

Лабораторная работа № 2

ГЕНЕРАТОРЫ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ (НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ)

Цель: изучение методики построения генераторов прямоугольных импульсов с использованием операционного усилителя и измерение их основных параметров.

Введение

Генераторы прямоугольных импульсов наиболее широкое применение получили при настройке цифровой техники (поверка осциллографа), а также в музыкальных и устройствах сигнализации.

Работа и расчет операционного усилителя (ОУ) подробно описано в работе [1] и [2] списка литературы к данной лабораторной работе.

Построение генераторов основываются на работе RC-цепочек, свойствах ОУ и базовой схеме на рис.1. Такие схемы называют мультивибраторами. Мультивибратором называется генератор периодически повторяющихся импульсов прямоугольной формы. Вибраторы бывают симметричными и несимметричными.

Схема мультивибратора на операционном усилителе, показанная на рисунке 4.7, позволяет получить на выходе прямоугольные импульсы с крутыми фронтами за счет высокого коэффициента усиления операционного усилителя (ОУ).

Симметричный мультивибратор на операционном усилителе.

В данной схеме (рис. 1) операционный усилитель (ОУ) осуществляет сравнение напряжения U_c на конденсаторе C и напряжения U с делителя, образованного из резисторов R_1 и R_2 . Напряжение $U_{\text{вых}}$ на выходе ОУ пропорционально разности напряжений между его входами $\Delta U = \varphi_A - \varphi_C$. Если в некоторый момент времени разность ΔU станет положительной, то

положительная обратная связь приведёт к лавинообразному нарастанию напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$.

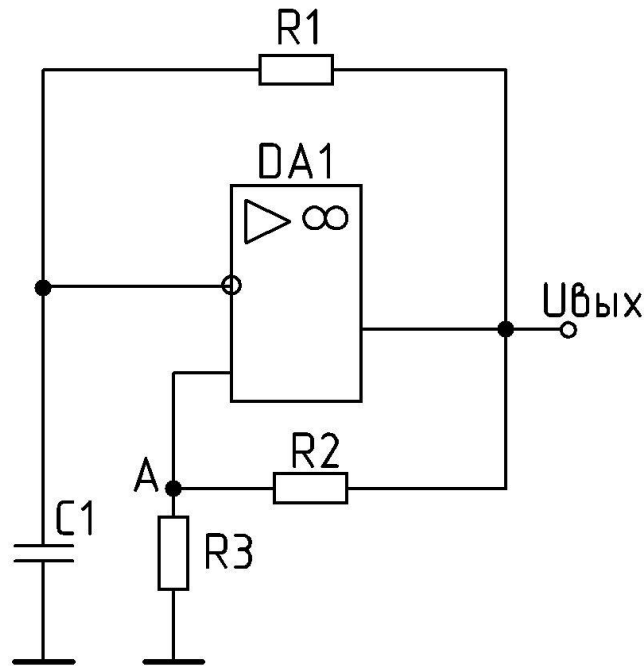


Рис. 1 Симметричный мультивибратор на операционном усилителе.

Его увеличение прекратится, когда $U_{\text{ВЫХ}}$ достигнет своего максимально возможного значения U_0 , близкого к положительному напряжению питания $+E$. При этом напряжение U_A будет равно

$$U_A = U_0 * \frac{R_1}{(R_1 + R_2)} \quad (1)$$

Такое состояние системы сохранится до тех пор, пока напряжение U_C на конденсаторе, заряжающемся через резистор R_1 , не превысит значения (1). Как только разность ΔU станет отрицательной, напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ скачком уменьшится до своего мин. значения $-U_0$, близкого к отрицательному напряжению питания $-E$. Напряжение U_A станет равным (1) и конденсатор начнёт разряжаться. Когда напряжение U_C сравняется с (1), выходное напряжение снова скачком увеличится до значения U_0 и т. д. Время зарядки и разрядки конденсатора одинаково и пропорционально RC .

Мультивибратор является автогенератором и работает без подачи входного сигнала.

Несимметричный мультивибратор на операционном усилителе.

