

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
"Национальный исследовательский университет
"Высшая школа экономики"**

**Факультет: Московский институт электроники и математики
Департамент компьютерной инженерии**

**Методические указания по выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Функциональные узлы и компоненты систем
контроля и управления»**

по теме:

Изучение принципа работы релаксационных генераторов.

Составители

ст. преп. Сафонов С.Н

ст. преп. Тув А.Л.

студент гр. БИВ 193 Ленву С.А.



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

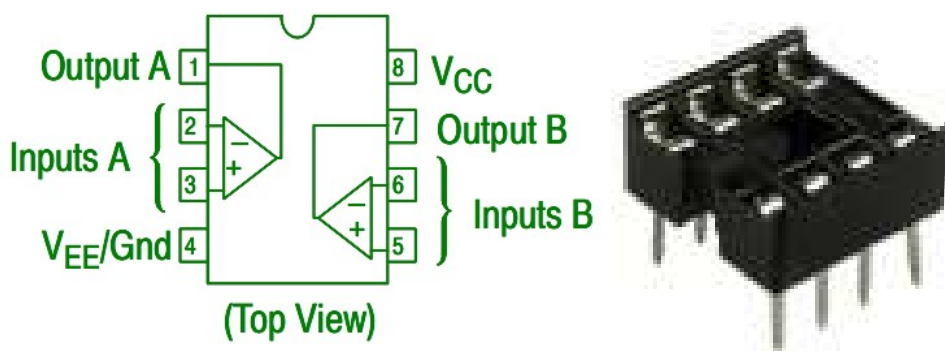
Сафонов С.Н. Тув А.Л. «Практическое исследование свойств операционных усилителей», методические указания к лабораторной работе по курсу «Функциональные узлы и компоненты систем контроля и управления»

Москва 2018

1 Цель и практическое содержание

Целью работы является закрепление теоретических знаний по разделу «Схемы получения измерительной информации с датчиков» курса, а также получение практических навыков изготовления и отладки макетов электрических схем.

Для выполнения работы необходимо получить у преподавателя экземпляр сдвоенного операционного усилителя типа LM358, LM258 или LM2904. Назначение контактов операционных усилителей приведена на рисунке.



1. Output A – выход первого ОУ.
2. Input A- – инвертирующий вход первого ОУ.
3. Input A+ – неинвертирующий вход первого ОУ.
4. V_{EE} – отрицательное напряжение питания -12В.
5. Input B+ – неинвертирующий вход второго ОУ.
6. Input B- – инвертирующий вход второго ОУ.
7. Output B – выход второго ОУ.
8. V_{CC} – положительное напряжение питания +12 В.

2 Теоретическая часть

2.1 Релаксационный генератор

Релаксационный генератор (генератор релаксационных колебаний) – генератор электромагнитных колебаний, ни пассивные цепи которого, ни активный нелинейный элемент не обладают резонансными свойствами. В отличие от генераторов, имеющих в своём составе резонаторы, в которых за каждый период колебаний имеет место лишь пополнение относительно небольших потерь колебательной энергии, в релаксационном генераторе энергия, запасаемая в реактивном элементе, в процессе каждого периода

колебаний расходуется полностью или почти полностью, а затем возобновляется за счёт источников питания и нелинейных активных элементов (электронных ламп, транзисторов, диодов). Период колебаний при этом определяется временем релаксации (установления равновесия) в цепях генератора (см. Релаксационные колебания).

К релаксационным генераторам относятся мультивибраторы разных типов, *генераторы пилообразного напряжения, блокинг-генераторы* и др. Форма колебаний, генерируемых релаксационными генераторами, может быть различной.

Схема одной из реализаций релаксационного генератора на транзисторах (симметричного мультивибратора) показана на рис. 1.

