



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ (ИУ6)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 09.03.01 Информатика и вычислительная техника;

О Т Ч Е Т

по домашнему заданию № 3.

Название: Мультивибратор на операционном усилителе

Дисциплина: Электроника

Студент

ИУ6-43Б
(Группа)

17.05.2024

(Подпись, дата)

В.К. Залыгин

(И.О. Фамилия)

Преподаватель

(Подпись, дата)

В.А. Карпухин

(И.О. Фамилия)

2024 г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определении номиналов элементов схемы мультивибратора на операционном усилителе, работающего на заданных длительностях полуволн выходного сигнала T_1 и T_2 , исследовании влияния параметров положительной и отрицательной обратных связей на параметры выходного сигнала: период колебаний T , длительность положительного импульсного напряжения T_1 , длительность отрицательного импульсного напряжения T_2 , амплитуду положительного импульса выходного сигнала $U_{max \text{ вых}}$, амплитуду отрицательного импульса выходного сигнала $U_{min \text{ вых}}$, амплитуду положительного импульса на неинвертирующем входе операционного усилителя $U_{max \text{ вх}}^+$, амплитуду отрицательного импульса на неинвертирующем входе операционного усилителя $U_{min \text{ вх}}^+$, длительность фронта нарастания $t_{\text{фн}}$, длительность фронта спада $t_{\text{фс}}$.

ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТ НОМИНАЛОВ СХЕМЫ

1.1 Задание

Выполнить расчет номиналов элементов (длительности T_1 , T_2 заданы индивидуальным вариантом, коэффициент ПОС $K_{\text{ПОС}} = 0,7$), привести полученные значения к ряду номиналов радиодеталей Е24. Параметры в соответствии с вариантом задания представлены на рисунке 1.

| № | Фамилия | Имя | T_1 , мс | T_2 , мс | Модель диодов |
|----|---------|----------|------------|------------|---------------|
| 15 | Залыгин | Вячеслав | 7,1 | 1,3 | KD105B |

Рисунок 1 – параметры по варианту

1.2 Выбор операционного усилителя

По данному варианту заданы 2 параметра выходного сигнала:

- длительность положительного импульсного напряжения $T_1 = 9.1 \text{ мс}$;
- длительность отрицательного импульсного напряжения $T_2 = 1.3 \text{ мс}$.

Чтобы выбрать необходимый операционный усилитель (ОУ), необходимо учитывать некоторые параметры ОУ из spice-модели:

- SRN – максимальная скорость нарастания отрицательного импульса;
- SRP – максимальная скорость нарастания положительного импульса;
- VPS – максимальное напряжение на выходе ОУ;
- VNS – минимальное напряжение на выходе ОУ.

Необходимо выбрать ОУ, удовлетворяющий выражениям:

$$T_{\min} = \min\{T_1, T_2\} = 1.3 \text{ мс}$$

$$0.9 \cdot \frac{VPS - VNS}{SRP} \leq 0.01 \cdot T_{\min} \Rightarrow \frac{VPS - VNS}{SRP} \leq \frac{0.01 \cdot 1.3}{0.9} = 14 \text{ мкс}$$

$$0.9 \cdot \frac{VPS - VNS}{SRN} \leq 0.01 \cdot T_{\min} \Rightarrow \frac{VPS - VNS}{SRN} \leq \frac{0.01 \cdot 1.3}{0.9} = 14 \text{ мкс}$$

Под данные требования подходит ОУ LF351. Его spice-модель представлена на рисунке 2.

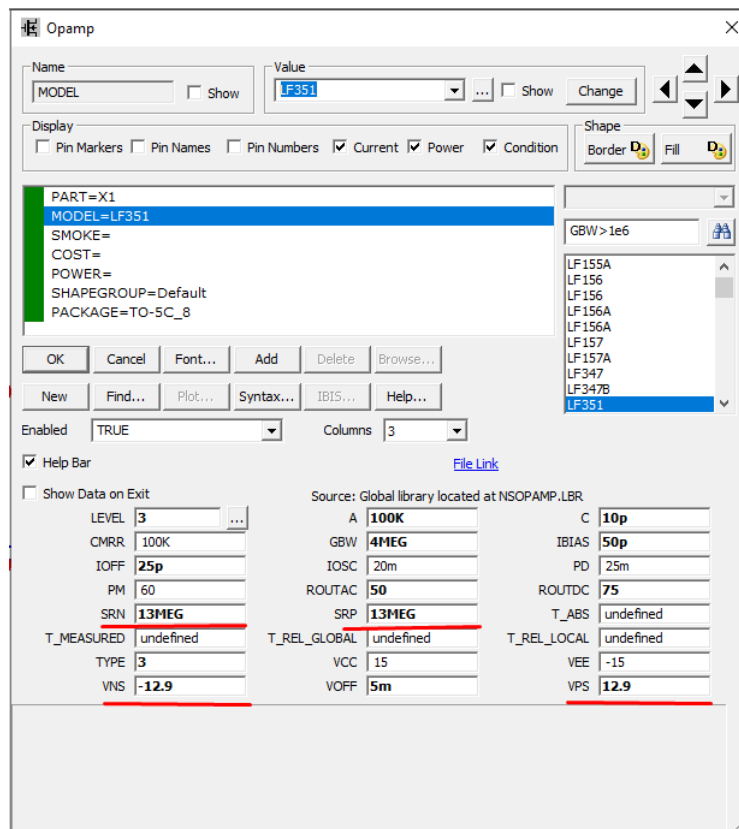


Рисунок 2 – Модель ОУ LF351

Тогда при подстановке характеристик неравенства оказываются верными:

$$\frac{VPS - VNS}{SRP} = \frac{12.9 - (-12.9)}{13 \cdot 10^6} = 2 \text{ мкс} \leq 14 \text{ мкс}$$

$$\frac{VPS - VNS}{SRN} = \frac{12.9 - (-12.9)}{13 \cdot 10^6} = 2 \text{ мкс} \leq 14 \text{ мкс}$$

Схема с ОУ представлена на рисунке 3.

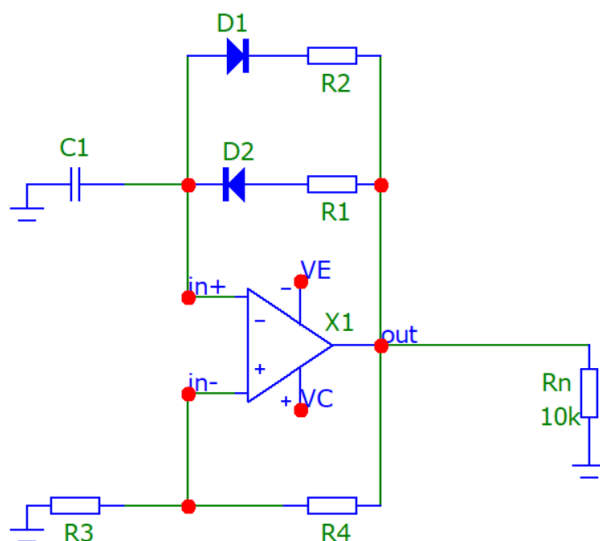


Рисунок 3 – схема с ОУ (точки in+ и in- перепутаны местами)

1.2 Расчет положительной обратной связи

Для расчета ПОС выбран ток $I_{\max\text{пос}} = 0.6 \cdot 10^{-3}$ А. $K_{\text{пос}}$ по условию задан $K_{\text{пос}} = 0.7$. По характеристикам ОУ $U_{\max\text{вых}} = VPS = 13\text{В}$.

Тогда значения R_3 , R_4 можно будет найти по формулам:

$$R_3 = K_{\text{пос}} \cdot \frac{U_{\max\text{вых}}}{I_{\max\text{пос}}} = 0.7 \cdot \frac{12.9}{0.6 \cdot 10^{-3}} = 15.1\text{кОм},$$

$$R_4 = R_3 \cdot \frac{1 - K_{\text{пос}}}{K_{\text{пос}}} = 15.1 \cdot 10^3 \cdot \frac{1 - 0.7}{0.7} = 6.5\text{кОм}.$$

Для дальнейшей работы необходимо выбрать близкие к вычисленным значения из ряда резисторов E24. Ряд представлен на рисунке 4.