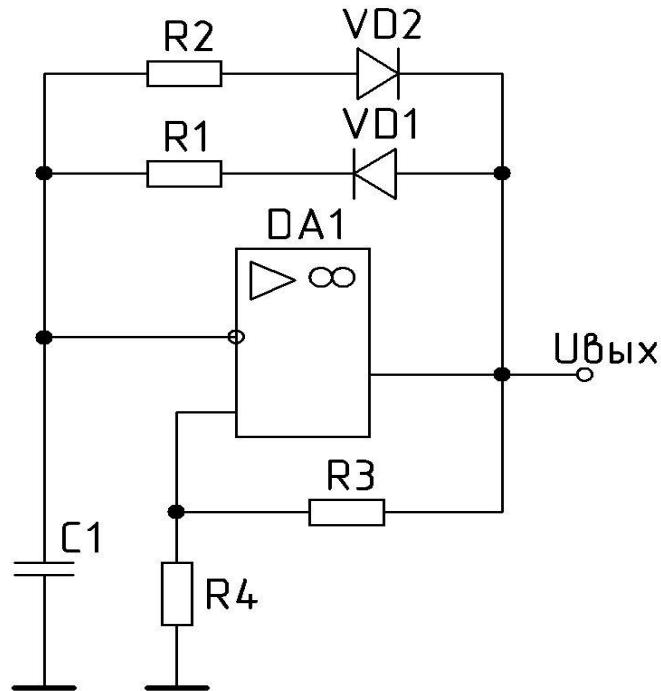


Рис.2 Несимметричный мультивибратор на операционном усилителе.

Рассмотрим принцип работы мультивибратора на рис. 2. Конденсатор C и резисторы R_1 , R_2 образуют интегрирующую RC-цепь: при заряде конденсатора открыт диод $VD1$, ток протекает через R_1 , при разряде - открыт $VD2$, ток идет через R_2 .

Временные диаграммы приведены на рис.3. Пусть при $t < t_1$ источники питания ОУ отключены: $E_{п} = 0$, $-E_{п} = 0$. Конденсатор C_1 разряжен и $u_c = 0$. В момент t_1 подключим $E_{п}$, $-E_{п}$. При их включении выходное напряжение ОУ $u_{вых}$ отклонится либо в положительном, либо в отрицательном направлении (случайный процесс). Предположим, что произошло положительное приращение $\Delta U_{вых}$. Через цепь из резисторов R_3 , R_4 это приращение подается на прямой вход ОУ, усиливается и в свою очередь вызывает приращение $\Delta U'_{вых}$. Процесс развивается лавинообразно, в результате в момент t_1 скачком устанавливается $U_{вых} = U_{вых \max}$. Начиная с момента t_1 , конденсатор C заряжается током при напряжении $U = U_{вых \max}$ через резистор R_1 , так как к аноду диода $VD1$ приложена положительное напряжение, постоянная времени $\tau = R_1 * C$. Нарастающее по экспоненте напряжение U_c подается на инвертирующий вход ОУ. На прямой вход

ОУ через цепочку положительной обратной связи (ПОС) R_3 , R_4 подается напряжение