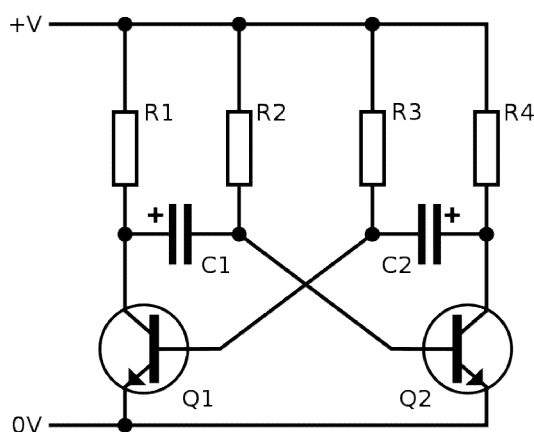


Рисунок 1– Схема симметричного мультивибратора

Схема может находиться в одном из двух нестабильных состояний и периодически переходит из одного в другое и обратно. Фаза перехода очень короткая относительно длительности нахождения в состояниях благодаря глубокой положительной обратной связи, охватывающей два каскада усиления.

Пусть в состоянии 1 Q1 закрыт, Q2 открыт и насыщен, при этом C1 быстро заряжается током открытого базового перехода Q2 через R1 и Q2 почти до напряжения питания, после чего при полностью заряженном C1 через R1 ток прекращается, напряжение на C1 равно (ток базы Q2)·R2, а на коллекторе Q1 — напряжению питания.

При этом напряжение на коллекторе Q2 невелико (равно падению напряжения на насыщенном транзисторе).

С2, заряженный ранее в предыдущем состоянии 2 (полярность по схеме), медленно разряжается через открытый Q2 и R3. При этом напряжение на базе Q1 отрицательно и этим напряжением он удерживается в закрытом состоянии. Запертое состояние Q1 сохраняется до того, пока С2 не перезарядится через R3 и напряжение на базе Q1 не достигнет порога его отпирания (около +0,6 В). При этом Q1 начинает приоткрываться, напряжение его коллектора снижается, что вызывает начало запираания Q2, напряжение коллектора Q2 начинает увеличиваться, что через конденсатор С2 ещё больше открывает Q1. В результате в схеме развивается лавинообразный регенеративный процесс, приводящий к тому, что Q1 переходит в открытое насыщенное состояние, а Q2 наоборот полностью запирается.

Далее колебательные процессы в схеме периодически повторяются.

Длительности нахождения транзисторов в закрытом состоянии определяются постоянными времени для Q2 — $T_2 = C1 \cdot R_2$, для Q1 — $T_1 = C2 \cdot R_3$.

Номиналы R1 и R4 выбираются намного меньше, чем R3 и R2, чтобы зарядка конденсаторов через R1 и R4 была быстрее, чем разрядка через R3 и R2. Чем больше будет время зарядки конденсаторов, тем положительней окажутся фронты импульсов. Но отношения R3/R1 и R2/R4 не должны быть больше, чем коэффициенты усиления соответствующих транзисторов, иначе транзисторы не будут открываться полностью

Используя операционные усилители, можно получить достаточно стабильные генераторы прямоугольных колебаний. Простая схема такого генератора приведена на рисунке (Рисунок 6, а). Операционный усилитель в схеме работает в режиме компаратора, который сравнивает напряжение на емкости и напряжение на резистивном делителе R7, R9

$$U = \frac{U_{\text{ВЫХ}} \cdot R_7}{R_7 + R_9}$$

При этом напряжение на выходе может принимать только два значения:

$$U_+ \approx +E_n \text{ и } U_-$$

Предположим, ОУ находится в режиме отрицательного насыщения, т.е. напряжение на выходе равно U_- . Конденсатор С начинает заряжаться с постоянной времени $\tau = R \cdot C$ (Рисунок 6 Рисунок 2). Как только напряжение на емкости достигает значения U_1 , ОУ переключается до состояния

положительного насыщения и начинается перезаряд емкости с той же самой постоянной времени.