| E24 | Номинальное сопротивление | | | | | | | |
|-----|---------------------------|---------|--------|-------|--------|---------|--------|---------|
| 1,0 | 0,01 Ом | 0,1 Ом | 1 Ом | 10 Ом | 100 Ом | 1 кОм | 10 кОм | 100 кОм |
| 1,1 | 0,011 Ом | 0,11 Ом | 1,1 Ом | 11 Ом | 110 Ом | 1,1 кОм | 11 кОм | |
| 1,2 | 0,012 Ом | 0,12 Ом | 1,2 Ом | 12 Ом | 120 Ом | 1,2 кОм | 12 кОм | |
| 1,3 | 0,013 Ом | 0,13 Ом | 1,3 Ом | 13 Ом | 130 Ом | 1,3 кОм | 13 кОм | |
| 1,5 | 0,015 Ом | 0,15 Ом | 1,5 Ом | 15 Ом | 150 Ом | 1,5 кОм | 15 кОм | |
| 1,6 | 0,016 Ом | 0,16 Ом | 1,6 Ом | 16 Ом | 160 Ом | 1,6 кОм | 16 кОм | |
| 1,8 | 0,018 Ом | 0,18 Ом | 1,8 Ом | 18 Ом | 180 Ом | 1,8 кОм | 18 кОм | |
| 2,0 | 0,02 Ом | 0,2 Ом | 2,0 Ом | 20 Ом | 200 Ом | 2,0 кОм | 20 кОм | |
| 2,2 | 0,022 Ом | 0,22 Ом | 2,2 Ом | 22 Ом | 220 Ом | 2,2 кОм | 22 кОм | |
| 2,4 | 0,024 Ом | 0,24 Ом | 2,4 Ом | 24 Ом | 240 Ом | 2,4 кОм | 24 кОм | |
| 2,7 | 0,027 Ом | 0,27 Ом | 2,7 Ом | 27 Ом | 270 Ом | 2,7 кОм | 27 кОм | |
| 3,0 | 0,03 Ом | 0,3 Ом | 3,0 Ом | 30 Ом | 300 Ом | 3,0 кОм | 30 кОм | |
| 3,3 | 0,033 Ом | 0,33 Ом | 3,3 Ом | 33 Ом | 330 Ом | 3,3 кОм | 33 кОм | |
| 3,6 | 0,036 Ом | 0,36 Ом | 3,6 Ом | 36 Ом | 360 Ом | 3,6 кОм | 36 кОм | |
| 3,9 | 0,039 Ом | 0,39 Ом | 3,9 Ом | 39 Ом | 390 Ом | 3,9 кОм | 39 кОм | |
| 4,3 | 0,043 Ом | 0,43 Ом | 4,3 Ом | 43 Ом | 430 Ом | 4,3 кОм | 43 кОм | |
| 4,7 | 0,047 Ом | 0,47 Ом | 4,7 Ом | 47 Ом | 470 Ом | 4,7 кОм | 47 кОм | |
| 5,1 | 0,051 Ом | 0,51 Ом | 5,1 Ом | 51 Ом | 510 Ом | 5,1 кОм | 51 кОм | |
| 5,6 | 0,056 Ом | 0,56 Ом | 5,6 Ом | 56 Ом | 560 Ом | 5,6 кОм | 56 кОм | |
| 6,2 | 0,062 Ом | 0,62 Ом | 6,2 Ом | 62 Ом | 620 Ом | 6,2 кОм | 62 кОм | |
| 6,8 | 0,068 Ом | 0,68 Ом | 6,8 Ом | 68 Ом | 680 Ом | 6,8 кОм | 68 кОм | |
| 7,5 | 0,075 Ом | 0,75 Ом | 7,5 Ом | 75 Ом | 750 Ом | 7,5 кОм | 75 кОм | |
| 8,2 | 0,082 Ом | 0,82 Ом | 8,2 Ом | 82 Ом | 820 Ом | 8,2 кОм | 82 кОм | |
| 9,1 | 0,091 Ом | 0,91 Ом | 9,1 Ом | 91 Ом | 910 Ом | 9,1 кОм | 91 кОм | |

Рисунок 4 – Ряд E24

Из ряда выбраны ближайшие вычисленным значения $R_3 = 15\text{кОм}$, $R_4 = 6.2\text{кОм}$.

Тогда $K_{\text{пос}}$ будет принимать значение $K_{\text{пос}} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{15}{15 + 6.2} = 0.707$, что достаточно близко к заданному значению.

Для расчета $U_{\max\text{вых}}^+$, $U_{\min\text{вых}}^-$ необходимо из spice-модели ОУ взять значения:

$$U_{max\text{ Вых}} = VPS = 13\text{ В},$$

$$U_{min\text{ Вых}} = VNS = -13\text{ В}.$$

Тогда $U_{max\text{ Вых}}^+$, $U_{min\text{ Вых}}^-$ будут иметь значения:

$$U_{max\text{ Вых}}^+ = K_{\text{ПОС}} \cdot U_{max\text{ Вых}} = 0.7 \cdot 13 = 9.1\text{В},$$

$$U_{min\text{ Вых}}^- = K_{\text{ПОС}} \cdot U_{min\text{ Вых}} = 0.7 \cdot -13 = -9.1\text{В}.$$

Значения на схеме показаны на рисунке 5.

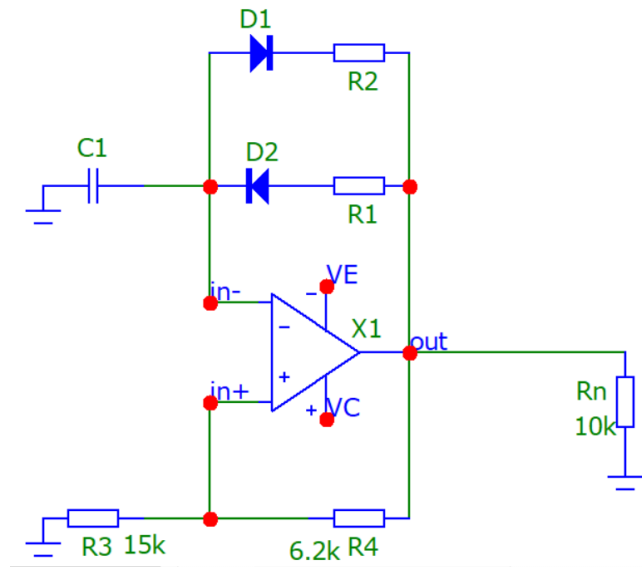


Рисунок 5 – Схема с выставленными значениями для резистивного делителя

1.3 Расчет отрицательной обратной связи

Для расчета ООС выбран ток $I_{max\text{оос}} = 0.6 \cdot 10^{-3}\text{ А}$.

Поскольку длительность положительного импульса T_1 больше, чем длительность отрицательного импульса T_2 , то формулы имеют вид:

$$R_1 = \frac{2 \cdot U_{max\text{Вых}}}{I_{max\text{оос}}} = \frac{2 \cdot 12.9}{0.6 \cdot 10^{-3}} = 43\text{кОм},$$

$$R_2 = \frac{T_2}{T_1} \cdot R_1 = \frac{1.3}{7.1} \cdot 43 = 7.9\text{кОм},$$

Ближайшие значения ряда E24: $R_1 = 43\text{кОм}$, $R_2 = 8.2\text{кОм}$.

Тогда емкость конденсатора C_1 будет рассчитываться так:

$$C_1 = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{T_1}{\ln\left(\frac{1+K_{\text{ПОС}}}{1-K_{\text{ПОС}}}\right)} = \frac{1}{43 \cdot 10^3} \cdot \frac{7.1 \cdot 10^{-3}}{\ln\frac{1+0.7}{1-0.7}} = 95\text{нФ}.$$

По ряду E24 (представлен на рисунке 6) значение $C_1 = 91\text{нФ}$.

| | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|--------|-------|----------|---------|--------|---------|----------|
| 5.6 пФ | 56 пФ | 560 пФ | 5.6 нФ | 56 нФ | 0.56 мкФ | 5.6 мкФ | 56 мкФ | 560 мкФ | 5600 мкФ |
| 6.2 пФ | 62 пФ | 620 пФ | 6.2 нФ | 62 нФ | 0.62 мкФ | 6.2 мкФ | 62 мкФ | 620 мкФ | 6200 мкФ |
| 6.8 пФ | 68 пФ | 680 пФ | 6.8 нФ | 68 нФ | 0.68 мкФ | 6.8 мкФ | 68 мкФ | 680 мкФ | 6800 мкФ |
| 7.5 пФ | 75 пФ | 750 пФ | 7.5 нФ | 75 нФ | 0.75 мкФ | 7.5 мкФ | 75 мкФ | 750 мкФ | 7500 мкФ |
| 8.2 пФ | 82 пФ | 820 пФ | 8.2 нФ | 82 нФ | 0.82 мкФ | 8.2 мкФ | 82 мкФ | 820 мкФ | 8200 мкФ |
| 9.1 пФ | 91 пФ | 910 пФ | 9.1 нФ | 91 нФ | 0.91 мкФ | 9.1 мкФ | 91 мкФ | 910 мкФ | 9100 мкФ |

Рисунок 6 – Ряд E24 конденсаторов

Для проверки удовлетворению диодами требований по быстродействию необходимо рассчитать длительность фронтов t_ϕ :

$$t_\phi = 0.9 * \frac{U_{max_{вых}} - U_{min_{вых}}}{v_{нар}} = 0.9 * \frac{12.9 - (-12.9)}{7 * 10^6} = 3.3 \text{ мкс.}$$

Spice-модель выданного диода представлена на рисунке 7.

