



Электронные устройства систем управления

Лабораторная работа №4

«Операционный усилитель в специализированных схемах»

Вариант №4

Выполнили:
Мовчан И.Е.
Тенишев А.Н.
Проверил:
Козачёк О.А.

Санкт-Петербург, 2025

Оглавление

Цель работы.....	3
Задание 1.....	3
Задание 2.....	6
Задание 3.....	7
Задание 4.....	9
Задание 5.....	10
Вывод.....	15

Цель работы.

Исследование характеристик специализированных устройств, построенных на операционных усилителях.

Задание №1. Исследование схем ограничения выходного напряжения на ОУ.

Соберём схему ограничителя выходного напряжения на ОУ:

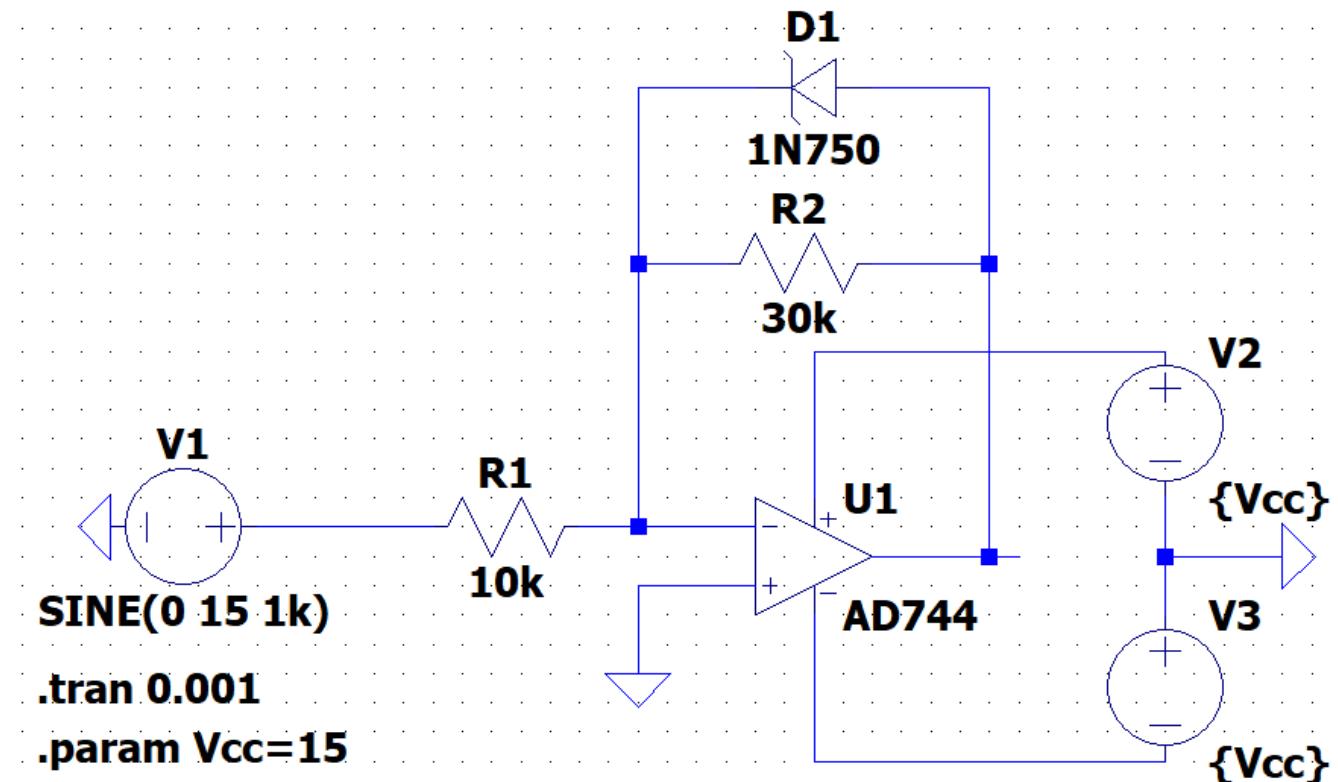


Рис 1.1 Схема ограничителя выходного напряжения на ОУ.

Согласно данному варианту:

$$K_U = \frac{R_1}{R_2} = 3$$

$$R_2 = K_U R_1 = 3 * 10 \text{ кОм} = 30 \text{ кОм} \text{ (примем } R1 = 10 \text{ кОм)}$$

Снимем зависимость напряжения $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}} \in [-1.1Vcc; 1.1Vcc] = [-16.5; 16.5]$

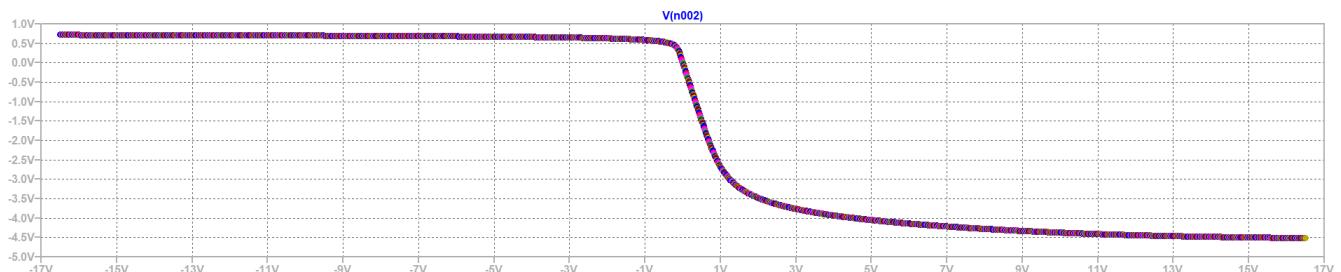


Рис 1.2. Зависимость $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}} \in [-16.5V; 16.5V]$.

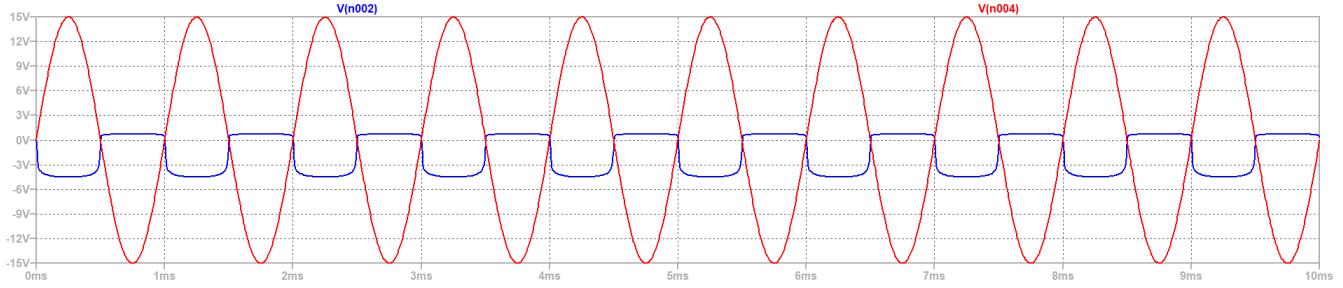


Рис 1.3. $U_{\text{вых}}$ при синусоидальном $U_{\text{вх}}$.