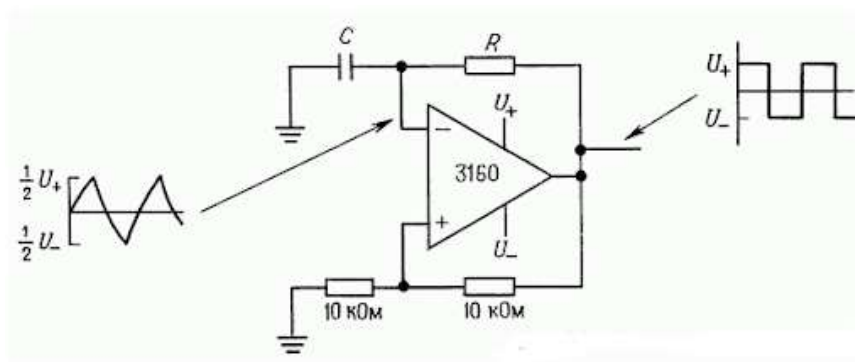


Рисунок 2– Схема релаксационного генератора на ОУ

2.2 Одновибратор

Таймер 555 удобен также для генерации одиночных импульсов, причем длительность импульсов составляет от нескольких микросекунд до минут. Как только напряжение на конденсаторе превысит верхний порог переключения, одновибратор возвратится в исходное состояние, то есть выходное напряжение переходит в состояние 0. Транзистор Т открывается, и конденсатор разряжается. Поскольку нижний компаратор больше не подключен к конденсатору, это состояние сохраняется до тех пор, пока устройство не будет включено отрицательным импульсом, поданным на его вход 2. Длительность формируемого импульса равна времени, за которое напряжение на конденсаторе поднимется от нуля до верхнего порога переключения $2/3V_+$, и составит

$$t_1 = R_1 C \ln 3 \approx 1,1 R_1 C.$$

Если в течение данного периода поступит новый запускающий импульс, он будет проигнорирован, и одновибратор останется включенным с выходным напряжением в состоянии 1. Временная диаграмма схемы показана на рис. 3.

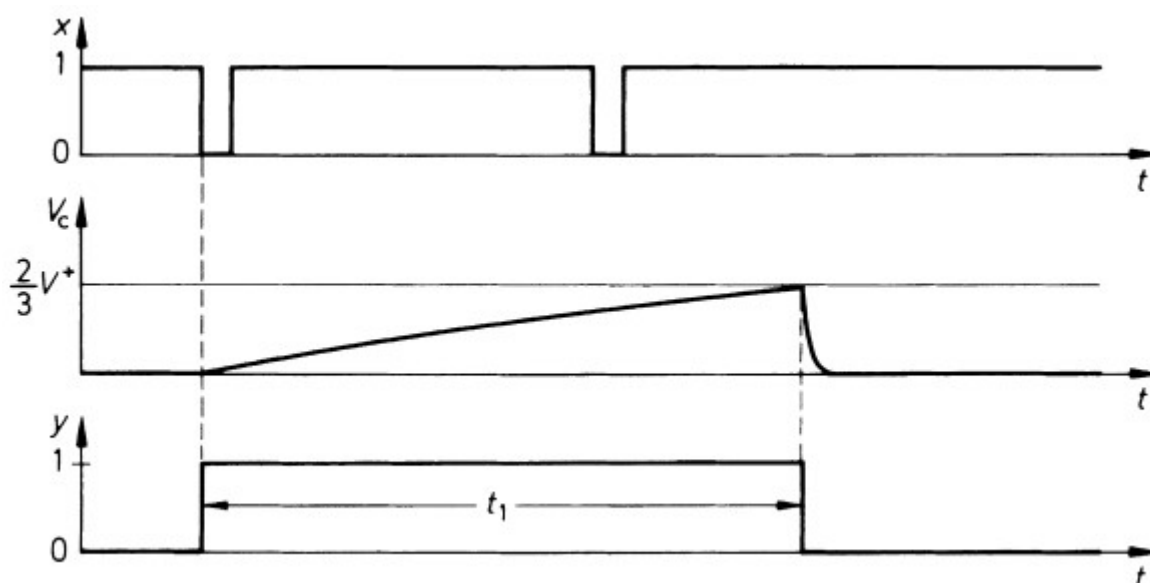


Рисунок 3– Временная диаграмма одновибратора

Разряд конденсатора С после возврата схемы одновибратора в исходное состояние происходит не мгновенно из-за ограниченности коллекторного тока транзистора. Длительность разряда называют временем восстановления. Если в указанный период появится запускающий импульс, время восстановления сократится. Следовательно, здесь оно не является строго определенным. Это время сокращается также в случае, когда пусковой импульс продолжительнее сформированного импульса.

