

Московский Государственный Технический Университет  
имени Н.Э.Баумана

# **МУЛЬТИВИБРАТОР НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ С ИНТЕГРИРУЮЩЕЙ РС – ЦЕПЬЮ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
по курсу «Электроника и схемотехника»

## Лабораторная работа №4. «МУЛЬТИВИБРАТОР НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ С ИНТЕГРИРУЮЩЕЙ RC – ЦЕПЬЮ»

Цель работы - Изучение принципов построения схем мультивибраторов на основе ОУ, исследование режимов работы.. Продолжительность работы - 4 часа.

### Теоретическая часть

Простой мультивибратор может быть создан и на базе операционного усилителя (ОУ).

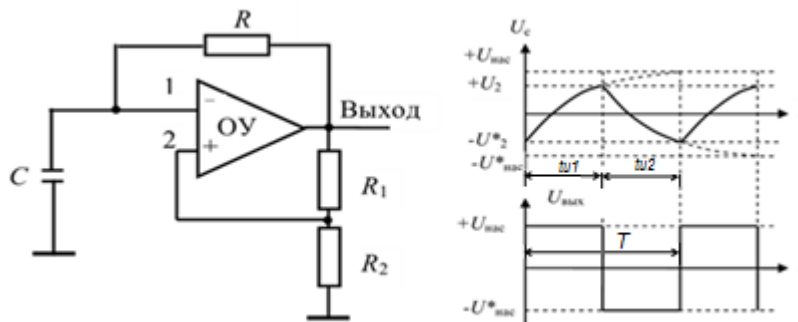


Рис.1 Схема мультивибратора на ОУ и временная диаграмма его работы.

Резисторы R1 и R2 образуют делитель напряжения, через который часть выходного напряжения подается обратно на неинвертирующий вход, образуя положительную обратную связь. Резистор R образует цепь отрицательной обратной связи. Наличие сильной положительной обратной связи приводит к тому, что при появлении на входах ОУ отличного от нуля дифференциального сигнала напряжение на его выходе равно либо +U<sub>нас</sub>, либо -U<sub>нас</sub>, где +U<sub>нас</sub> и -U<sub>нас</sub> - напряжения насыщения ОУ, близкие к напряжениям питания +E1 и -E2. Пусть в момент включения питания выходное напряжение становится равным +U<sub>нас</sub>. Тогда на неинвертирующем входе 2 установится напряжение

$$+U_2 = +U_{\text{нас}} \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Конденсатор C начнет заряжаться через резистор R. Заряд будет продолжаться до тех пор, пока напряжение на конденсаторе, а следовательно, и на инвертирующем входе 1 ОУ не достигнет величины напряжения +U<sub>2</sub>.

После того, как напряжение на входах 1 и 2 сравняются, дальнейший процесс заряда конденсатора приведет к смене знака дифференциального напряжения, действующего на входах ОУ. Благодаря цепи положительной обратной связи схема быстро перебросится в другое состояние - на выходе ОУ опять будет состояние насыщения, но напряжение изменит знак и станет равным -U<sub>нас</sub>. После переключения конденсатор C начнет перезарядаться от +U<sub>2</sub> до

$$-U_2 = -U_{\text{нас}} \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Затем, после выравнивания напряжений на входах 2 и 1, схема переключается в первоначальное состояние. На рисунке выше показана форма напряжений на конденсаторе C и на выходе ОУ.

Период колебаний мультивибратора вычисляется по времени перезарядки конденсатора C от +U<sub>2</sub> до -U<sub>2</sub> и от -U<sub>2</sub> до +U<sub>2</sub>. Предположим, что |+U<sub>нас</sub>| = |-U<sub>нас</sub>| = |U<sub>нас</sub>|. Это справедливо для случая симметричного питания |+E1| = |-E2| = |E| и правильной балансировке ОУ.