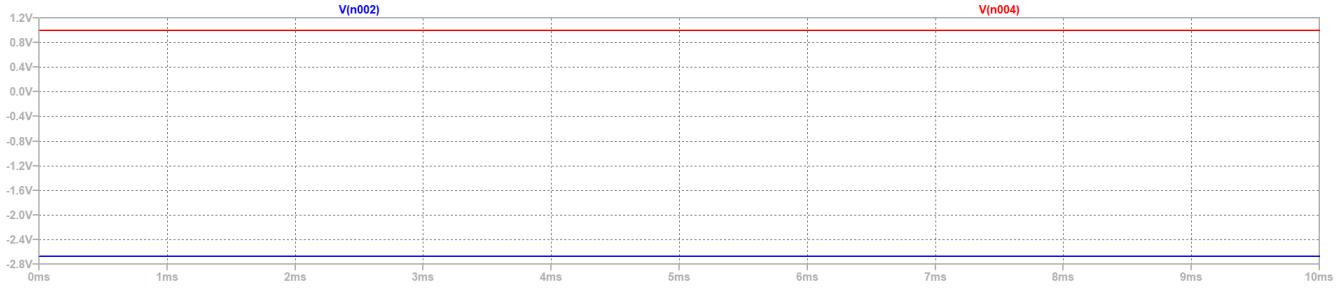


Рис 1.4. $U_{\text{вых}}$ при постоянном $U_{\text{вх}} = 1\text{В}$.

Пересоберём схему, изменив вид ограничителя, добавив к стабилитрону диод D2.

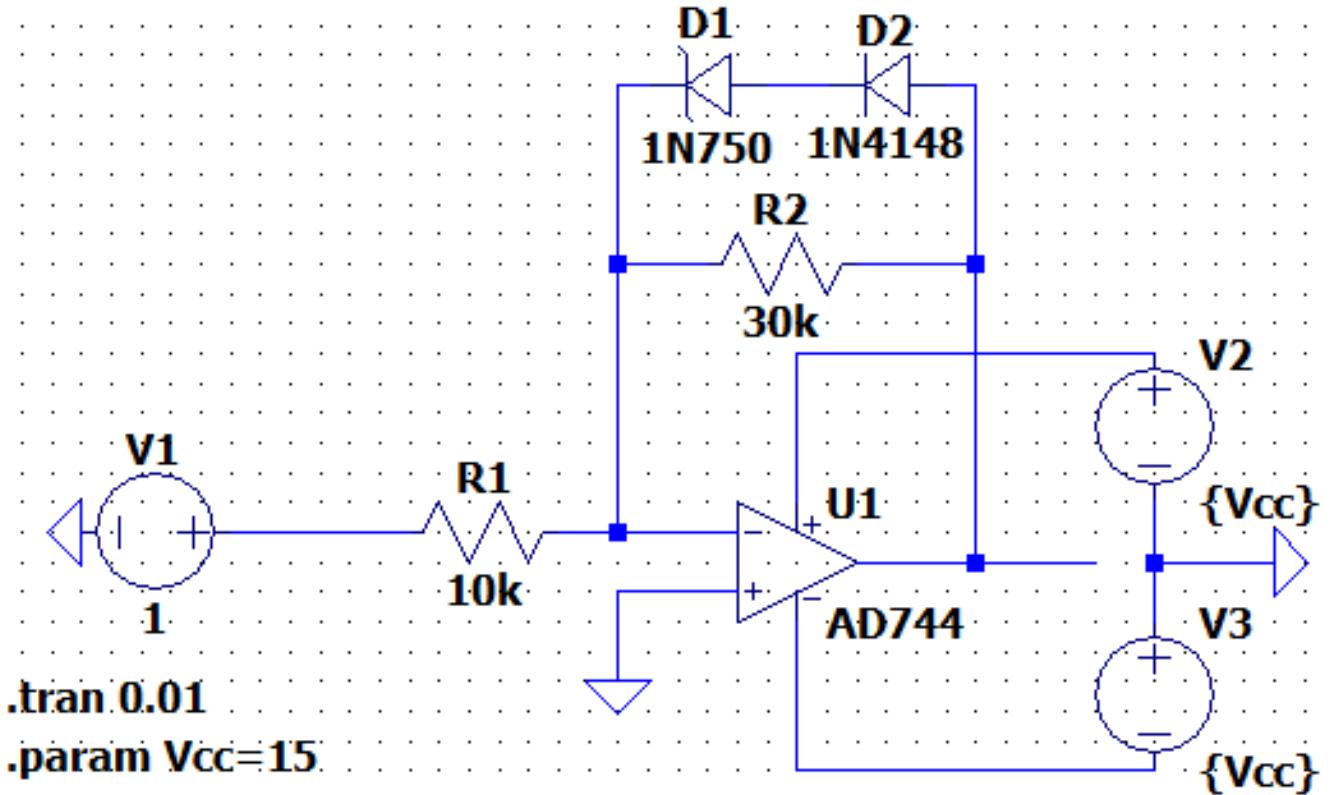


Рис 1.5. Модифицированная схема ограничителя выходного напряжения на ОУ.

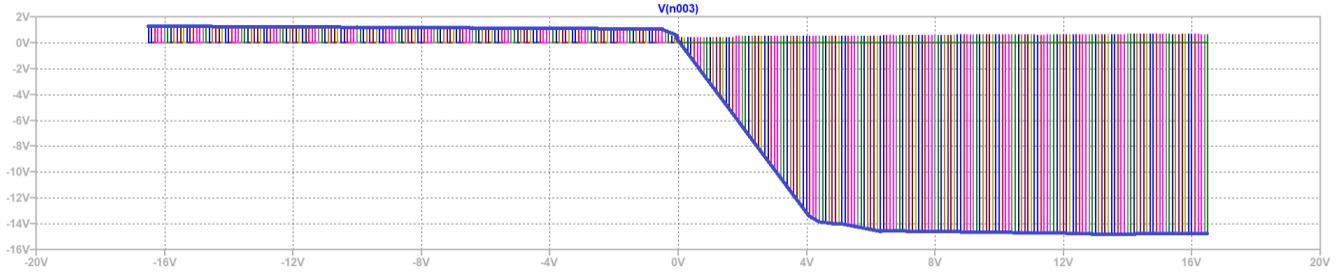


Рис 1.6. $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}} \in [-16.5\text{В}; 16.5\text{В}]$.