Одновибратор с послезапуском

Бывают ситуации, когда длительность генерируемого импульса должна отсчитываться не от первого импульса в серии импульсов, как у предыдущей схемы, а от последнего. Одновибраторы, наделенные таким свойством, называют одновибраторами с послезапуском. Схема таймера 555 в таком режиме показана на рис. 3; здесь используется лишь его функция прецизионного триггера Шмитта. Когда напряжение на конденсаторе превысит верхний порог переключения, одновибратор возвратится в исходное положение, а выход перейдет в состояние 0. Но разряда конденсатора не произойдет, так как транзистор Т к нему не подключен. В результате напряжение конденсатора возрастет до V^+ , что соответствует состоянию покоя. Конденсатор разряжается после появления положительного пускового

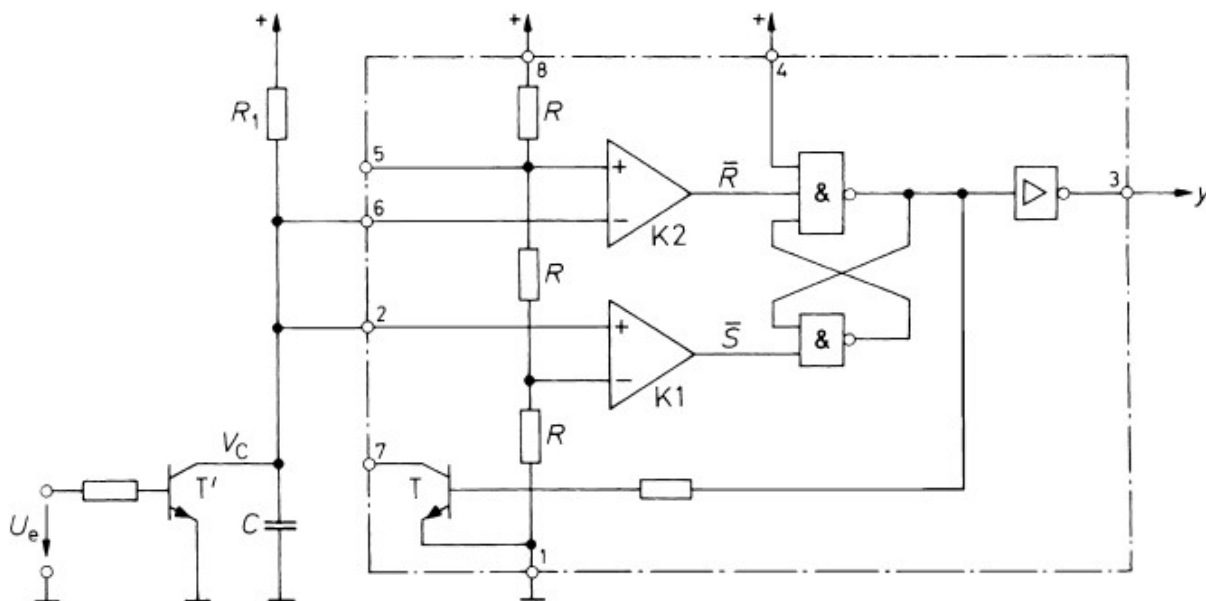


Рисунок 4— Одновибратор с послезапуском; длительность импульса $t_1 = R_1 C \ln 3 \approx 1,1 R_1 C$

импульса достаточной длительности, приложенного к базе внешнего транзистора Т'. Нижний компаратор включает триггер, и выходное напряжение переходит в состояние 1. Если новый пусковой импульс появится прежде, чем VC достигнет верхнего порога переключения, конденсатор вновь разрядится, а выходное напряжение останется в состоянии 1. Одновибратор переключится в состояние 0, только если за время $t_1 = R_1 C \ln 3$ не поступит новый пусковой импульс. Поэтому такую схему называют еще индикатором пропуска импульсов. Временная диаграмма на рис. 4 построена для последовательности из нескольких пусковых импульсов.

