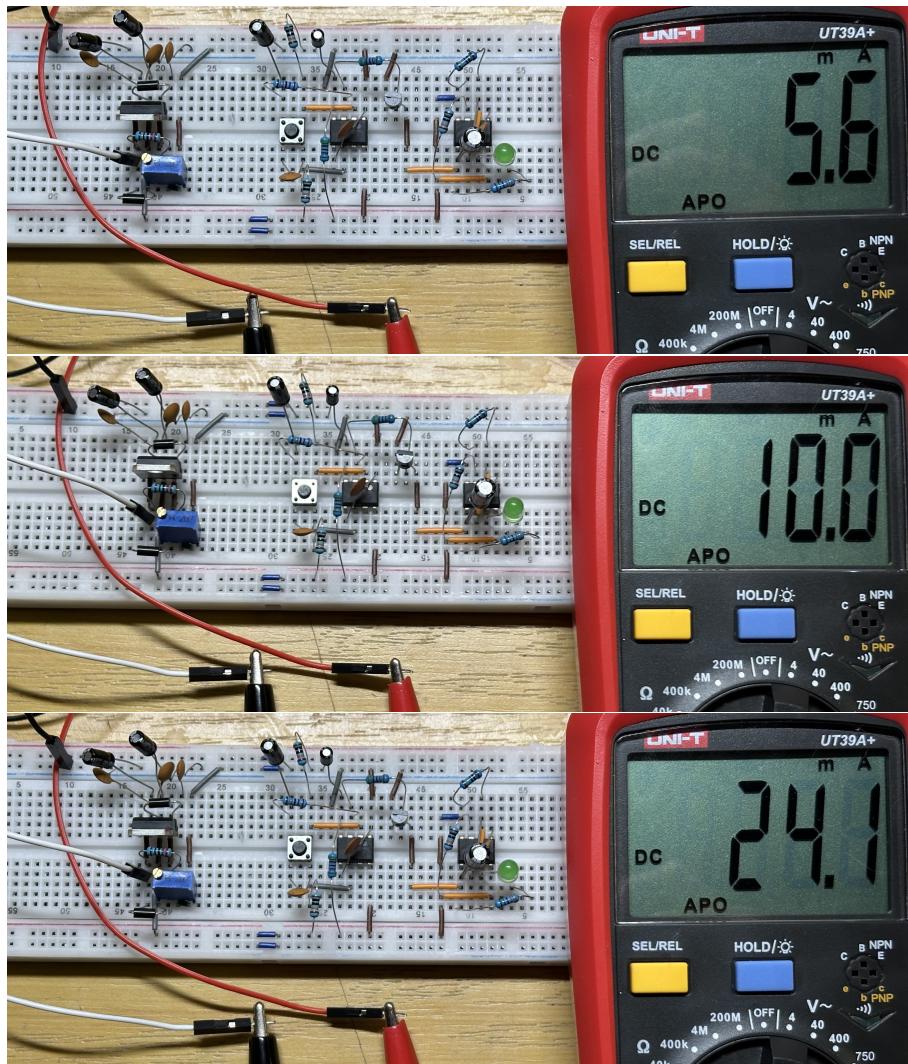


Рис. 4: Потребление тока от 12В(Только стабилизатор, схема в простое, рабочий режим)

Сначала, измерим потребление тока устройством от 12В. Как видно из рисунка 4, ток регулятора на холостом ходе - 5.6mA. После подключения схемы, ток в простое - 10mA, а в рабочем режиме - 24.1mA. Потребление тока схемой в простое - 4.4mA, в рабочем режиме - 18.5mA.

Теперь, измерим потребление от 9В (Рис.5). Как видим, потребление в простое - 4.3mA, а в режиме работы около 18.3mA. Что коррелирует с измерениями в цепи 12В.