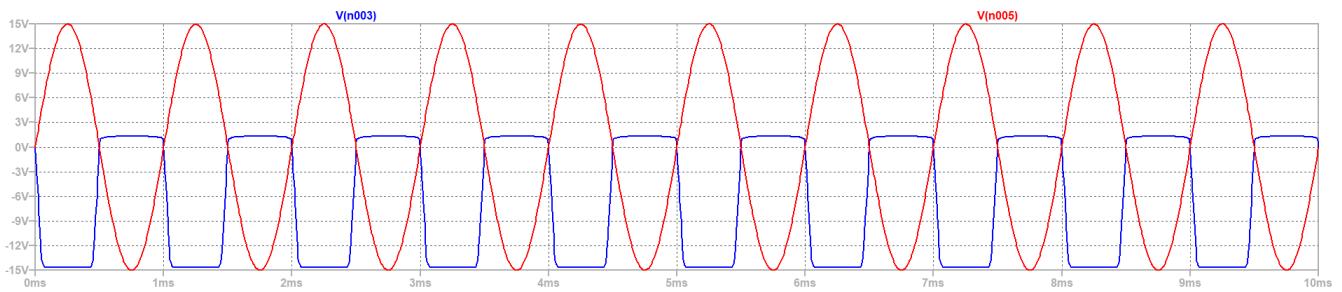


Рис 1.7. $U_{\text{вых}}$ при $U_{\text{вх}} = \text{SINE}(0\text{В}, 15\text{В}, 1000\text{Гц})$.

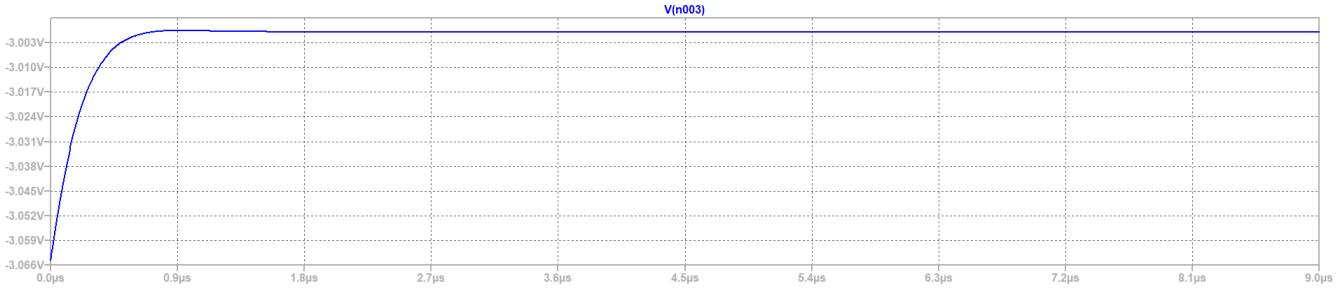


Рис 1.8. $U_{\text{вых}}$ при постоянном $U_{\text{вх}} = 1\text{В}$.

Задание №2. Исследование нуль-компаратора

Соберём схему нуль-компаратора.

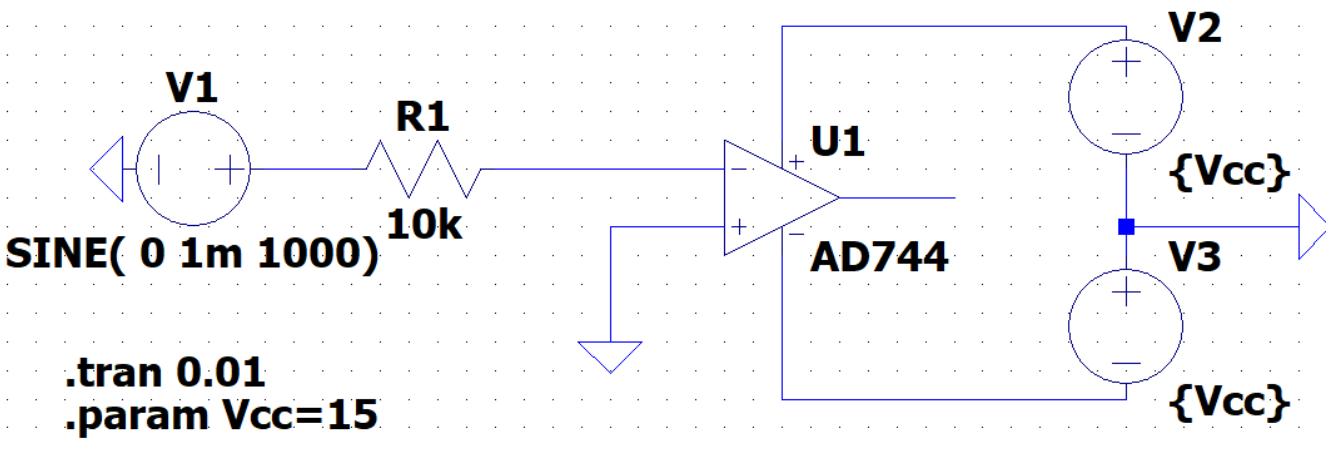


Рис 2.1. Схема нуль-компаратора.

Проведем моделирование при амплитуде входного синусоидального 1 мВ.

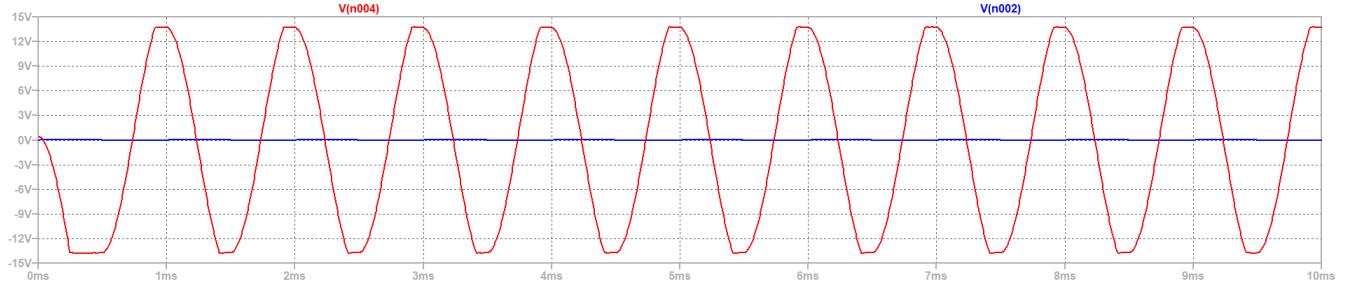


Рис 2.2. $U_{\text{вых}}$ при синусоидальном $U_{\text{вх}}$, частотой 1кГц, амплитуды 1мВ.