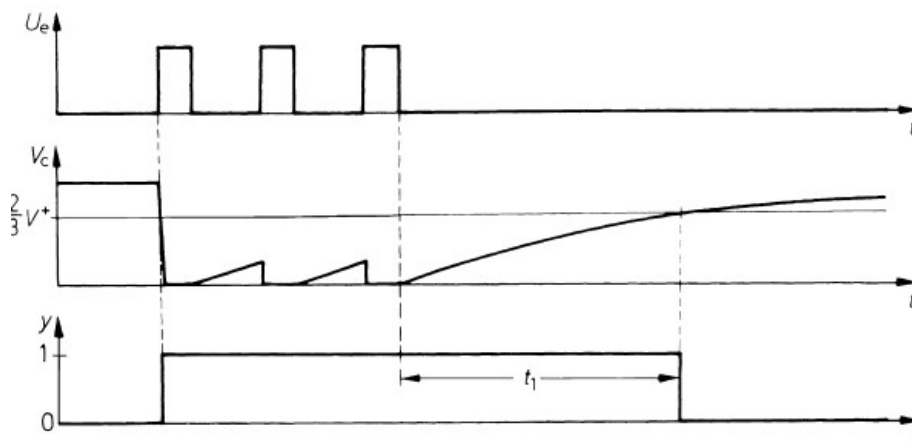
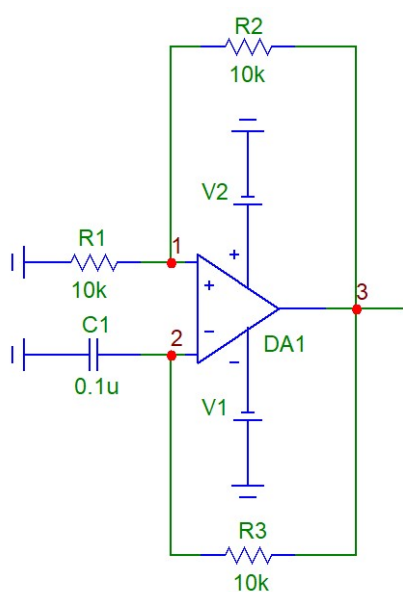


Рисунок 5– Временная диаграмма напряжения одновибратора с послезапуском

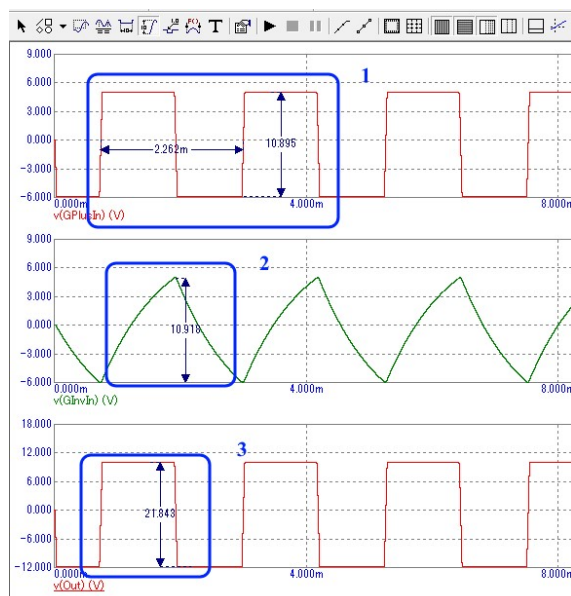
3 Практическая часть

3.1 Задание 1

Собрать макет генератора по схеме, изображенной на рис. 5. Убедиться в правильности соединений. При макетировании выбрать наиболее близкие номиналы к указанным на схеме.