Пусть в начальный момент времени напряжение на конденсаторе

$$U_{\text{с}}|_{t=0} = -U_2 = -B|U_{\text{нас}}|,$$

где  $B = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$  - коэффициент передачи цепи положительной обратной связи.

Конденсатор будет перезаряжаться по закону  $U_C = Ae^{-\frac{t}{RC}} + |U_{\text{нас}}|$ .  
 Константа  $A = -(1+B)|U_{\text{нас}}|$  определяется из начальных условий для  $U_C|_{t=0}$ . Через половину периода  $t=0,5T$  напряжение на конденсаторе достигнет значения  $U_C = +U_2 = +B|U_{\text{нас}}|$ . Подставляя это значение в уравнение, определим длительность полупериода колебаний мультивибратора:

$$\frac{T}{2} = RC \ln \frac{1+B}{1-B}.$$

Откуда следует выражение для полного периода колебаний:  $T = 2RC \ln \left( \frac{2R_2}{R_1} + 1 \right)$ .

При выводе выражения для периода колебаний мы пренебрегли влиянием входного и выходного сопротивлений ОУ, что легко реализуется в практических схемах.

## И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

**Задание 1.** Соберите, согласно варианту (Табл.1), на рабочем поле среды Multisim схему для испытания симметричного автоколебательного мультивибратора на ОУ (рис. 2). Запустите процесс моделирования работы схемы. С помощью осциллографа проверьте наличие импульсов на выходе мультивибратора.

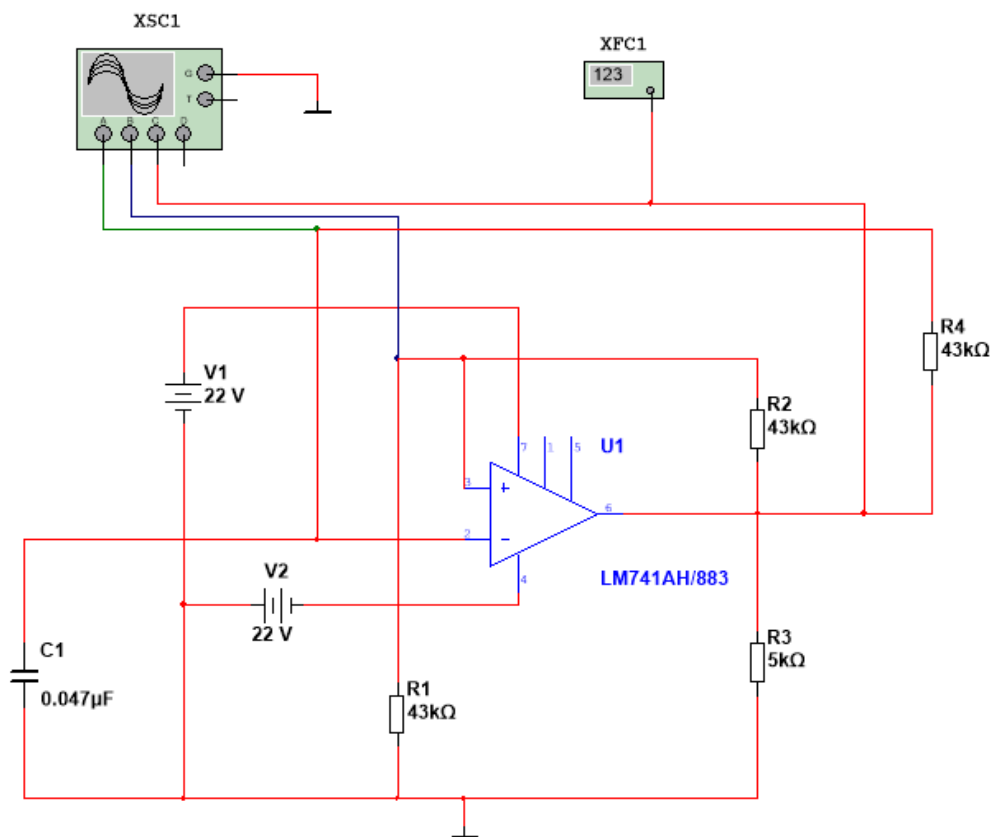


Рис.2 Схема исследования симметричного мультивибратора на ОУ

Варианты при моделировании в Multisim, для задания 1:

Таблица 1

Вариант	R1, R2, R4 кОм	C1 мкФ
1,6,11,16,21,26	51	0,043
2,7,12,17,22,27	47	0,047
3,8,13,18,23,28	43	0,051
4,9,14,19,24,29	40	0,056
5,10,15,20,25,30	39	0,062

В окне осциллографа **XSC1**, с помощью визирных линий, и с помощью частотомера **XFC1** **проведите измерения** параметров выходного напряжения:  $U_{нас}^+$ ,  $U_{нас}^-$ ,  $U_2^+$ ,  $U_2^-$ ,  $t_{u1}$ ,  $t_{u2}$ , периода  $T$  и частоты  $f$  колебаний напряжения на выходе и **сравните** измеренные временные параметры с расчётными величинами. Параметры внесите в таблицу 2.

Таблица 2

	$U_{нас}^+$	$U_{нас}^-$	$U_2^+$	$U_2^-$	$t_{u1}$	$t_{u2}$	$T$	$f$
Измер.								
Расч.								

Объясните полученные результаты.

**Задание 2.** Соберите, согласно варианту (Табл.3), на рабочем поле среды Multisim схему для испытания несимметричного автоколебательного мультивибратора на ОУ (рис. 3). Запустите процесс моделирования работы схемы. С помощью осциллографа проверьте наличие импульсов на выходе мультивибратора.

Варианты при моделировании в Multisim, для задания 2:

Таблица 3

Вариант	C1 мкФ	R1, R2, R4 кОм	R5 кОм
1,6,11,16,21,26	0,091	51	102
2,7,12,17,22,27	0,082	47	94
3,8,13,18,23,28	0,075	43	86
4,9,14,19,24,29	0,068	40	80
5,10,15,20,25,30	0,062	39	78