Теперь проведем моделирование при амплитуде входного синусоидального 1 В.

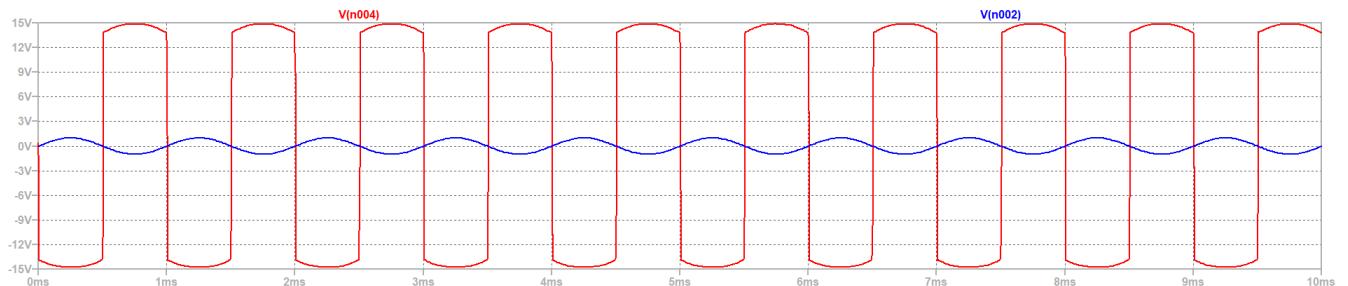


Рис 2.3. $U_{\text{вых}}$ при синусоидальном $U_{\text{вх}}$, частотой 1кГц, амплитуды 1В.

Как видим, при малых значениях амплитуды сигнал остаётся практически неизменным (константный 0), при больших – превращается в своего рода квадратную волну.

Задание №4. Исследование одновходового компаратора.

Соберём схему одновходового компаратора.

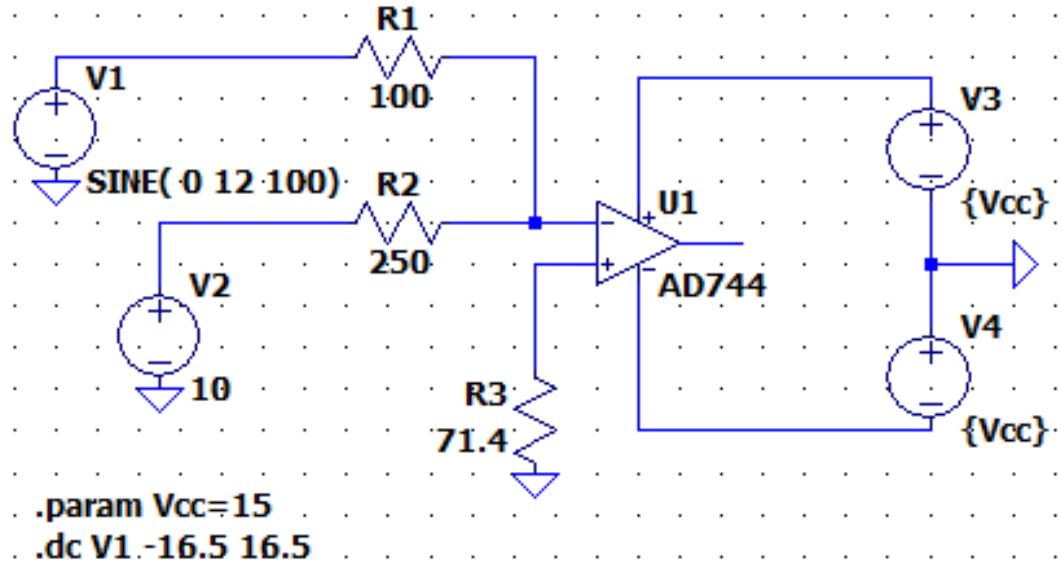


Рис 4.1. Схема одновходового компаратора.

$$U_{\text{пор}} = -4 \text{ В}, U_{\text{оп}} = 10 \text{ В}$$

$$R_1 = 100 \text{ Ом}$$

$$U_{\text{пор}} = -U_{\text{оп}} \frac{R_1}{R_2}$$

$$R_2 = -R_1 \frac{U_{\text{оп}}}{U_{\text{пор}}} = -100 \text{ Ом} * \frac{10 \text{ В}}{-4 \text{ В}} = 250 \text{ Ом}$$

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \text{ Ом} * 250 \text{ Ом}}{350 \text{ Ом}} = 71.4 \text{ Ом}$$

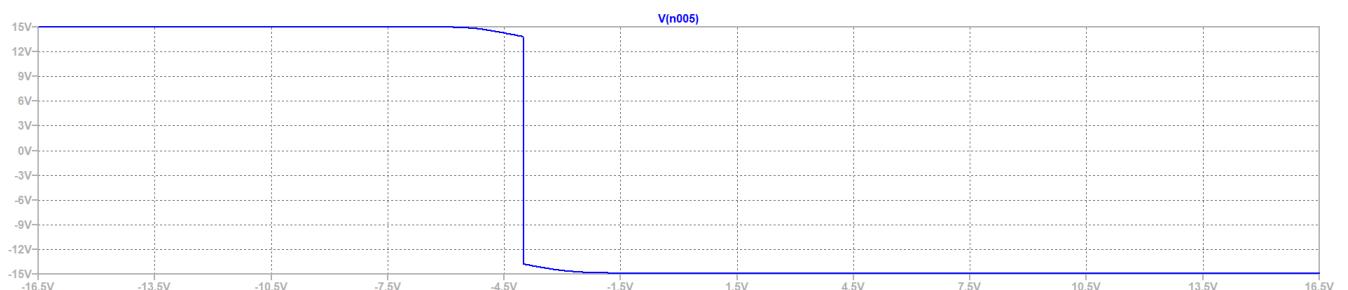


Рис 4.2. $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}} \in [-16.5 \text{ В}; 16.5 \text{ В}]$.