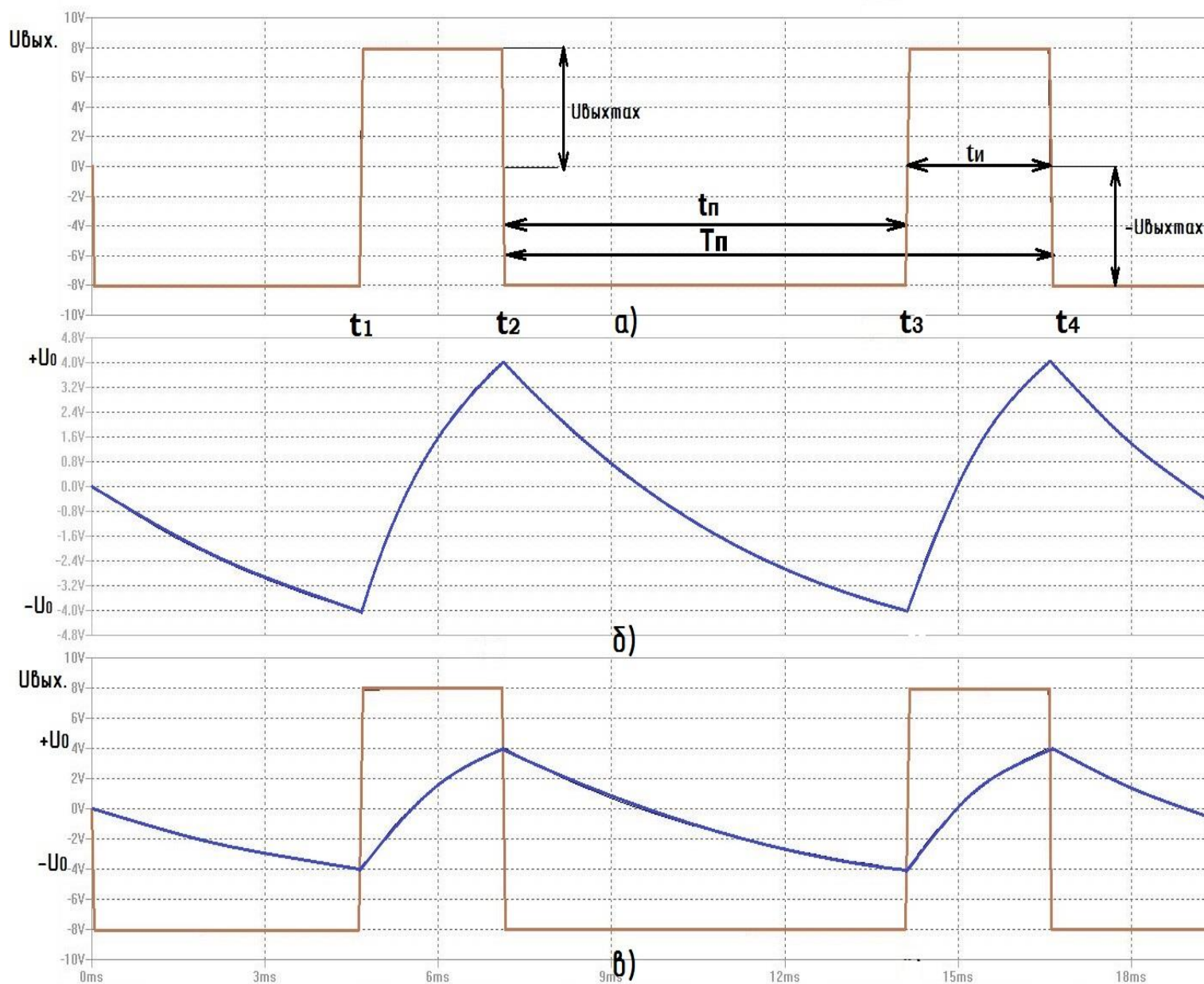


Рис. 3 Временные диаграммы напряжений а) $U_{\text{вых}}$ б) U_c в) итоговая осциллограмма

$$U_{\text{ос}} = \frac{U_{\text{выхmax}} * R_4}{R_3 + R_4} = U_0 \quad (2)$$

В момент $t=t_2$ напряжение на конденсаторе U_c достигает значения U_0 и происходит срабатывание ОУ. Его переключение протекает лавинообразно и завершается при $U_{\text{вых}} = -U_{\text{вых max}}$. Напряжение на конденсаторе не может измениться скачком и начиная с момента t_2 , происходит перезаряд конденсатора через резистор R_2 напряжением $U = -U_{\text{вых max}}$ с постоянной времени $\tau = R_2 * C$ (на диоде

VD2 прямое напряжение - минус на катоде). Заметим, что компаратор осуществляет переключение цепей заряда (VD1, R₁) и разряда (VD2, R₂) конденсатора С. При t₂<t<t₃ напряжение на прямом входе ОУ

$$u_{oc} = -\frac{U_{\text{вых max}} * R_4}{R_3 + R_4} = -U_0 \quad (3)$$

Конденсатор С не успевает разрядиться до напряжения -U_{вых max}, так как в момент t₃ напряжение на нем достигает значения -U₀ и снова происходит обратное переключение ОУ, при этом устанавливается U_{вых}= U_{вых max}. Вновь начинается этап заряда конденсатора С через резистор R₁. При напряжении на конденсаторе u_c(t₄)=U₀ происходит очередное срабатывание ОУ. Установившийся процесс начинается при t=t₂ и характеризуется изменением напряжения на конденсаторе от U₀ к - U₀ и обратно. Интервал t₃-t₄ определяет длительность импульса t_и , длительность паузы t_п= t₃-t₂.