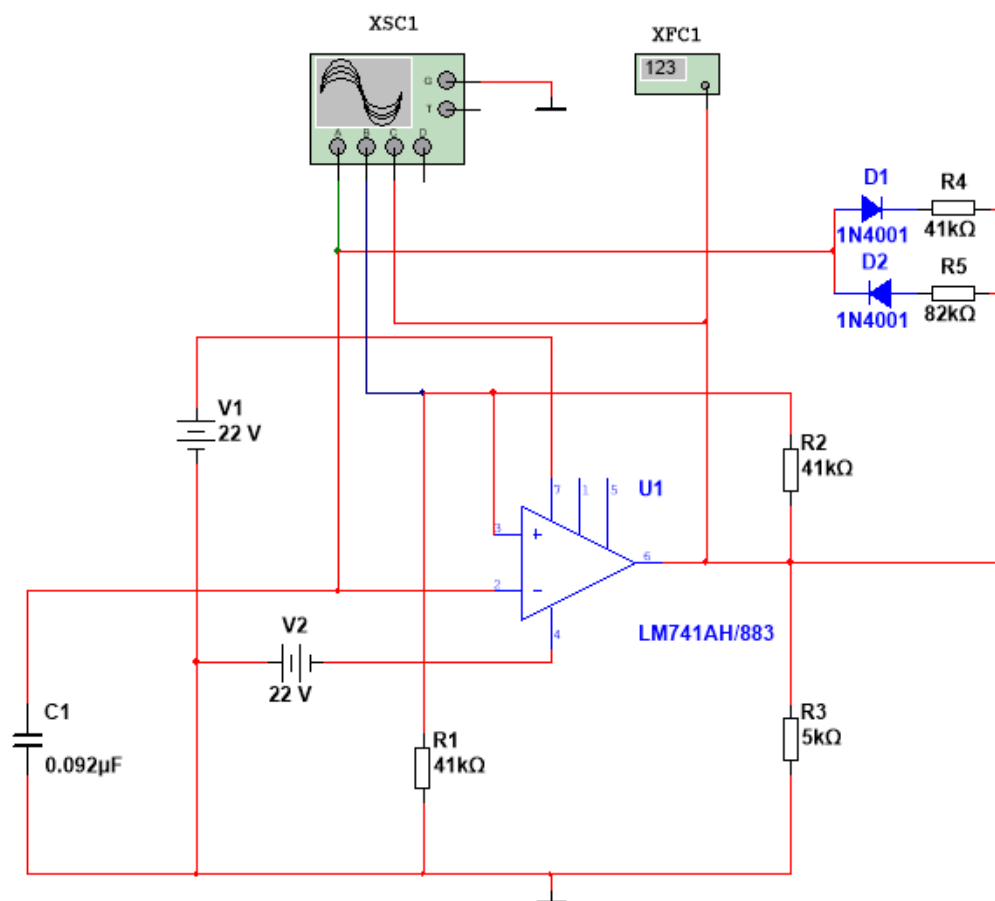


Рис.3 Схема исследования несимметричного мультивибратора на ОУ

В окне осциллографа **XSC1**, с помощью визирных линий, и с помощью частотомера **XFC1** **проведите измерения** параметров выходного напряжения:  $U_{нас}^+$ ,  $U_{нас}^-$ ,  $U_2^+$ ,  $U_2^-$ ,  $t_{u1}$ ,  $t_{u2}$ , периода  $T$  и частоты  $f$  колебаний напряжения на выходе и **сравните** измеренные временные параметры с расчётными величинами. Параметры внесите в таблицу 4.

Таблица 4

	$U_{нас}^+$	$U_{нас}^-$	$U_2^+$	$U_2^-$	$t_{u1}$	$t_{u2}$	$T$	$f$
Измер.								
Расч.								

Объясните полученные результаты.

**Задание 3.** Соберите, согласно варианту (Табл. 5), на рабочем поле среды Multisim схему для испытания автоколебательного мультивибратора на ОУ, с изменяемой скважностью импульсов. (рис. 4). Запустите процесс моделирования. С помощью осциллографа проверьте наличие импульсов на выходе мультивибратора.