При $U_{\text{пор}} = 4$ происходит резкая смена полярности выходного сигнала.

5. Исследование двухходового компаратора.

Двухходовый компаратор без гистерезиса.

Соберём схему двухвходового компаратора без гистерезиса.

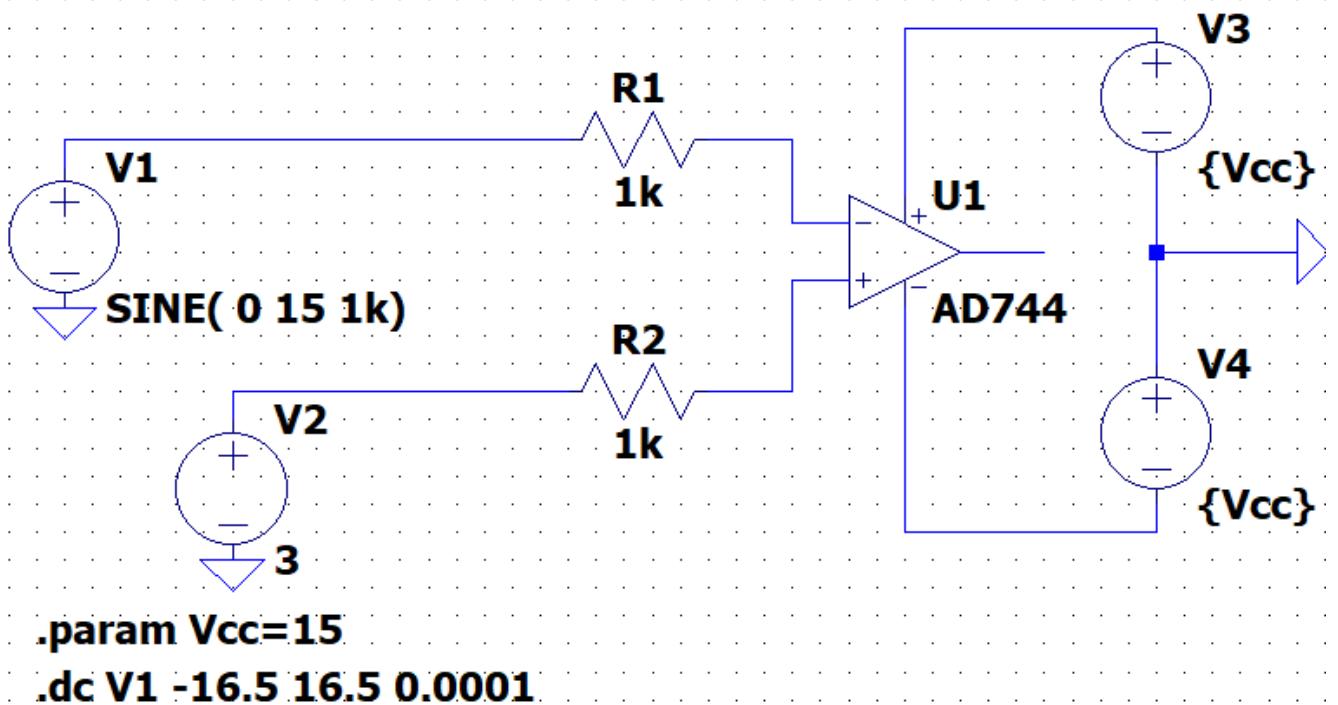


Рис 5.1. Схема двухвходового компаратора без гистерезиса.

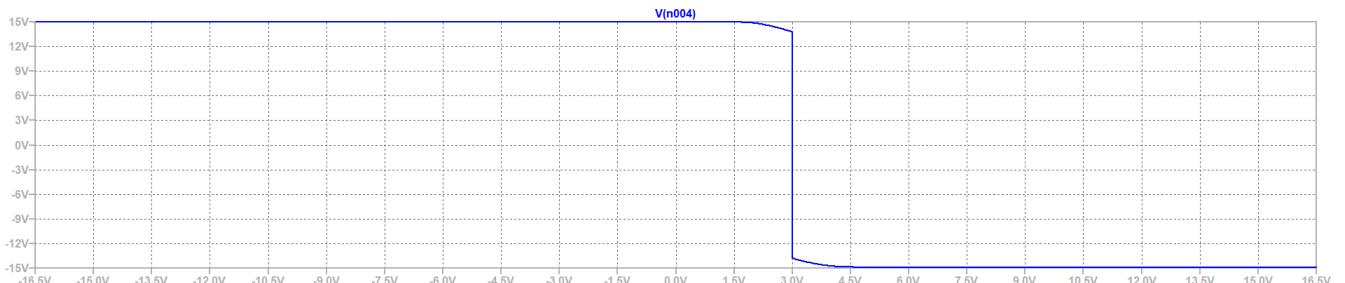
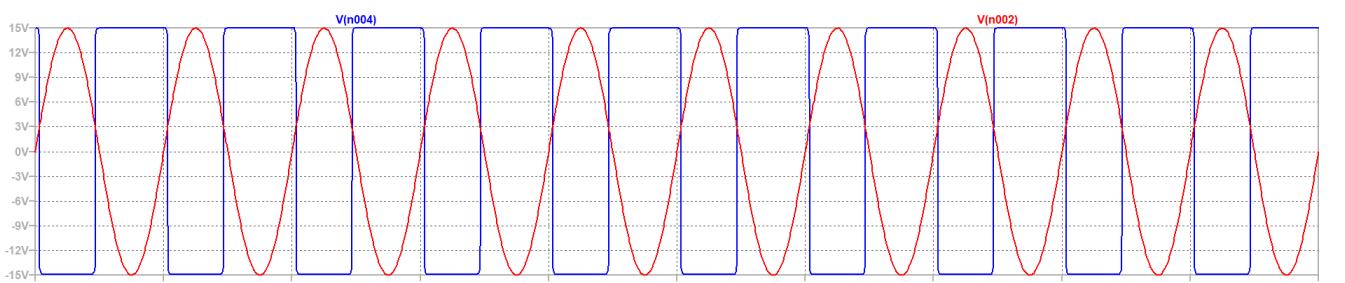


Рис 5.2. $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}} \in [-16.5\text{В}; 16.5\text{В}]$.



$U_{\text{вых}}$ при синусоидальном $U_{\text{вх}}$:

Двухходовой компаратор с гистерезисом.

Соберём схему двухходового компаратора с гистерезисом (добавим положительную обратную связь).