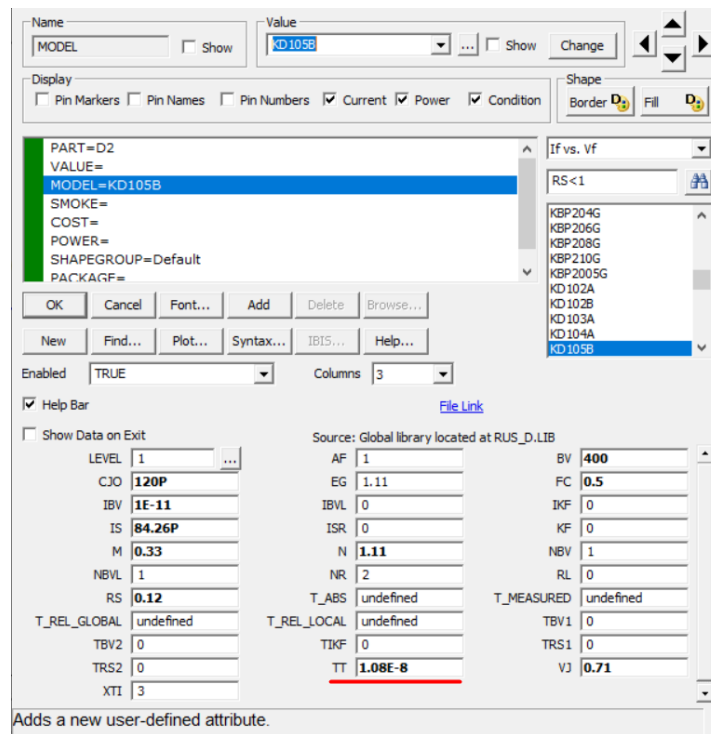


Рисунок 7 – Модель диода

Тогда время переноса зарядов по модели будет $TT = 10.8 \text{ нс}$. $TT \leq t_\phi$, тогда требование выполнено, данный диод KD105B подходит.

Собранная схема представлена на рисунке 8.

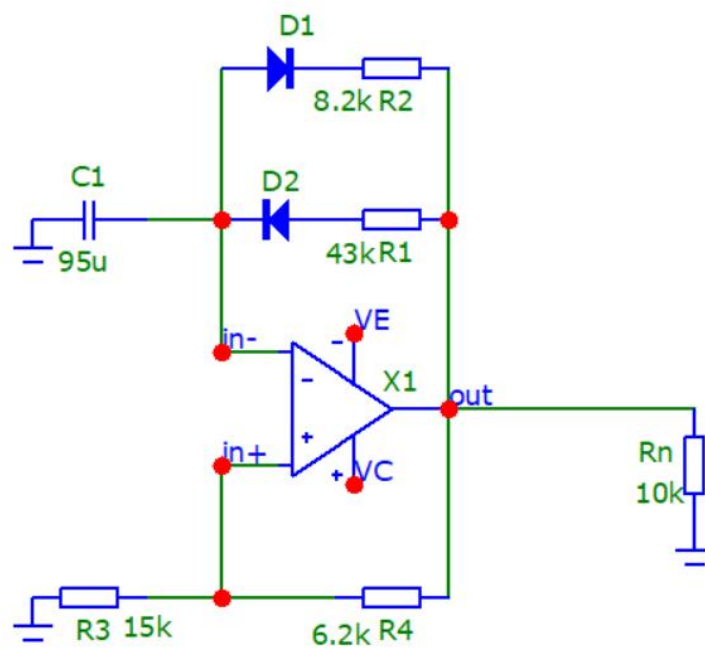


Рисунок 8 – Собранная схема

ЧАСТЬ 2. АНАЛИЗ РАБОТЫ СХЕМЫ

2.1 Анализ параметров сигнала

Для анализа параметров сигнала необходимо провести анализ переходных процессов. Необходимо выставить время работы как 3 периода сигнала:

$$3T = 3(T_1 + T_2) = 3(7.1 + 1.3) = 25.2\text{мс.}$$

Тогда время между точками необходимо сделать в 10000 раз меньше:

$$\frac{3T}{10000} = 2.5\text{мкс.}$$

Параметры для анализа переходных процессов представлены на рисунке

9.

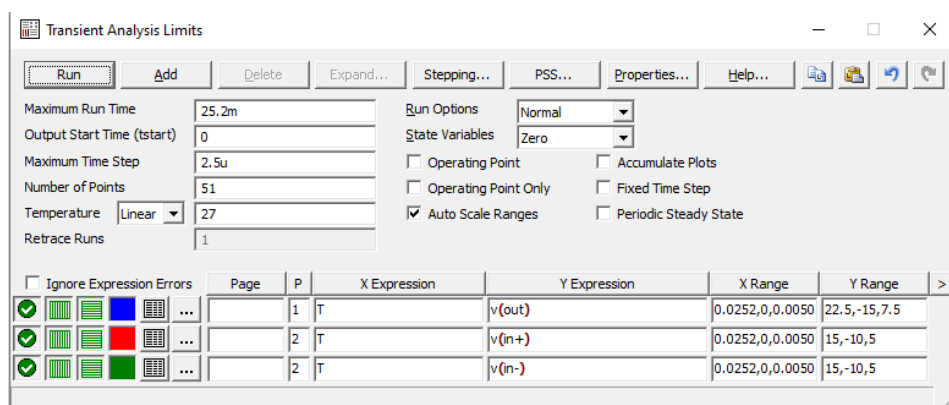


Рисунок 9 – Параметры transient analysis

График представлен на рисунке 10.

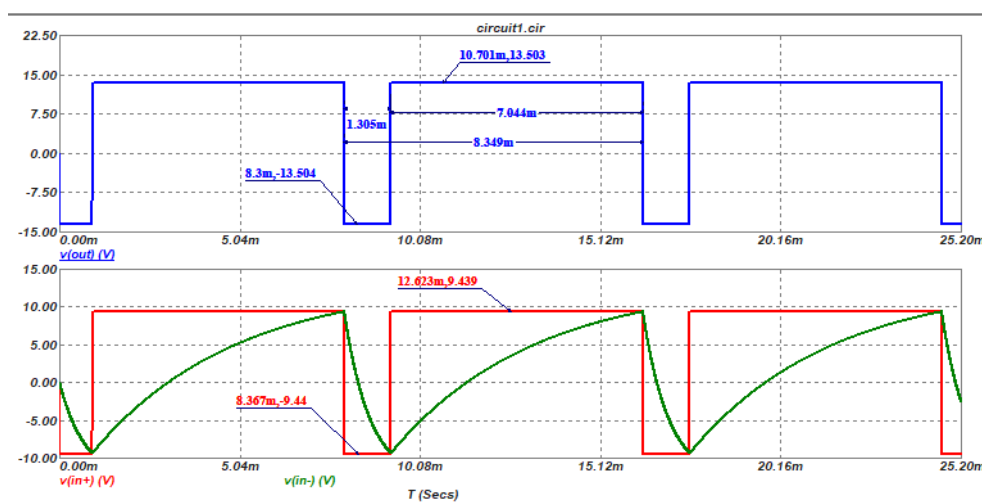


Рисунок 10 – график transient analysis

Полученные и теоретические значения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Полученные и теоретические значения

| | T | T_1 | T_2 | $U_{max \text{ Вых}}$ | $U_{min \text{ Вых}}$ | $U_{max \text{ Вх}}^+$ | $U_{min \text{ Вх}}^+$ | $t_{\text{фн}}$ | $t_{\text{фс}}$ |
|--------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| Модель | $8.35 \cdot 10^{-3}$ | $7.05 \cdot 10^{-3}$ | $1.305 \cdot 10^{-3}$ | 13.5 | -13.5 | 9.4 | -9.4 | $1.9 \cdot 10^{-6}$ | $1.9 \cdot 10^{-6}$ |
| Теория | $8.4 \cdot 10^{-3}$ | $7.1 \cdot 10^{-3}$ | $1.3 \cdot 10^{-3}$ | 12.9 | -12.9 | 9.1 | -9.1 | $3.3 \cdot 10^{-6}$ | $3.3 \cdot 10^{-6}$ |

Так как у выбранного ОУ $SRN=SRP$, то $t_{\text{фс}}$ будет равно $t_{\text{фн}}$:

$$t_{\text{ф}} = t_{\text{фс}} = t_{\text{фн}} = 3.3 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

Проверка, что значения T_1 и T_2 , полученные практически находятся в пределах заданной погрешности:

$$\text{Для } T_1: \frac{8.4 - 8.35}{8.4} = 0.5\% < 5\%$$

$$\text{Для } T_2: \frac{7.1 - 7.05}{7.1} = 0.7\% < 5\%$$

Требования по погрешностям выполнено.

2.2 Параметры быстродействия

При приближении графика в момент переключения можно найти фронт спада и фронт нарастания. Для этого необходимо установить курсоры, когда напряжение составляет 90% от амплитудного. На рисунке 11 показан фронт спада, на рисунке 12 показан фронт нарастания.