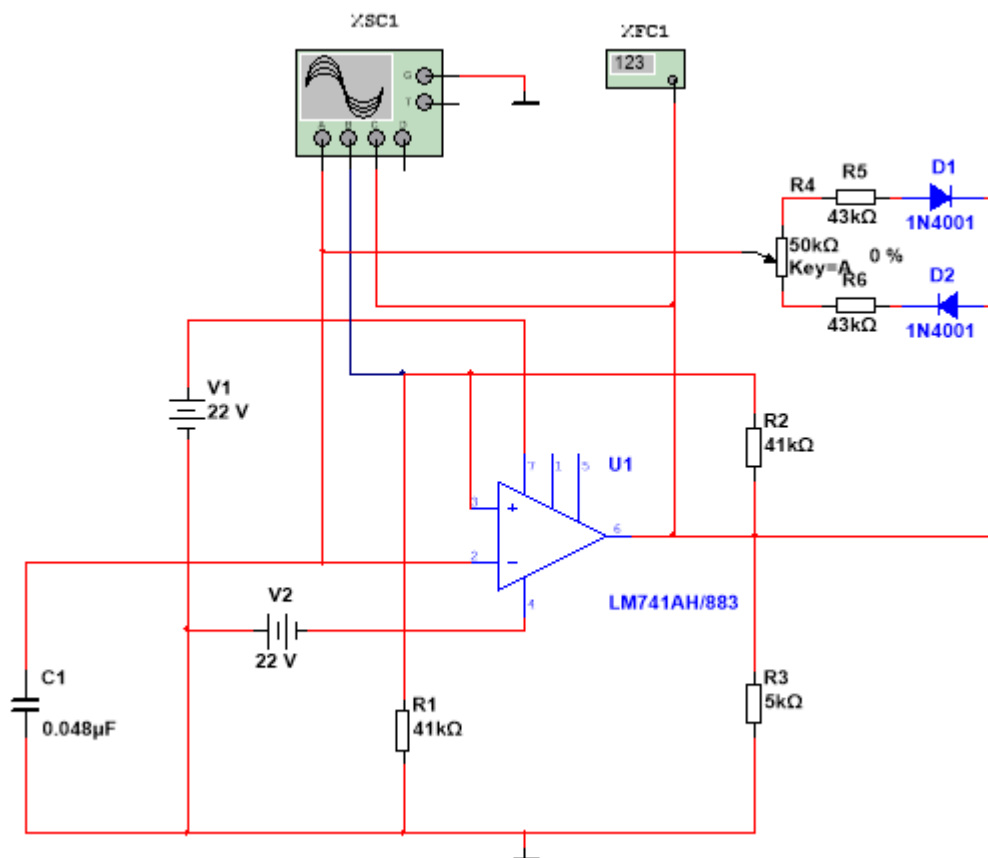


Рис.4 Схема исследования мультивибратора на ОУ с изменяемой скважностью импульсов

Варианты при моделировании в Multisim, для задания 3:

Таблица 5

Вариант	C1 мкФ	R1, R2 кОм	R3 кОм	R4, R5, R6 кОм
1,6,11,16,21,26	0,047	43	5,1	51
2,7,12,17,22,27	0,022	42	5,6	39
3,8,13,18,23,28	0,033	39	8,2	47
4,9,14,19,24,29	0,068	47	4,7	24
5,10,15,20,25,30	0,062	51	6,2	39

Проведите исследование влияния элементов схемы, влияющих на скважность импульсов, на примере изменения величины R4. Для этого необходимо изменять значение резистора R4 от 0% до 100%, через 20%.

С помощью частотомера **XFC1** проведите измерения параметров выходного напряжения:  $t_{u1}$ ,  $t_{u2}$ , периода  $T$  и частоты  $f$  колебаний напряжения на выходе и внесите в таблицу 6.

Таблица 6

	R4 0%	R4 20%	R4 40%	R4 60%	R4 80%	R4 100%
$t_{u1}$						
$t_{u2}$						
$T$						
$f$						

Начертите графики зависимостей  $t_{u1}$ ,  $t_{u2}$ , периода  $T$  и частоты  $f$  колебаний от значения резистора R4.

Объясните полученные результаты.

**Задание 4.** Соберите, согласно варианту (Табл. 7), на рабочем поле среды Multisim схему для испытания автоколебательного мультивибратора на ОУ, с изменяемой частотой следования импульсов. (рис. 5). Запустите процесс моделирования. С помощью осциллографа проверьте наличие импульсов на выходе мультивибратора.