Найдем t_и, t_п. Для нахождения t_и рассмотрим заряд конденсатора С от источника E= U_{вых max} с постоянной времени τ=R₁*С. Процесс начинается при U_c(0)=-U₀ (момент t₃ рис.3) и завершается при U_c(t_и)=U₀.

$$t_u = R_1 * C * \ln \frac{U_{\text{вых max}} + U_0}{U_{\text{вых max}} - U_0} \quad (4)$$

Учитывая зависимость U₀ от U_{вых max}, получим

$$t_u = R_1 * C * \ln(1 + \frac{2 * R_4}{R_3}) \quad (5)$$

Интервал паузы t_п найдем при рассмотрении перезаряда конденсатора С от источника E=- U_{вых max} с постоянной времени τ=R₂*С; U_c(0)=U₀; U_c(t_п)=-U₀.

$$t_v = R_2 * C * \ln \frac{U_{\text{вых max}} + U_0}{U_{\text{вых max}} - U_0} \quad (6)$$

$$t_v = R_2 * C * \ln(1 + \frac{2 * R_4}{R_3}) \quad (7)$$

Период

$$T = t_u + t_v = (R_1 + R_2) * C * \ln(1 + \frac{2 * R_4}{R_3}) \quad (8)$$

Скважность

$$Q = \frac{T}{t_u} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (9)$$

Реальную осциллограмму схемы на рис.3 представлена на рис.4.

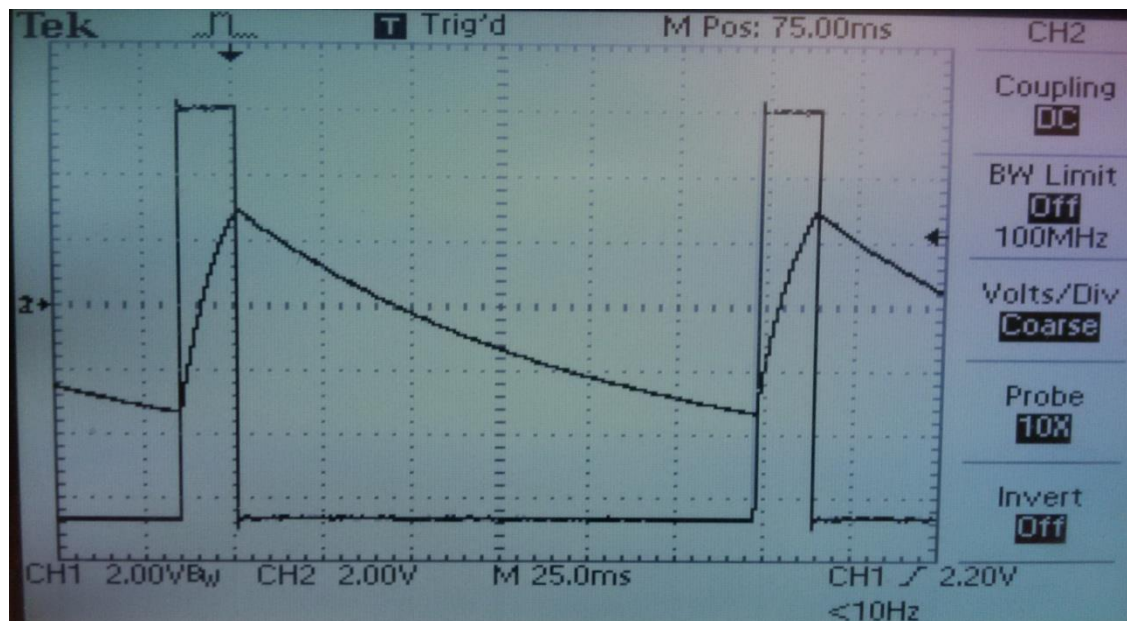


Рис. 4 Осциллограмма напряжений U_c и $U_{\text{ВЫХ}}$

Таймер на операционных усилителях.