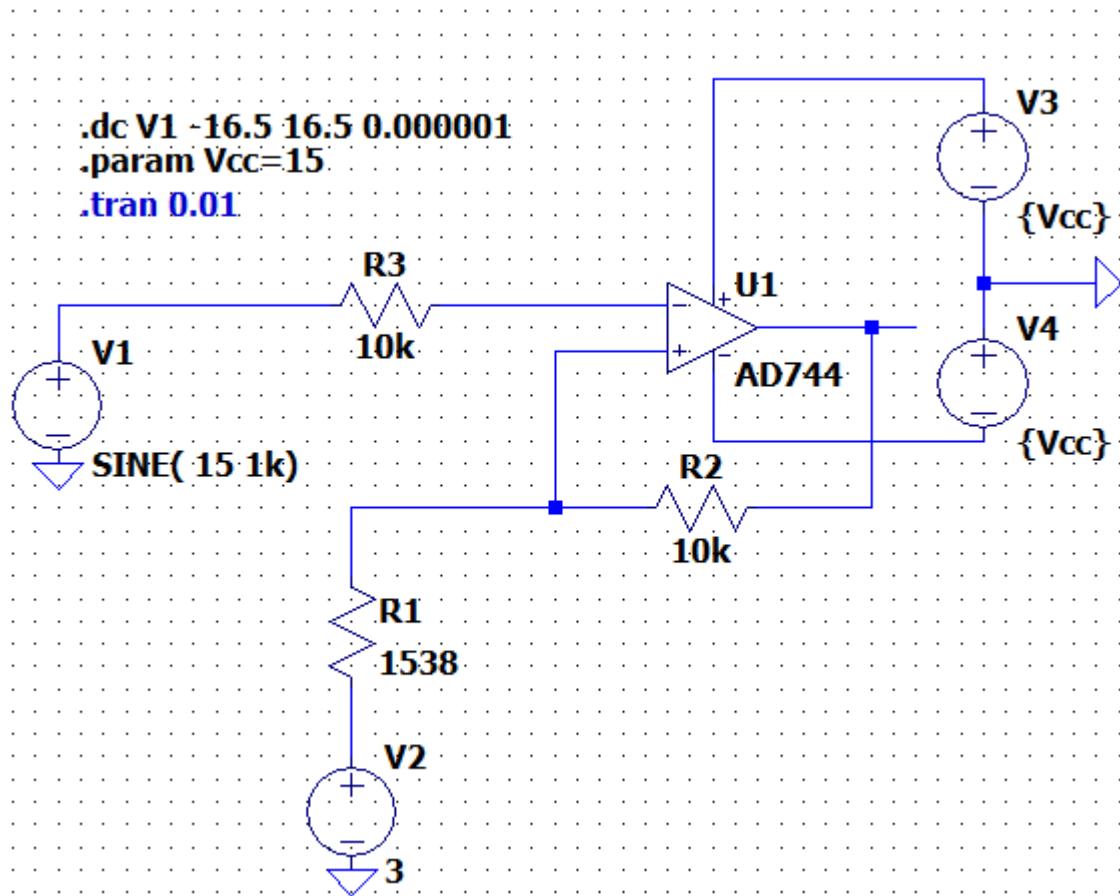


Рис 5.4. Схема двухходового компаратора с гистерезисом.

Сделаем расчёты для схемы:

$$U_{\text{оп}} = 3\text{В}, U_{\Gamma} = 4\text{В}$$

$$R_2 = 10 \text{ кОм}$$

$$U_{\text{нac+}} = 15\text{В}$$

Так как $U_{\text{нac+}} = |U_{\text{нac-}}|$

$$U_{\Gamma} = 2 \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{нac+}}$$

$$U_{\Gamma} R_1 + U_{\Gamma} R_2 = 2 R_1 U_{\text{нac+}}$$

$$R_1 = \frac{U_{\Gamma} R_2}{2 U_{\text{нac+}} - U_{\Gamma}} = \frac{4\text{В} * 10 \text{ кОм}}{2 * 15\text{В} - 4\text{В}} = 1538 \text{ Ом}$$

По построенной схеме выведем соответствующие графики:

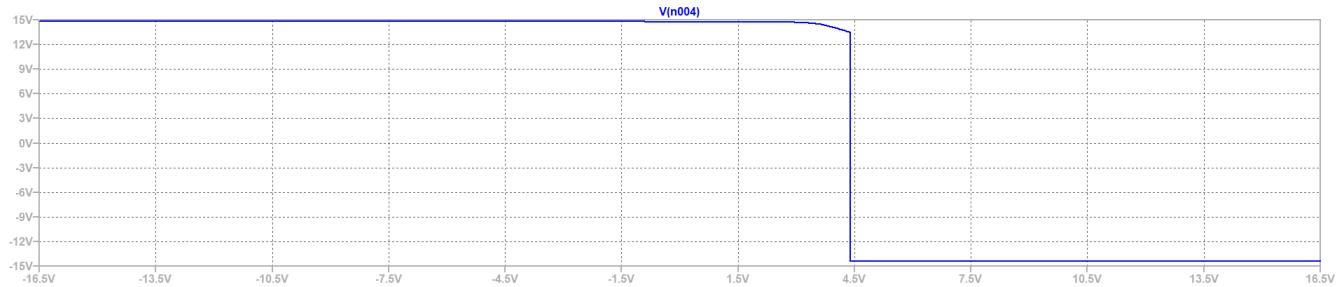


Рис 5.5. $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}} \in [-16.5\text{В}; 16.5\text{В}]$.

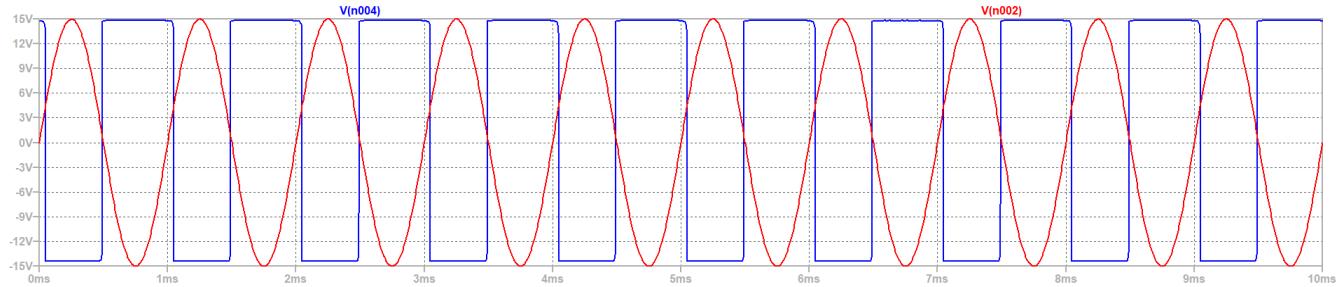


Рис 5.6. $U_{\text{вых}}$ при синусоидальном $U_{\text{вх}}$.