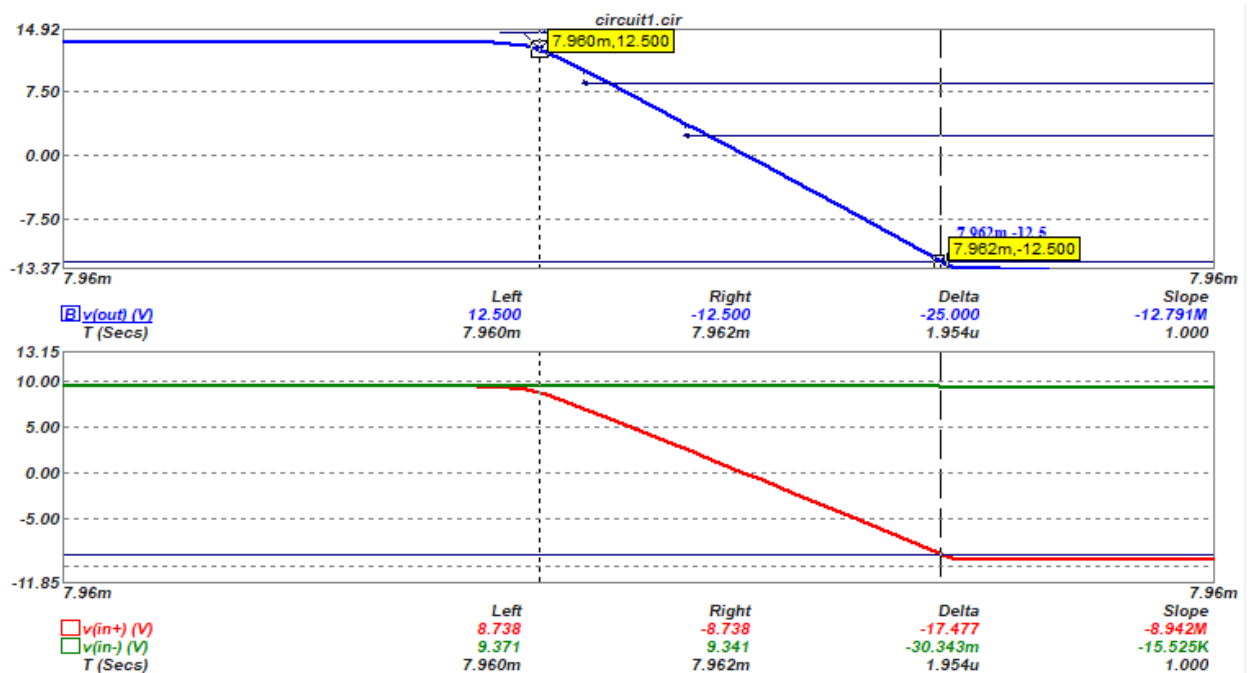


Рисунок 11 – Фронт спада

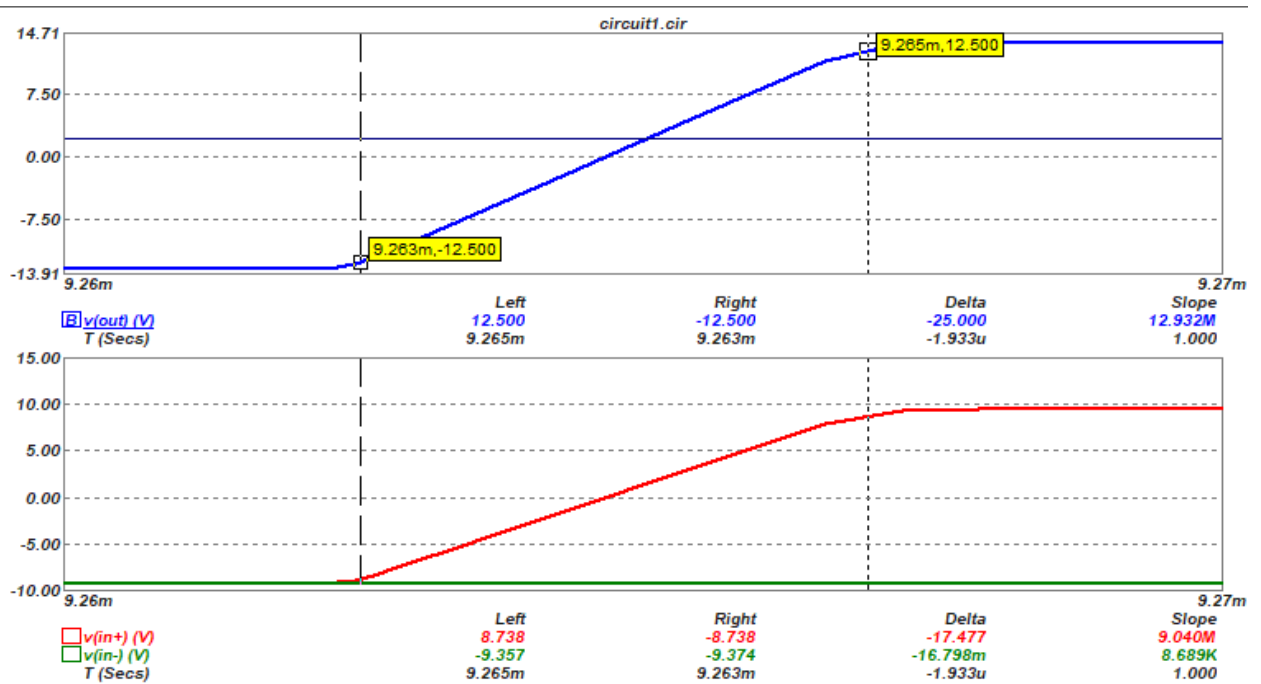


Рисунок 12 – Фронт нарастания

Полученные значения $t_{\text{фн}} = 1.9\text{мкс}$, $t_{\text{фс}} = 1.9\text{мкс}$.

Для нахождения $t_{\text{нас}}$ необходимо приблизить момент переключения с максимального уровня, установить курсор в точку пересечения графиков и в точку максимального напряжения. Тогда $t_{\text{нас}} = 1.33\text{мкс}$. Момент переключения представлен на рисунке 13.

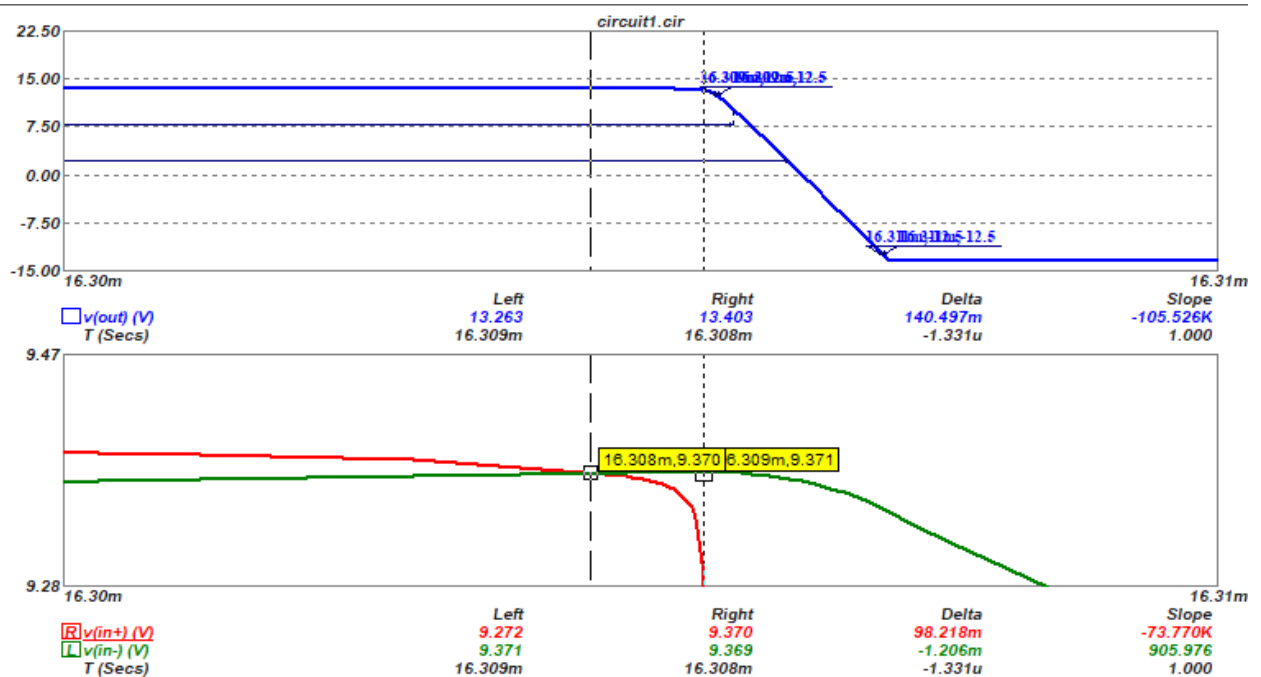


Рисунок 13 – Переключение с максимального уровня

2.3 Оценка влияния изменения номинала конденсатора на параметры сигналов

Для оценки необходимо, изменяя номинал конденсатора C_1 , измерить параметры сигналов на осциллограммах. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры сигналов при различных C_1