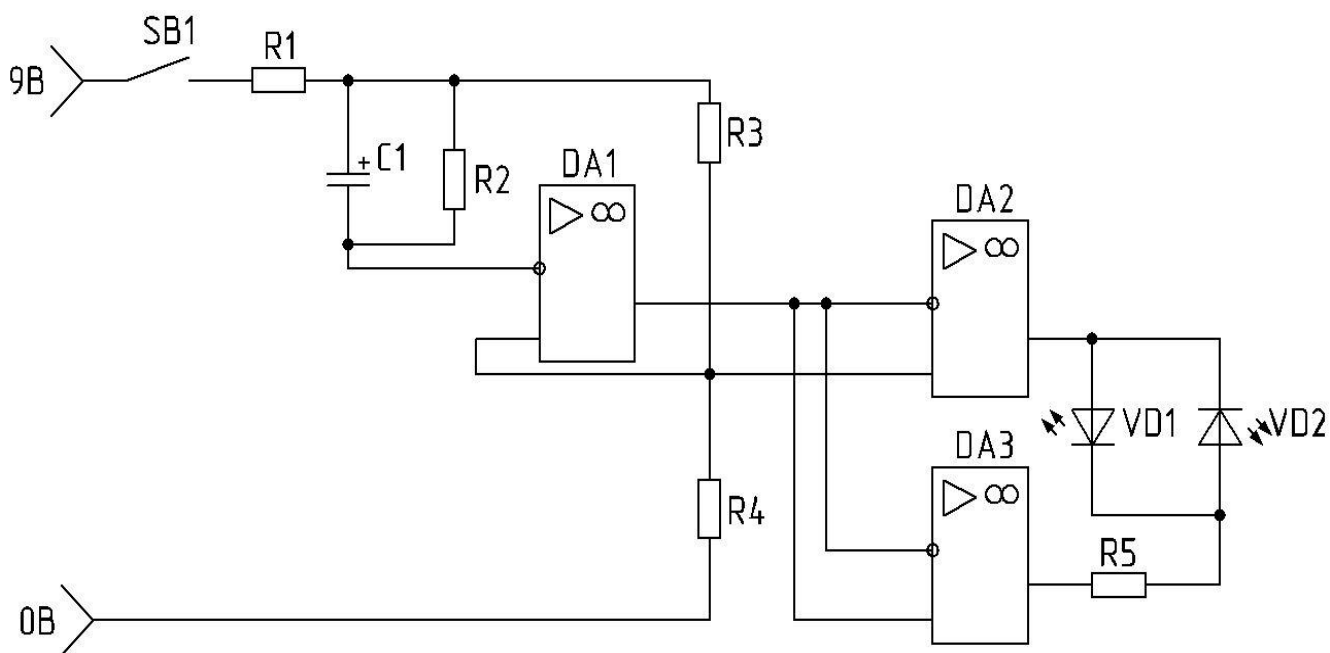


Рис.5 Схема таймера на ОУ

В данной схеме, после замыкания ключа, заряжаем конденсатор $C1$ через резистор $R1$. Время зарядки определяется через $\tau = R_1 * C_1$. Зарядив конденсатор до уровня $E = 9\text{В}$ начинается разрядка этого конденсатора. Когда напряжение на инвертирующем выводе станет ниже, чем на неинвертирующем выводе ($+4,5\text{В}$), выходное напряжение у $DA1$ мгновенно возрастет с 0 до $+9\text{В}$, что, в свою

очередь, заставит измениться выходное напряжение у DA2 и DA3. В результате один светодиод погаснет, а другой загорится.

Выполнение

В настоящей работе используется операционный усилитель фирмы STMicroelectronics LM358N в корпусе dip8. Этот ОУ использует двуполярное так и однополярное питание. Цоколевка представлена на рисунке 6.

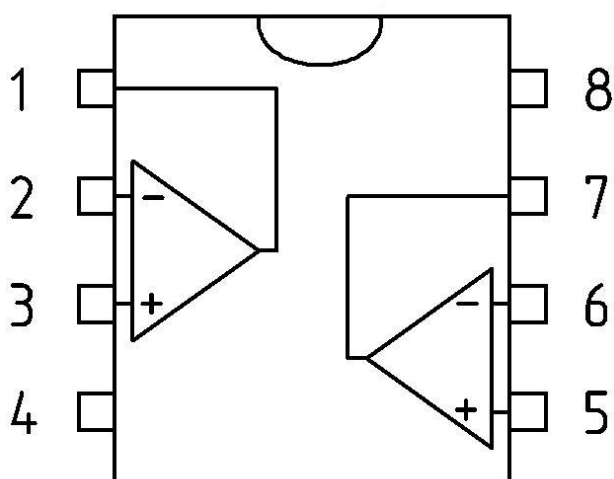


Рис.6 Цоколевка ОУ

1	Выход 1
2	Инвертирующий вход 1
3	Неинвертирующий вход 1
4	"-" Питания
5	Неинвертирующий вход 2
6	Инвертирующий вход 2
7	Выход 2
8	"+" Питания

Напряжение питания ОУ: 3..30В. Рекомендуется использовать $\pm 5\text{В}$ в заданиях (1, 3, 4, 5) где используется двуполярное питание и $+5\text{В}$ при однополярном питании (задание 2).