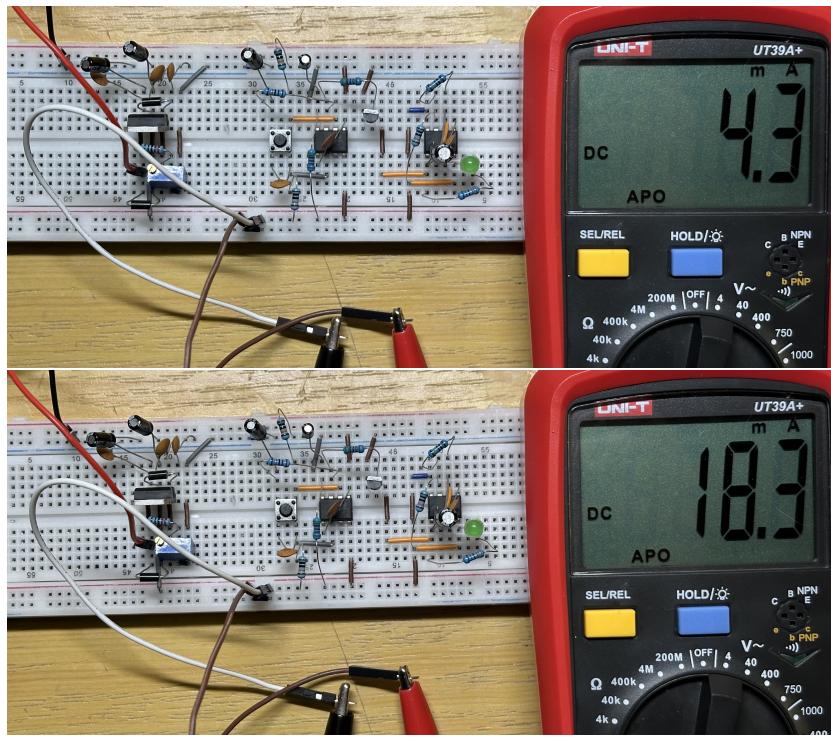


Рис. 5: Потребление тока от 9В (Схема в простое, рабочий режим)

На рисунке 6 показан ток потребления генератора в рабочем режиме (15.2mA). Следовательно, ток схемы управления около $18.3mA - 15.2mA = 3.1mA$.

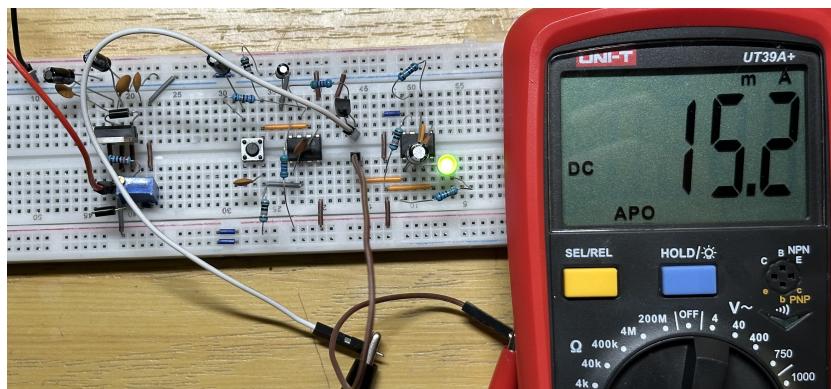


Рис. 6: Потребление тока генератором

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 7.