| C_1 | T | T_1 | T_2 | $U_{\max \text{ Вых}}$ | $U_{\min \text{ Вых}}$ | $U_{\max \text{ Вх}}^+$ | $U_{\min \text{ Вх}}^+$ | $t_{\phi \text{ Н}}$ | $t_{\phi \text{ С}}$ |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| C_1 | $8.35 \cdot 10^{-3}$ | $7.05 \cdot 10^{-3}$ | $1.305 \cdot 10^{-3}$ | 13.5 | -13.5 | 9.4 | -9.4 | $1.9 \cdot 10^{-6}$ | $1.9 \cdot 10^{-6}$ |
| $0.75 \cdot C_1$ | $6.42 \cdot 10^{-3}$ | $5.266 \cdot 10^{-3}$ | $0.97 \cdot 10^{-3}$ | 13.5 | -13.5 | 9.4 | -9.4 | $1.85 \cdot 10^{-6}$ | $1.9 \cdot 10^{-6}$ |
| $0.50 \cdot C_1$ | $4.181 \cdot 10^{-3}$ | $3.526 \cdot 10^{-3}$ | $0.654 \cdot 10^{-3}$ | 13.5 | -13.5 | 9.4 | -9.4 | $1.8 \cdot 10^{-6}$ | $2.0 \cdot 10^{-6}$ |
| $0.25 \cdot C_1$ | $2.119 \cdot 10^{-3}$ | $1.786 \cdot 10^{-3}$ | $0.333 \cdot 10^{-3}$ | 13.5 | -13.5 | 9.4 | -9.4 | $1.8 \cdot 10^{-6}$ | $1.9 \cdot 10^{-6}$ |
| $0.10 \cdot C_1$ | $0.833 \cdot 10^{-3}$ | $0.7 \cdot 10^{-3}$ | $0.133 \cdot 10^{-3}$ | 13.5 | -13.5 | 9.4 | -9.4 | $1.8 \cdot 10^{-6}$ | $1.9 \cdot 10^{-6}$ |

На рисунках 14-17 представлены снятые осциллограммы.