а)



б)

Рисунок 6– Релаксационный генератор на ОУ

Добиться работоспособности схемы, зафиксировать форму сигналов на входах операционного усилителя и на выходе. С помощью двухлучевого осциллографа получить осциллограммы напряжений в точках 1, 2, 3. Определить размах сигналов, их форму и период. Скриншоты осциллограмм вставить в отчет.

3.2 Задание 2

1. Запустить утилиту схемотехнического моделирования «Місгосар». Промоделировать поведение схемы релаксационного генератора с номиналами элементов, взятыми из предыдущего пункта задания. Измерить размах, форму и период сигналов в точках 1, 2, 3. Результаты моделирования вставить в отчет. Сравнить практические результаты с результатами моделирования.
2. Уменьшая значение резистора R7 до 1кОм с шагом 1 кОм получить значения частоты на выходе генератора для каждого значения резистора.

Построить график зависимости периода выходного сигнала от сопротивления.

3. Уменьшая значение резистора R9 до 1 кОм с шагом 1 кОм получить значения частоты на выходе генератора для каждого значения резистора. Построить график зависимости периода выходного сигнала от сопротивления.
4. Уменьшая значение резистора R8 до 1 кОм с шагом 1 кОм получить значения частоты на выходе генератора для каждого значения резистора. Построить график зависимости периода выходного сигнала от сопротивления.
5. Уменьшая значение конденсатора C1 до 10 нФ с шагом 10 нФ получить значения частоты на выходе генератора для каждого значения конденсатора. Построить график зависимости периода выходного сигнала от емкости C1.

3.3 Задание 3

Собрать макет мультивибратора по схеме, изображенной на рис. 7. Убедиться в правильности соединений. При макетировании выбрать наиболее близкие номиналы к указанным на схеме.

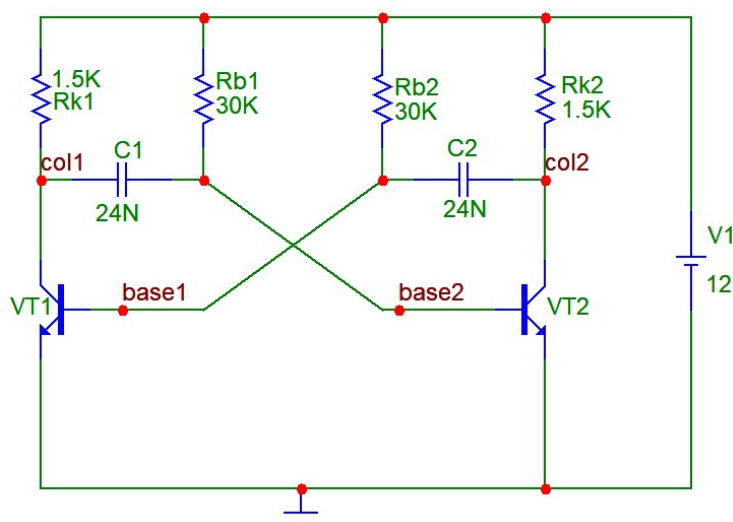


Рисунок 7– Схема мультивибратора на транзисторах

Добиться работоспособности схемы, зафиксировать форму сигналов на входах операционного усилителя и на выходе. С помощью двухлучевого осциллографа снять попарно осциллограммы напряжений в точках Base1 – Base2, Base1 – Col1, Base2 – Col2. Определить размах сигналов, их форму и период. Скриншоты осциллограмм вставить в отчет.

3.4 Задание 4

1. Запустить утилиту схемотехнического моделирования «Microcap». Промоделировать поведение схемы релаксационного генератора с номиналами элементов, взятыми из предыдущего пункта задания. Измерить размах, форму и период сигналов в точках Base1, Base2, Col1, Col2, токи, текущие через конденсаторы C1, C2. Результаты моделирования вставить в отчет. Сравнить практические результаты с результатами моделирования.
2. Увеличивая значение резисторов R3, R4 до 51 кОм с шагом 1 кОм получить значения частоты на выходе генератора для каждого значения резистора. В отчете привести зависимость периода колебаний мультивибратора от сопротивлений R3, R4