Триггер Шмитта.

Соберём схему триггера Шмитта.

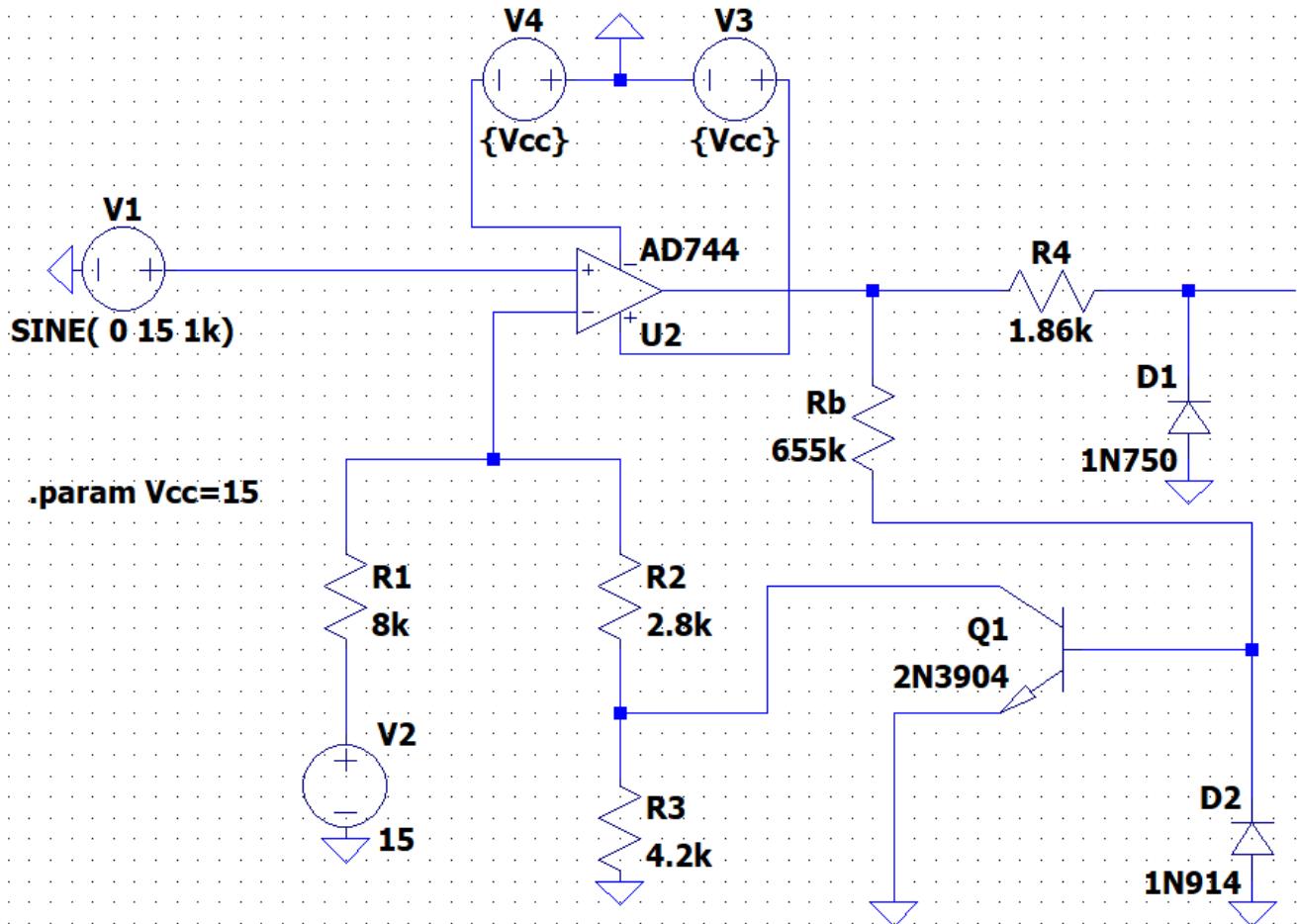


Рис 5.7. Схема триггера Шмитта.

$$U_{\text{ВТО}} = 7\text{B}, U_{\text{НТО}} = 4\text{B}$$

$$U_{\Pi} = 15\text{B} = U_{\text{ОП}}$$

$$U_{\text{Нас}} = U_{\Pi} - 1 = 14\text{B}$$

$$I_{\text{дел}} = 1 \text{ mA}$$

$$I_{\text{дел}} = 3 \text{ mA}$$

Параметры выбранного стабилитрона:

$$U_{\text{ct}} = 4.7\text{B}, I_{\text{ct}} = 2 \text{ mA}$$

Параметры выбранного транзистора:

$$U_{\text{КЭ}_{\text{проб}}} = 30\text{B}, U_{\text{КЭ}_{\text{нас}}} = 0.1\text{B}$$

$$I_{\text{K}} = 1 \text{ mA}, U_{\text{БЭ}} = 0.7\text{B}, h_{21} = 50$$

Рассчитаем характеристики схемы:

$$R_1 = \frac{U_{\text{ВТО}} + U_{\text{ОП}}}{I_{\text{дел}}} = 8 \text{ кОм}$$

$$R_2 = \frac{(U_{\text{НТО}} + U_{\text{ОП}})R_1}{U_{\text{ОП}} - U_{\text{НТО}} + U_{\text{КЭ}_{\text{нас}}}} = \frac{(4\text{B} + 15\text{B}) * 8 \text{ кОм}}{15\text{B} - 4\text{B} + 0.1\text{B}} = 2.81 \text{ кОм}$$

$$R_2 + R_3 = \frac{U_{\text{ВТО}}}{I_{\text{дел}}}, R_3 = \frac{U_{\text{ВТО}}}{I_{\text{дел}}} - R_2 = \frac{7\text{B}}{10^{-3}\text{A}} - 2810 \text{ Ом} = 4.2 \text{ кОм}$$

$$R_B = \frac{U_{\text{нас}} - U_{\text{БЭ}}}{I_{\text{дел}}} h_{21} = \frac{14\text{B} - 0.7\text{B}}{1\text{A}} 50 = 665 \text{ Ом}$$

$$R_4 = \frac{U_{\text{нас}} - U_{\text{ct}}}{I_{\text{ct}} + I_{\text{H}}} = \frac{14\text{B} - 4.7\text{B}}{2 \text{ mA} + 3 \text{ mA}} = 1.86 \text{ Ом}$$

Зависимость выходного напряжения от входного на рисунке:



Рис 5.9. $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}} \in [-16.5\text{B}; 16.5\text{B}]$.