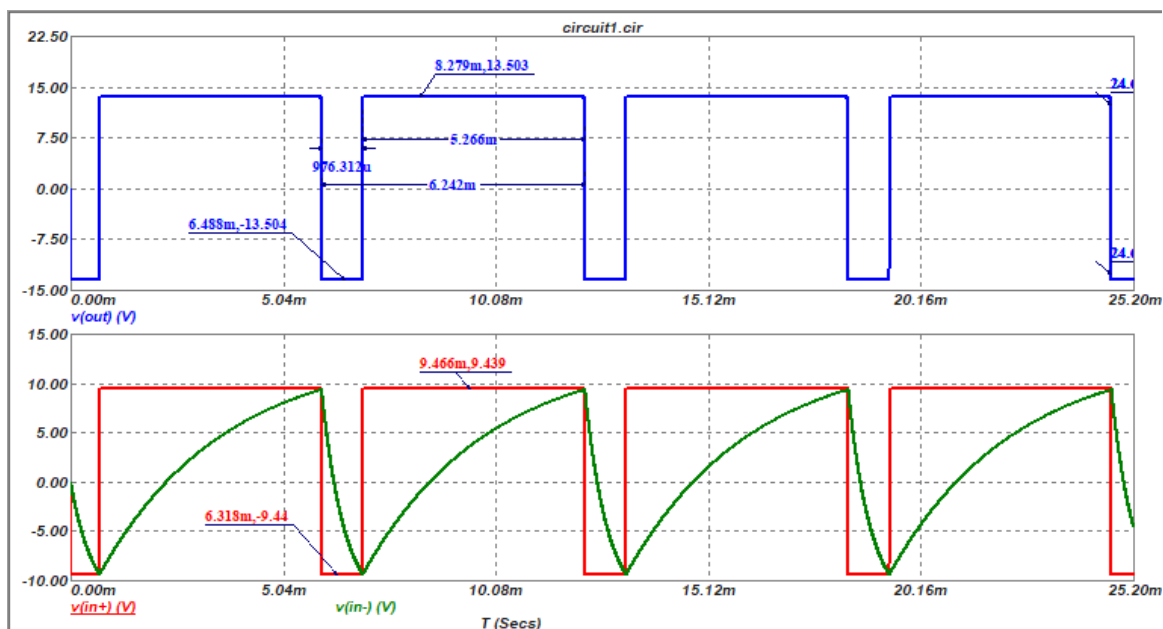


Рисунок 14 – Осциллограмма при $0.75C$

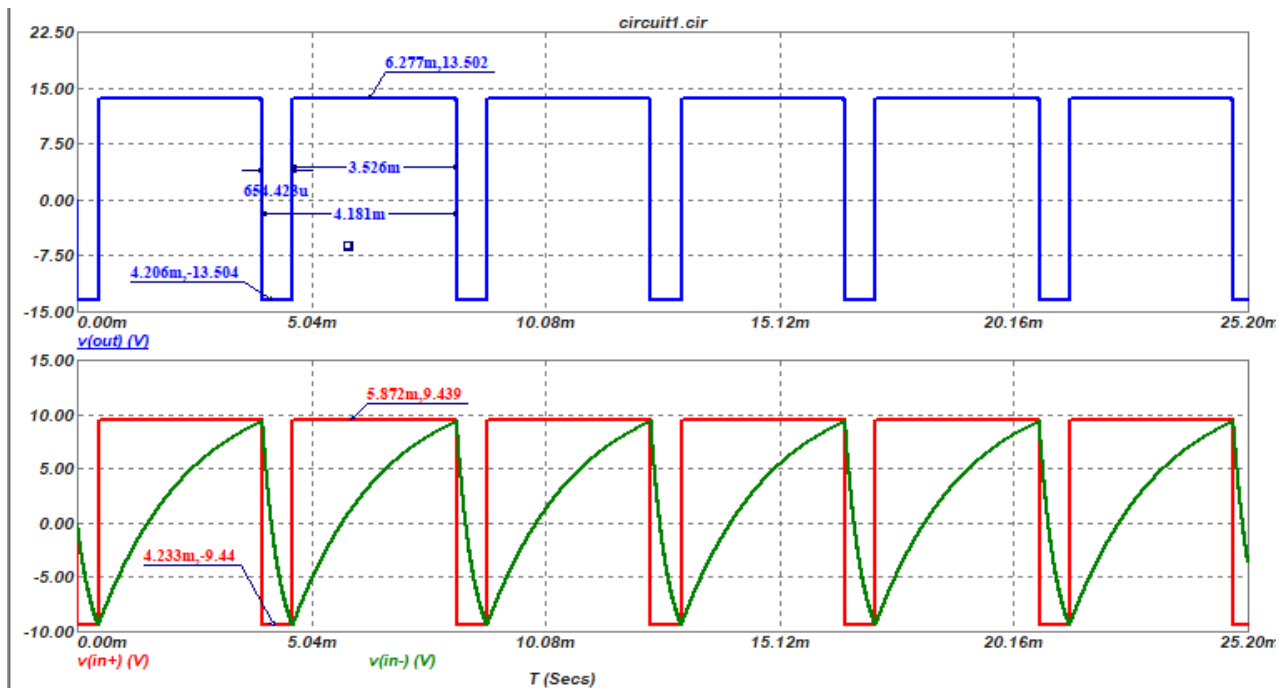


Рисунок 15 – Осциллограмма при 0.5C

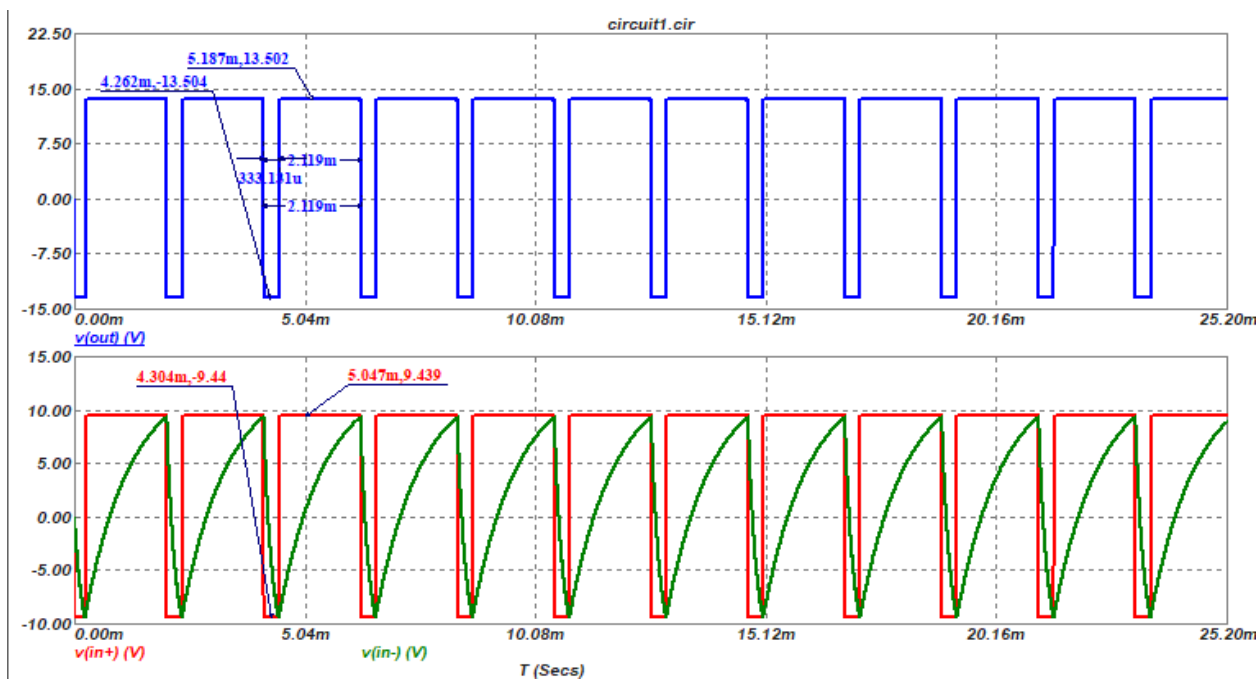


Рисунок 16 – Осциллограмма при 0.25C

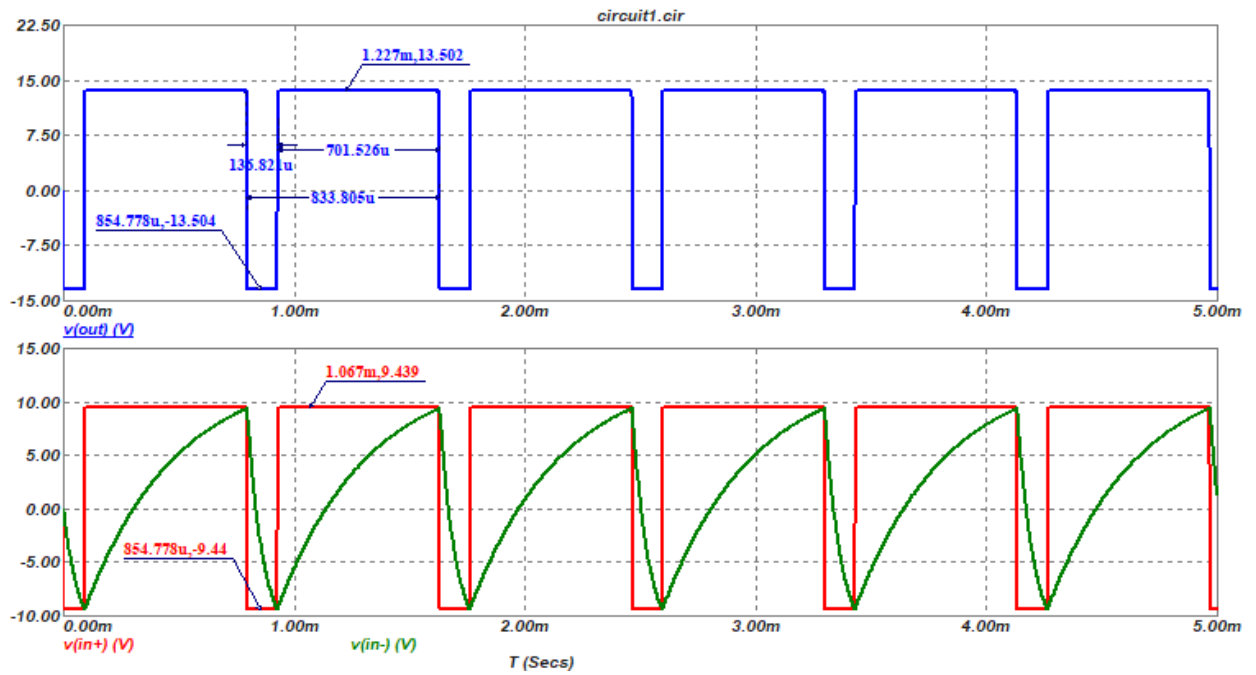


Рисунок 17 – Осциллограмма при 0.1C

Далее необходимо построить графики изменяющихся величин. Их можно построить с помощью библиотеки PyPlot. Графики представлены на рисунках 18-19.

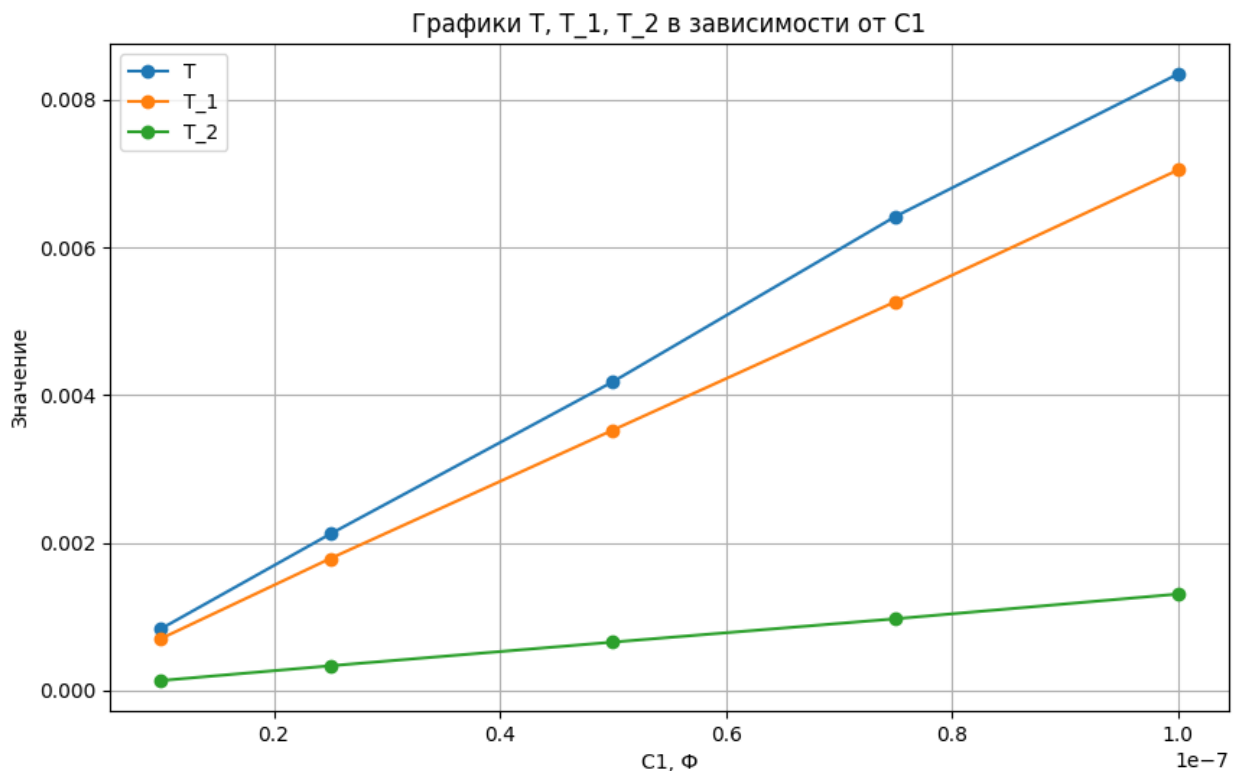


Рисунок 18 – Графики изменения T , T_1 , T_2 в зависимости от C_1

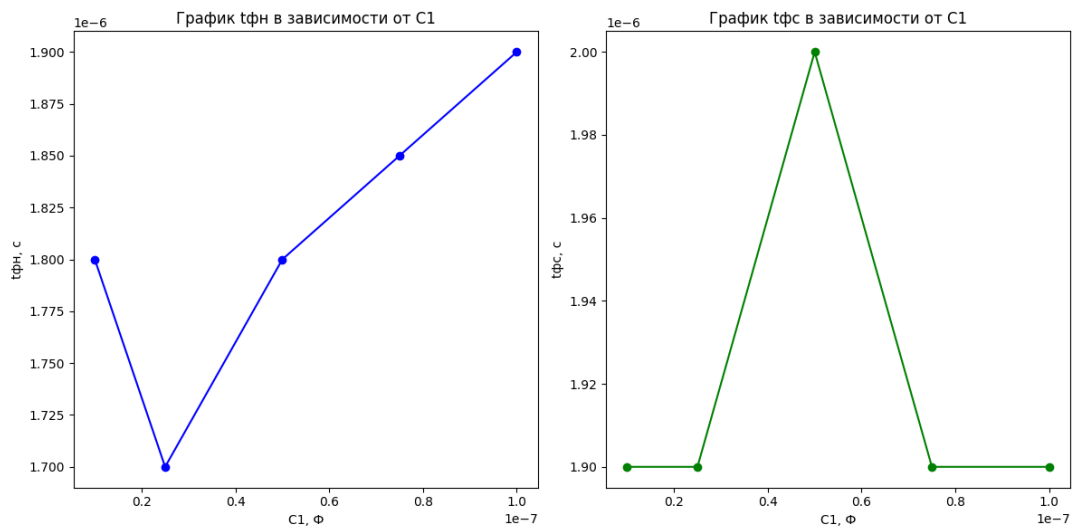


Рисунок 19 – Графики изменения $t_{\phi c}$, $t_{\phi n}$ в зависимости от C_1

2.4 Оценка влияния изменения $K_{\text{пос}}$

Необходимо при изменении $K_{\text{пос}}$ измерить параметры сигналов на осциллограммах. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – значения параметров при различных $K_{\text{пос}}$