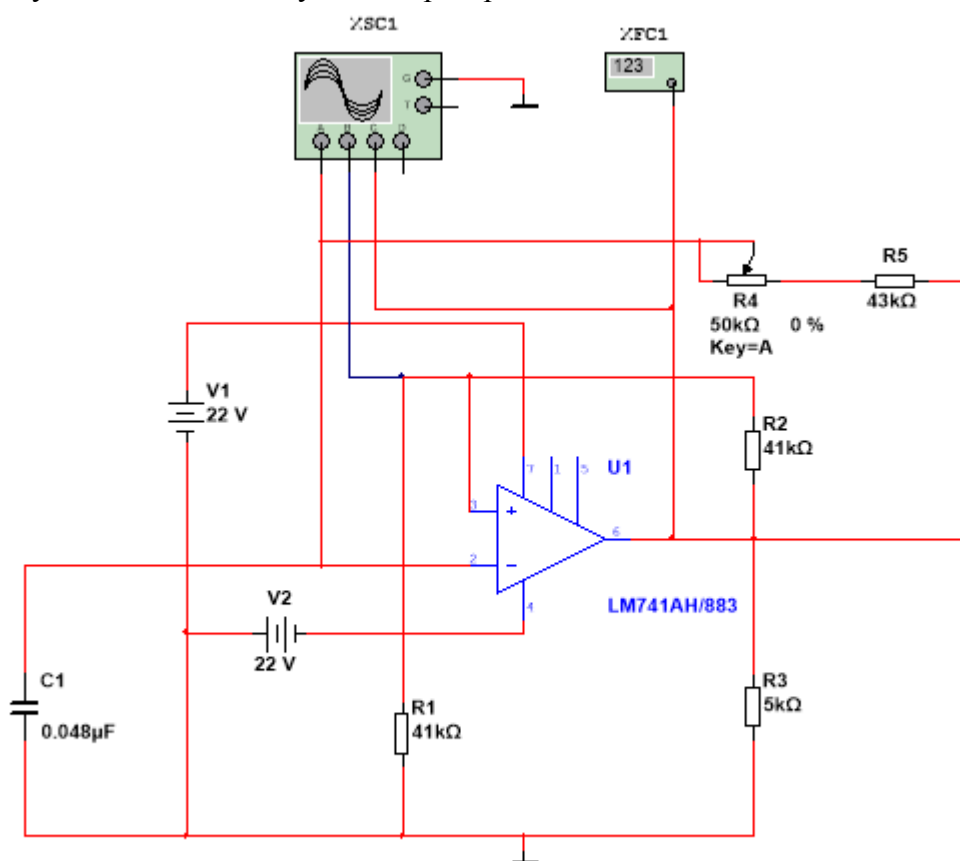


Рис.5 Схема исследования мультивибратора на ОУ с изменяемой частотой следования импульсов

Варианты при моделировании в Multisim, для задания 4:

Таблица 7

Вариант	C1 мкФ	R1, R2 кОм	R3 кОм	R4, R5 кОм
1,6,11,16,21,26	0,047	43	5,1	51
2,7,12,17,22,27	0,022	42	5,6	39
3,8,13,18,23,28	0,033	39	8,2	47
4,9,14,19,24,29	0,068	47	4,7	24
5,10,15,20,25,30	0,062	51	6,2	39

Проведите исследование влияния элементов схемы, влияющих на частоту следования импульсов. Для этого необходимо изменять значение резистора R4 от 0% до 100%, через 20%.

С помощью частотомера **XFC1** проведите измерения параметров выходного напряжения:  $t_{u1}$ ,  $t_{u2}$ , периода  $T$  и частоты  $f$  колебаний напряжения на выходе и внесите в таблицу 8.

Таблица 8

	R4 0%	R4 20%	R4 40%	R4 60%	R4 80%	R4 100%
$t_{u1}$						
$t_{u2}$						
$T$						
$f$						

Начертите графики зависимостей  $t_{u1}$ ,  $t_{u2}$ , периода  $T$  и частоты  $f$  колебаний от значения резистора R4.

Объясните полученные результаты.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА:

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах, с их краткими характеристиками.
3. Изображения электрических схем для испытания мультивибраторов.
4. Копии осциллограмм, отображающих работу мультивибраторов.
5. Таблицы результатов измеренных и расчётных параметров исследуемых мультивибраторов.
6. Выводы по работе.



### **Контрольные вопросы:**

1. Объясните принцип работы автоколебательного мультивибратора, построенного на ОУ.
2. Укажите как можно вычислить длительность импульсов и период колебаний выходного напряжения мультивибратора на ОУ?
3. Укажите, чем определяется максимальное значение выходного напряжения мультивибратора на ОУ?
4. Объясните, каким образом симметричный мультивибратор на ОУ можно преобразовать в несимметричный?
5. Расскажите о принципе работы мультивибратора на ОУ при изменении скважности импульсов.
6. Поясните принцип работы мультивибратора при изменении частоты следования импульсов.