Задание 1

Создание генерации прямоугольных импульсов за счет RC-цепей

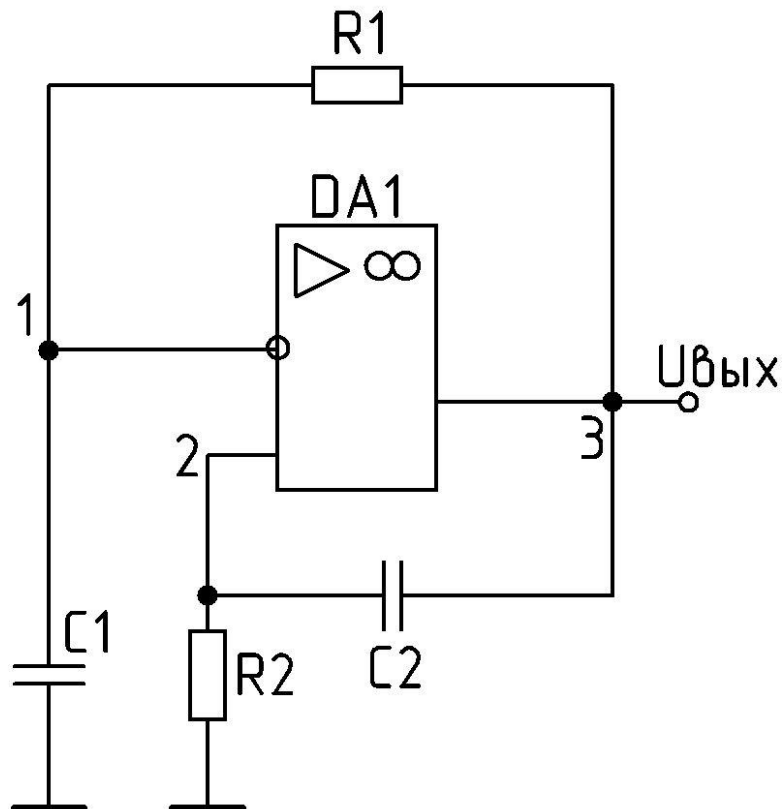


Рис.7 Схема релаксатора с двумя храниющими RC-цепями на входах ОУ

Подберите параметры емкостей и резисторов так чтобы на выходе ОУ образовались прямоугольные импульсы. Постройте эпюры напряжений в точках 1, 2, 3.

Задание 2

Измерение различных характеристик симметричного мультивибратора

Заполните недостающие ячейки таблицы 1, используя схему из рис.2. (C1=10мкФ). Постройте эпюры напряжений в точках 1, 2, 3.

Таблица 1

№п/п	R1	R2	R3	t _и =t _п
1				10мкс
2	100кОм	47кОм		
3		47кОм	47кОм	

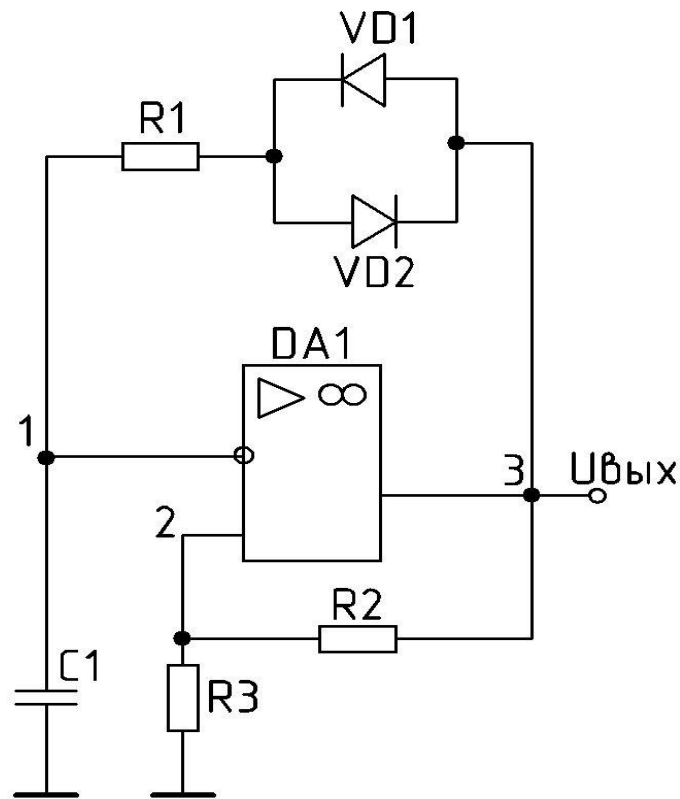


Рис.8 Симметричный мультивибратор на операционном усилителе.