| $K_{\text{пос}}$ | T | T_1 | T_2 | $U_{\text{max вых}}$ | $U_{\text{min вых}}$ | $U_{\text{max вх}}^+$ | $U_{\text{min вх}}^+$ | $t_{\phi n}$ | $t_{\phi c}$ |
|------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| C_1 | $8.35 \cdot 10^{-3}$ | $7.05 \cdot 10^{-3}$ | $1.305 \cdot 10^{-3}$ | 13.5 | -13.5 | 9.4 | -9.4 | $1.9 \cdot 10^{-6}$ | $1.9 \cdot 10^{-6}$ |
| 0.6 | $6.65 \cdot 10^{-3}$ | $5.61 \cdot 10^{-3}$ | $1.04 \cdot 10^{-3}$ | 13.5 | -13.5 | 8.1 | -8.1 | $1.8 \cdot 10^{-6}$ | $1.9 \cdot 10^{-6}$ |
| 0.5 | $5.25 \cdot 10^{-3}$ | $4.43 \cdot 10^{-3}$ | $0.8 \cdot 10^{-3}$ | 13.5 | -13.5 | 6.7 | -6.7 | $1.8 \cdot 10^{-6}$ | $2.0 \cdot 10^{-6}$ |
| 0.4 | $4.05 \cdot 10^{-3}$ | $3.41 \cdot 10^{-3}$ | $0.6 \cdot 10^{-3}$ | 13.5 | -13.5 | 5.4 | -5.4 | $1.85 \cdot 10^{-6}$ | $1.9 \cdot 10^{-6}$ |

На рисунках 20-22 представлены снятые осциллограммы.

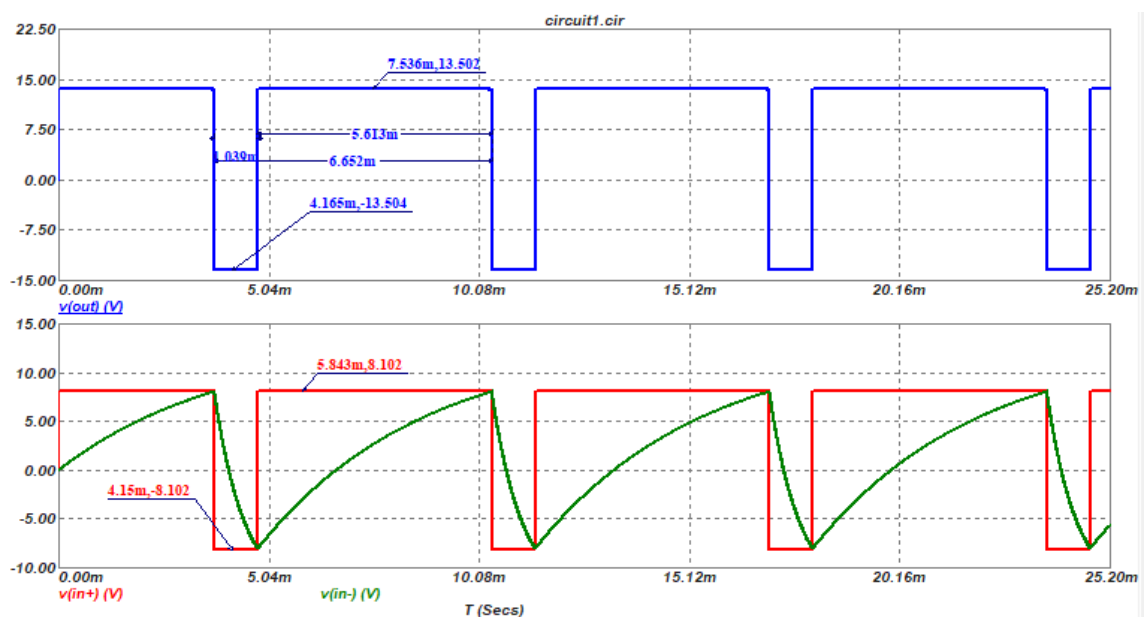


Рисунок 20 – Осциллограмма при $C_1=0.6$ ($R_3=12.9\text{кОм}$, $R_4=8.6\text{кОм}$)

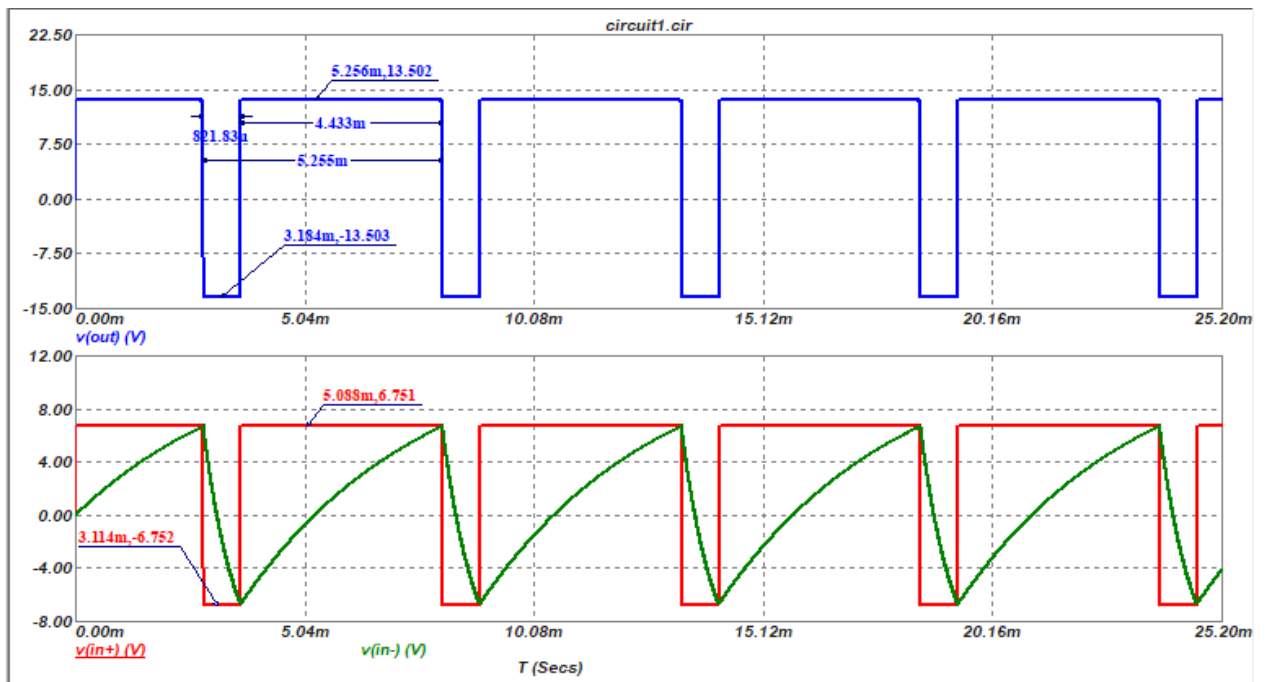


Рисунок 21 – Осциллограмма при $C_1=0.5$ ($R_3=10.8\text{кОм}$, $R_4=10.8\text{кОм}$)

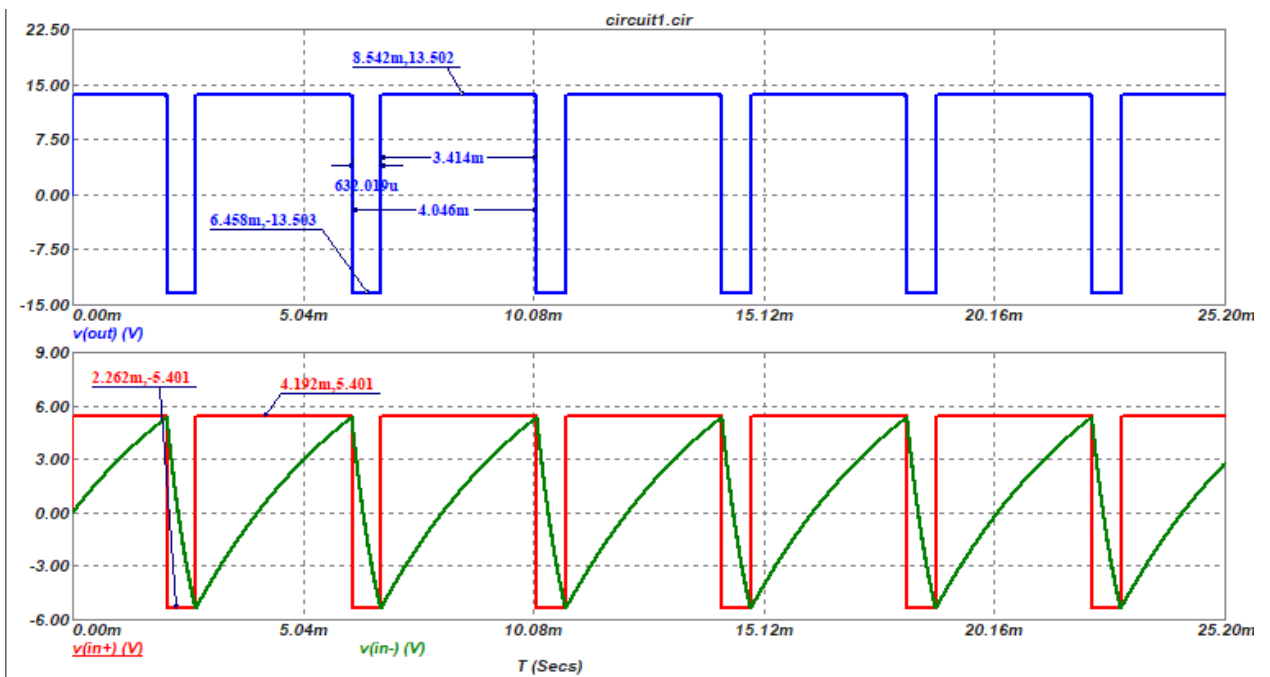


Рисунок 22 – Осциллограмма при $C_1=0.4$ ($R_3=8.6\text{кОм}$, $R_4=12.9\text{кОм}$)

Графики изменяющихся величин представлены на рисунках 23-25.