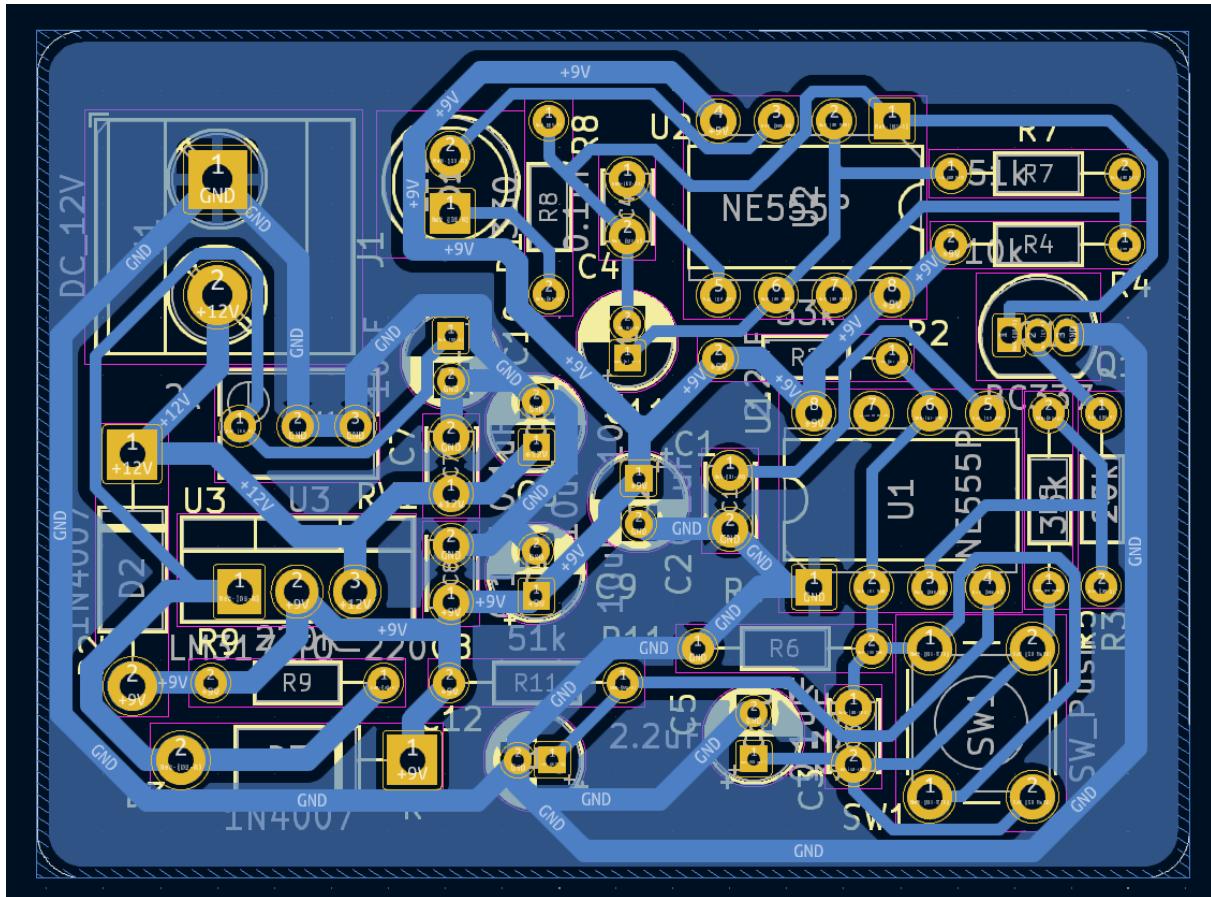


Рис. 7: Чертеж платы

Трехмерные виды показаны на рисунках 8, 9.