3.5 Задание 5

1. Запустить утилиту схемотехнического моделирования «Microcap». Промоделировать поведение схемы одновибратора, изображенного на рис.8. Напряжение источника V1 – 5 В, параметры источника сигнала V1 – режим работы Pulse, длительности фронтов 10 нс, длительность вершины 1 мкс, время до фронта 100 нс, период 5 мкс, начальное значение напряжения 5 В, импульсное значение напряжения 0 В. Измерить длительность импульсов, форму и период сигналов в точках in, c, out. Результаты моделирования в указанных точках вставить в отчет.
2. Подобрать такие номиналы резистора R1 и конденсатора C1, чтобы длительность импульса на выходе микросхемы 555 составляла 4 мкс.

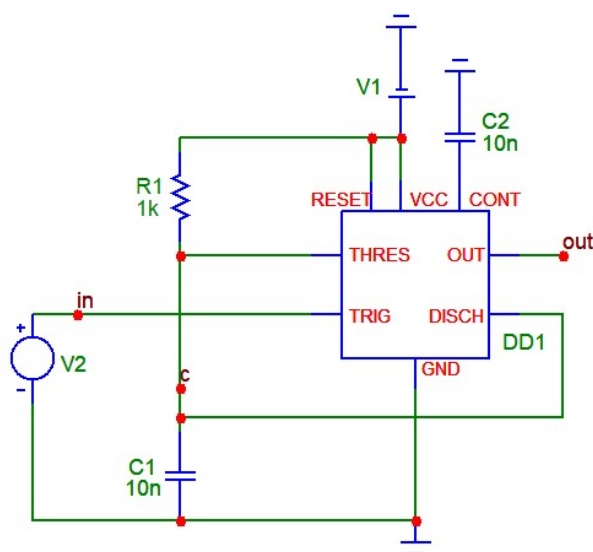


Рисунок 8– Схема одновибратора на микросхеме 555



4 Вопросы к защите

1. Дать определение релаксационного генератора
2. Объяснить принцип работы релаксационного генератора на ОУ.
3. Объяснить принцип работы релаксационного генератора на транзисторах.
4. Объяснить зависимость частоты генератора от значения резистора R7.
5. Объяснить зависимость частоты генератора от значения резистора R8.

Дополнительные задания лабораторного практикума.

1. Вывести формулу расчета частоты генератора на ОУ.
2. В Microcap модифицировать исходную схему генератора, так, чтобы на выходе получить сигнал, отличный от меандра (гармонический).

5 Требования к оформлению работы

1. Отчет должен иметь титульный лист с названием лабораторной работы и фамилиями студентов. Страницы отчета должны быть пронумерованы.
2. Содержание отчета:
 - I. Скриншот схемы генератора:
 - II. Скриншоты временных диаграмм с указанием периодов и амплитуд сигналов
 - III. Выводы – текст под скриншотами с комментариями о совпадении результатов практических исследований с результатами моделирования и влиянии следующих элементов на динамические параметры генератора: конденсатора C1; резисторов R7, R8, R9
3. Каждый рисунок должен быть пронумерован и подписан.

6 Правила оценивания

1. Оценка за лабораторную работу выставляется после сдачи первого варианта отчета и защиты бригадой студентов лабораторной работы
2. Отчет сдается в течение двух недель после даты выполнения по расписанию на устную защиту.
3. Максимальная оценка за устную защиту – 10 баллов.
4. Критерии снижения баллов за сданный отчет:
 - незначительные замечания – один или два балла;
 - серьезные замечания или большое количество незначительных замечаний – от трех до девяти баллов;
 - небрежное оформление – от одного до двух баллов;
 - название файла отчета не соответствует шаблону (БИВ1*–Лаб. 1-1 Фамилия1- Фамилия2- Фамилия3);



- отчет сдан не в срок – один балл за каждую неделю (максимум минус четыре балла).
- 5. Оценку за отчет, сданный на устной защите, исправить нельзя.
- 6. За выполнение дополнительных заданий формируется оценка дополнительного задания лабораторной работы.