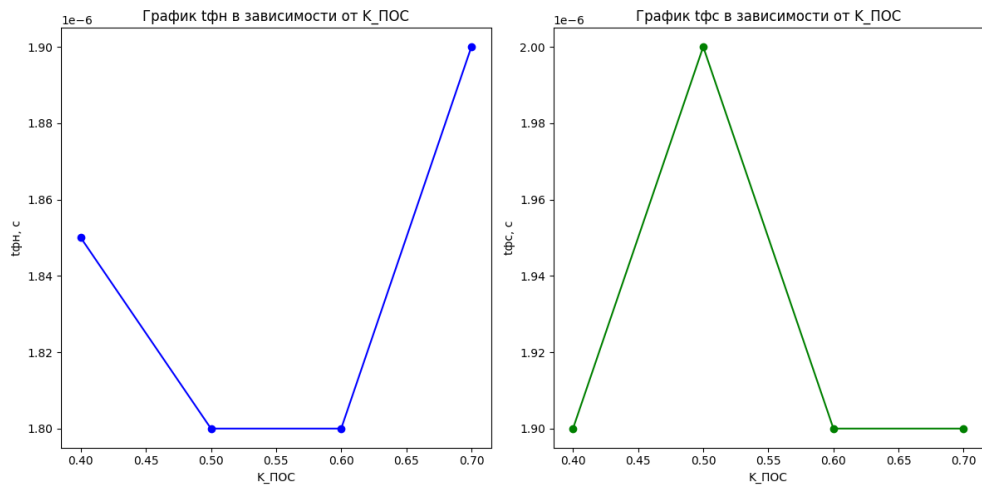


Рисунок 23 – Графики изменения $t_{фс}$, $t_{фн}$ в зависимости от $K_{ПОС}$

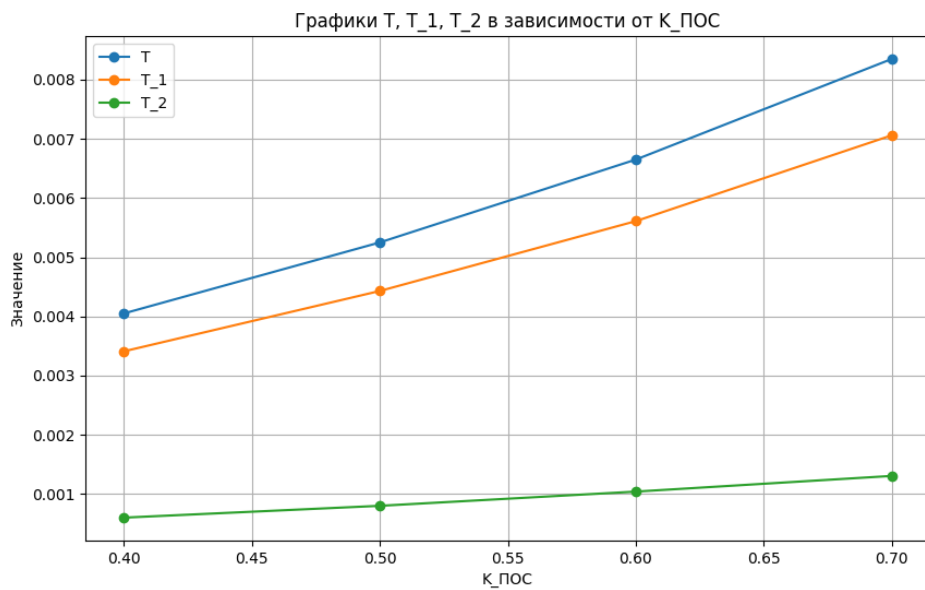


Рисунок 24 – Графики изменения T , T_1 , T_2 в зависимости от $K_{ПОС}$

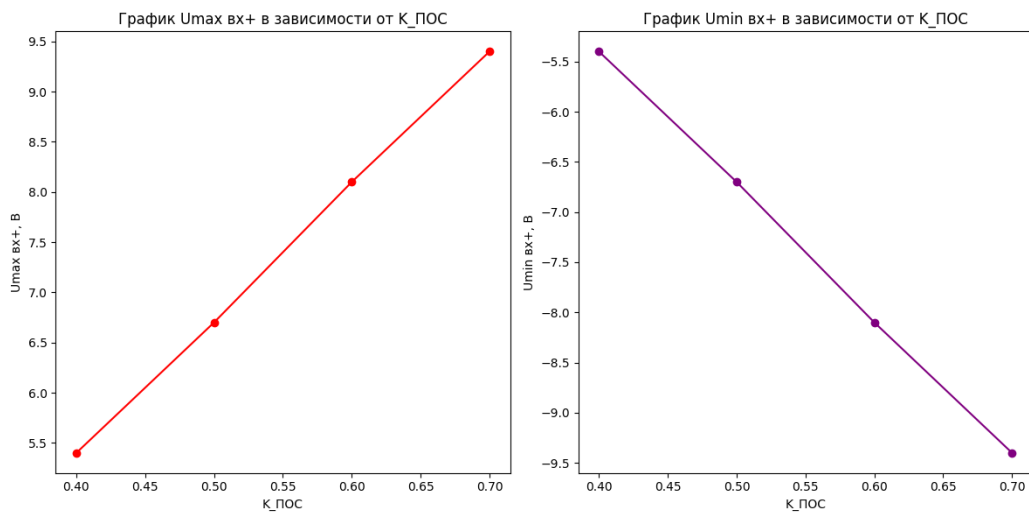


Рисунок 25 – Графики изменения $U_{max\ vx+}^+$, $U_{min\ vx+}^+$ в зависимости от $K_{ПОС}$

ВЫВОД

В работе было выполнено построение схемы мультивибратора на операционном усилителе, а также проведена оценка схемы.

Для построения схемы был выбран операционный усилитель (LF351), удовлетворяющий требованиям, а также рассчитаны значения остальных элементов схемы ($R_1=43\text{кОм}$, $R_2=7.9\text{кОм}$, $R_3=16\text{кОм}$, $R_4=5.2\text{кОм}$, $C_1=91\text{нФ}$). Построена осциллограмма сигналов и вычислены отклонения. Отклонения времени интервалов составляют 0.5-0.7% от теоретических значений, что удовлетворяет требованию задания.

Для выполненной схемы оценки значения сигнала, параметров быстродействия, влияния изменения емкости конденсатора и влияния изменения параметра $K_{\text{пос}}$ представлены ниже:

1) Полный период $T=8.35\text{мс}$. Интервал положительного сигнала $T_1=7.05\text{мс}$, интервал отрицательного сигнала $T_2=1.3\text{мс}$. Максимальное выходное напряжение по модулю $U_{\text{махмодвых}}=13.5\text{В}$ при максимальном по модулю входном $U_{\text{махмодвх}}=9.4\text{В}$;

2) Время фронта нарастания 1.9мкс, фронта спада – 1.9мкс. Время переключения с максимального уровня 1.33мкс;

3) При уменьшении емкости конденсатора значительно изменяется период схемы. Так, при емкости в 10% от номинальной период сокращается в 10 раз (с 8.3мс до 0.83мс). Графики показывают линейную зависимость периода от емкости. Остальные параметры не изменяются или изменения на уровне погрешности;

4) При уменьшении параметра $K_{\text{пос}}$ происходит сокращение периода положительного сигнала (отрицательный изменяется слабо).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

- 1) Методические указания к 3-му домашнему заданию «Мультивибратор на операционном усилителе». Ст. преподаватель Трубочёв Е.А;
- 2) Шаблон к домашнему заданию «Мультивибратор на операционном усилителе»;
- 3) Справочные материалы (Ряд номиналов радиодеталей E24);
- 4) Таблица вариантов домашнего задания №3;
- 5) Библиотека компонентов Micro-cap.