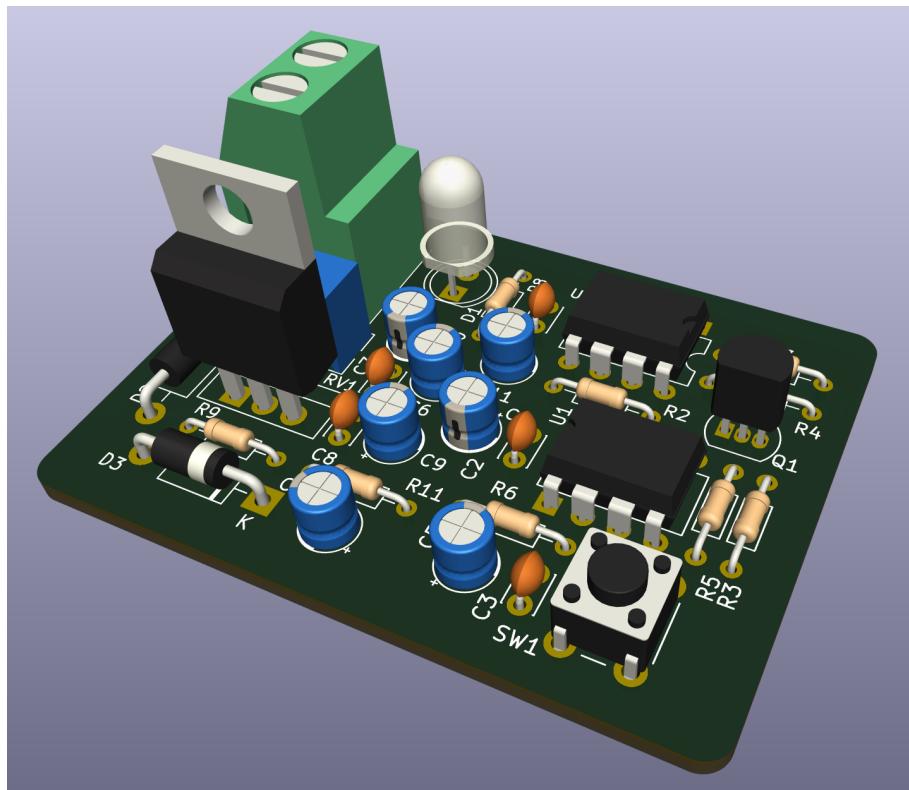


Рис. 8: 3D-вид - верх

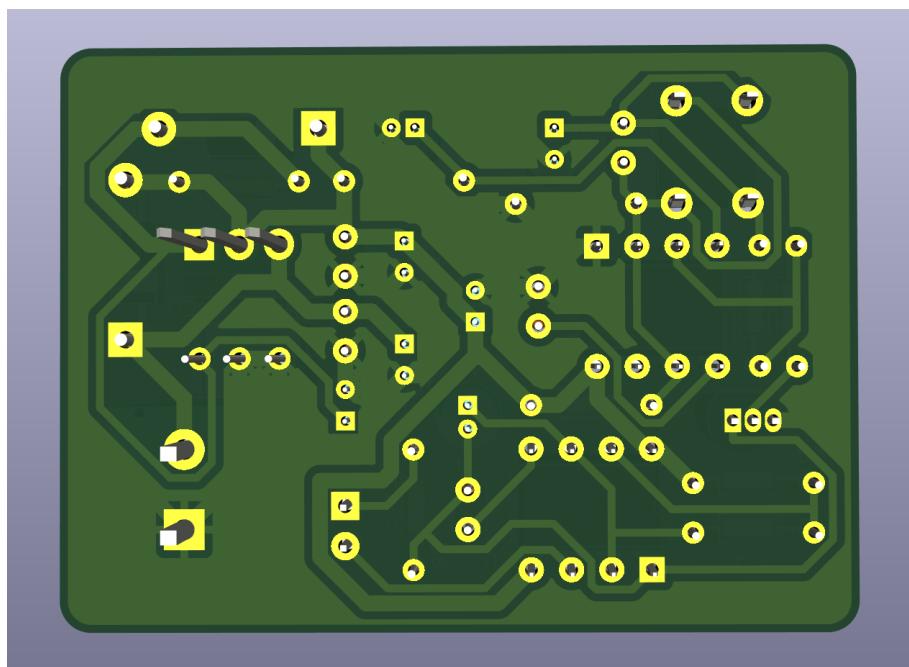


Рис. 9: 3D-вид - низ

3. Материалы к занятию

Схемы и материалы к занятию расположены в папке на google диске по следующей ссылке:
материалы к ДЗ-09