Дополнительно: 1) Постройте генератор однополярных импульсов. Постройте эюры напряжений на выходе ОУ и на конденсаторе. Как уменьшить наблюдаемое напряжение смещения $U_{см}$?

2) При каких минимальных значениях C и R_i еще можно получить прямоугольные импульсы у однополярного (двуполярного) генератора? Какой элемент отвечает за переключение из одного устойчивого состояния в другое? Ответ поясните, используя schematic diagram ниже.

3) Назовите основные составные части данного ОУ. На каких базовых схемах включения транзистора они основаны?

Figure 1: Schematic diagram (1/2 LM158)

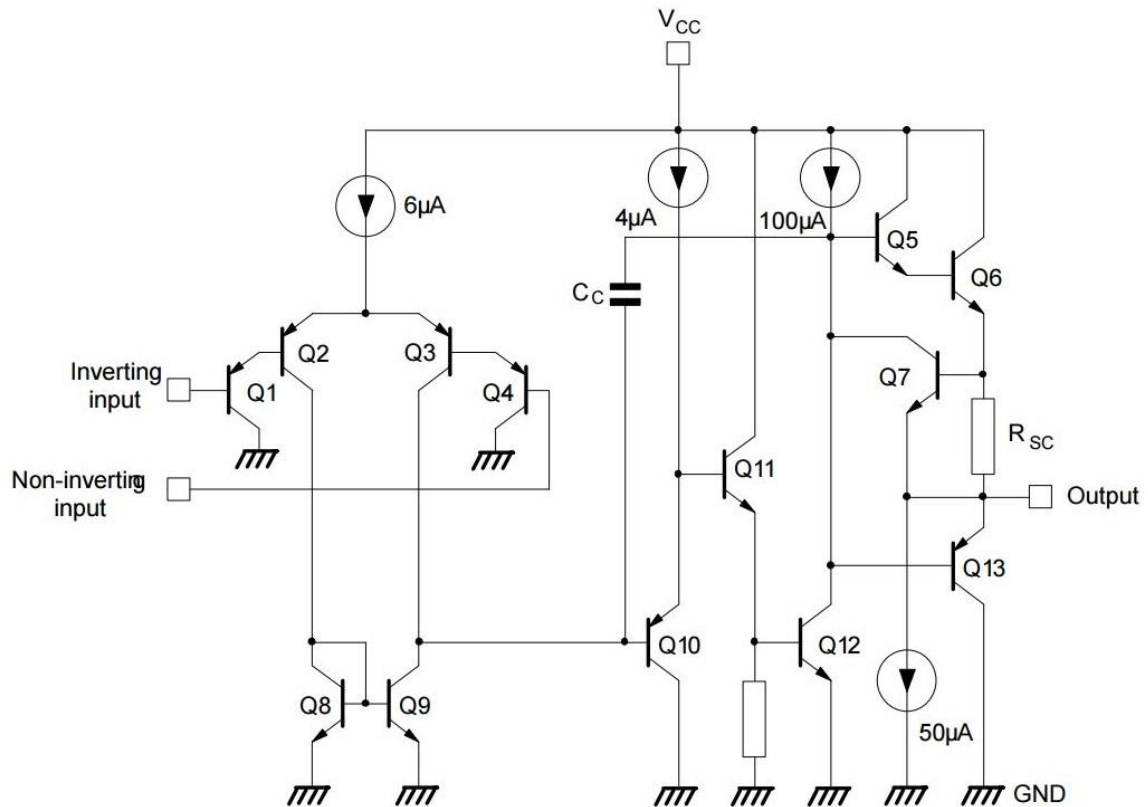


Рис. 8.1. Структурная схема ОУ LM358N.

Задание 3

Построение генератора с параметрической стабилизацией на стабилитронах

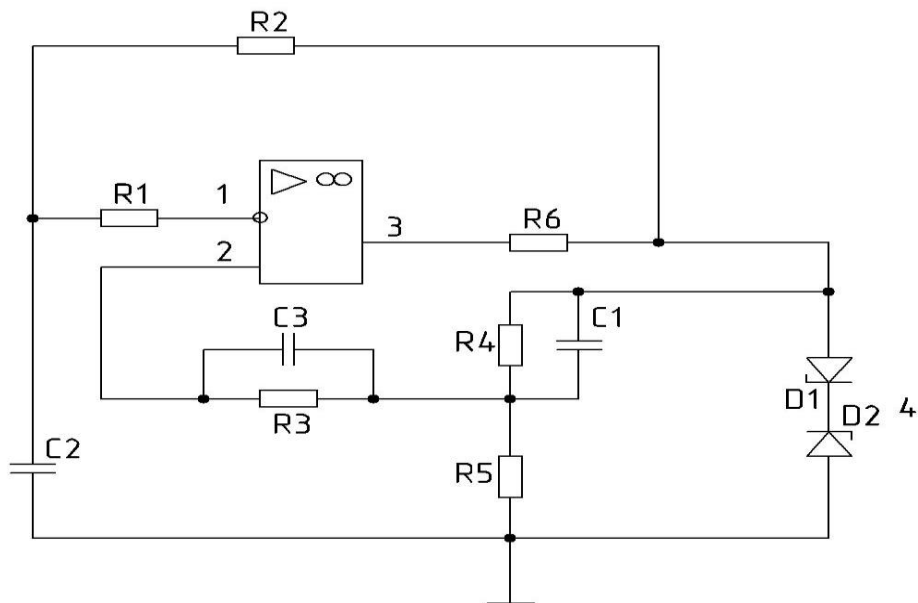


Рис.9 Схема генератора прямоугольных импульсов с параметрическим стабилизатором на выходе

Приборы и принадлежности: Резисторы $R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = 1.2\text{К}$; $C_1 = C_3 = 10\text{нФ}$; $C_2 = 10\text{мкФ}$; $R_4 = 100\text{Ом}$. Постройте эпюры напряжений в точках 1, 2, 3, 4.

Задание 4

Измерение различных характеристик несимметричного мультивибратора

Заполните недостающие ячейки таблицы 1, используя схему из рис.2. ($C_1=10\text{мкФ}$).

Таблица 2

№п/п	R_1	R_2	R_3	R_4	$t_{\text{и}}$	$t_{\text{п}}$	T	Q
1					10 мкс	100мкс		11
2								5
3					5мкс		50	
4			1кОм	1кОм				2
5								4

Постройте эпюры напряжений U_c и $U_{\text{вых}}$ для одного из пунктов таблицы 1.

Задание 5

Организация временной задержки на ОУ

Приборы и принадлежности: 1) Конденсатор $C_1 = 1000\text{мкФ}$ 2) Резисторы $R_3 = R_4 = R_5 = 1\text{кОм}$ 3) ОУ $DA_1 = DA_2 = DA_3 = \text{LM358N}$ 4) кнопка $KM1-1$

1. Определить параметры R_1 и R_2 при $C_1 = 1000\text{мкФ}$ для того, чтобы получить время задержки включения светодиода VD_2 в $t=30\text{сек}$.

2. Собрать схему из рис.5

Как организовать переключение светодиодов используя только один ОУ?

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. В отчете необходимо кратко изложить содержание и основные результаты работы.

2. Опираясь на результаты измеренных/полученных значений элементов, сделайте вывод о влиянии каждого из элементов на схему. В отчете укажите:

- Задание 2. На что влияет каждый из резисторов?
- Задание 3. Какая цель установки конденсаторов C1 и C3?
- Задание 3. На что влияют стабилитроны D1 и D2?
- Ответы на дополнительные вопросы в каждом из заданий.

3. В отчете должны быть представлены графики напряжений в разных точках схемы. Обсудите полученные зависимости.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. *Агаханян Т.М.* Электронные устройства в медицинских приборах, 2010. - 479 с.
2. *У. Наундорф* Аналоговая электроника. Основы, расчет, моделирование, 2008.- 475 с.

Дополнительная

1. *Лебедев В.И.* Транзисторные схемы ч.2, 1971. - 159 с.
2. *Х. Титце, К. Шенк* Полупроводниковая схемотехника, 1982. - 512 с.