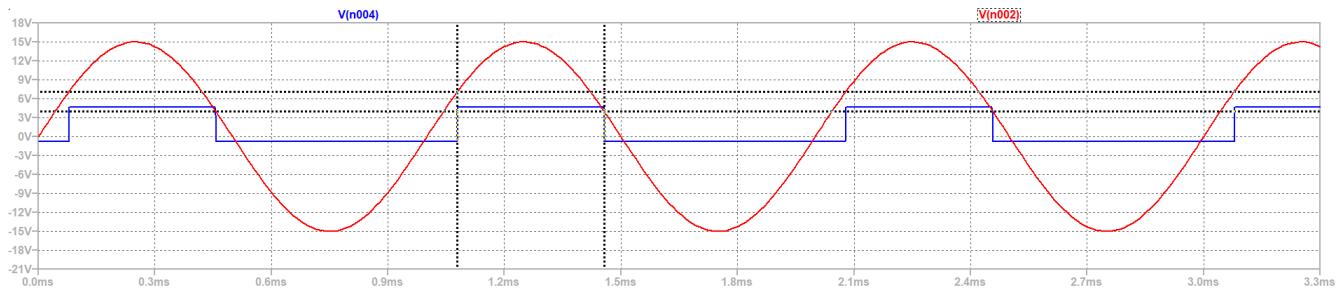


Рис 5.8. С при синусоидальном сигнале $U_{\text{вх}}$.

Активация происходит при $U_{\text{вых}} = U_{\text{ВТО}} = 7\text{В}$, а закрытие – при $U_{\text{ВТО}} = U_{\text{HTO}} = 4\text{В}$, что согласуется с расчётами.

Компаратор с окном.

Соберём схему компаратора с окном.

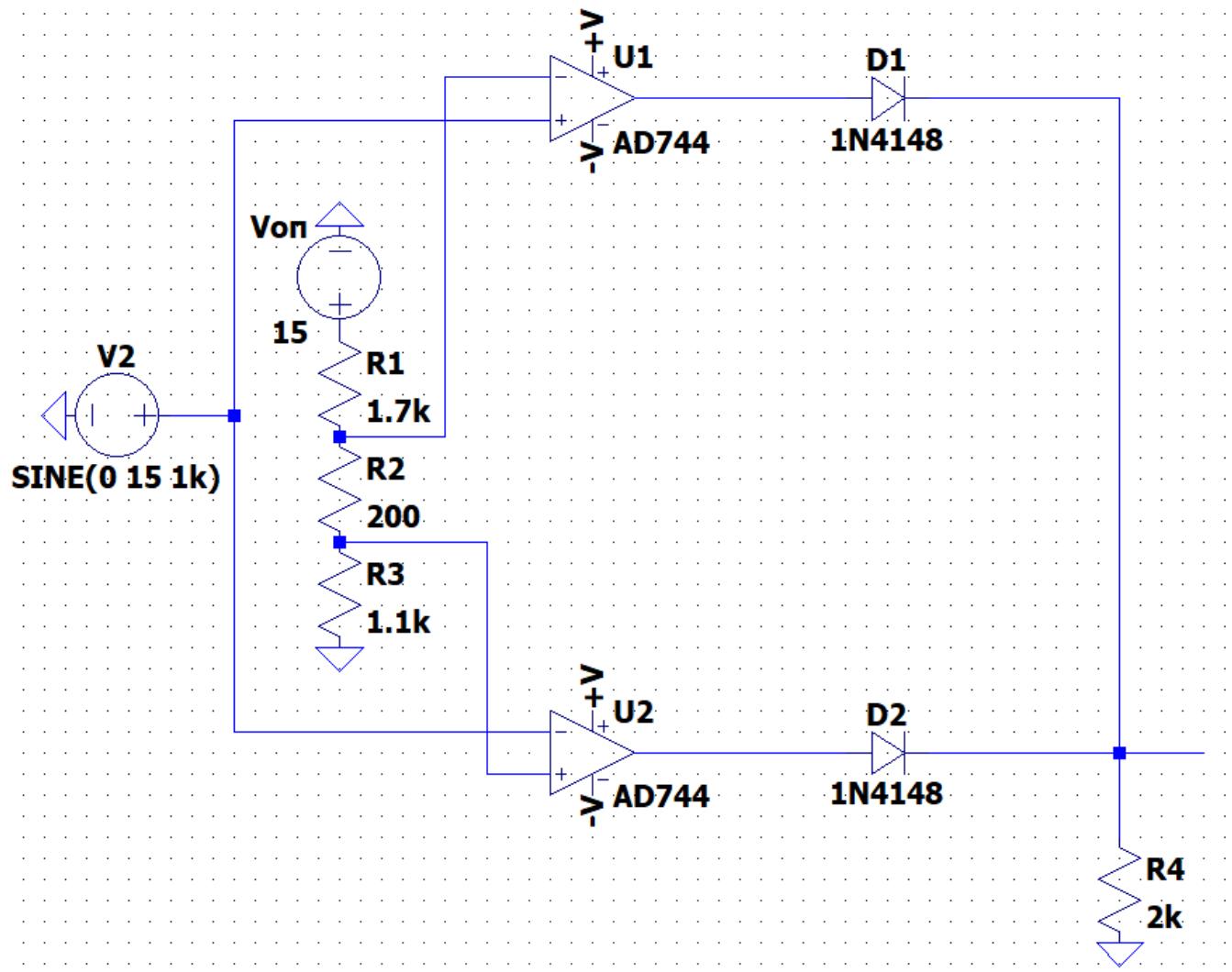


Рис 5.10. Схема компаратора с окном.

$$U_{\text{ВТО}} = 6.5\text{В}$$

$$U_{\text{HTO}} = 5.5\text{В}$$

$$U_{\text{оп}} = U_{\text{и}} = 15\text{В}$$

$$I_{\text{дел}} = 5 \text{ мА}$$

$$R_1 = \frac{U_{\text{оп}} - U_{\text{ВТО}}}{I_{\text{дел}}} = \frac{15 - 6.5}{0.005} = 1.7 \text{ кОм}$$

$$R_2 = \frac{U_{\text{ВТО}} - U_{\text{НТО}}}{I_{\text{дел}}} = \frac{6.5 - 5.5}{0.005} = 200 \text{ Ом}$$

$$R_3 = \frac{U_{\text{НТО}}}{I_{\text{дел}}} = \frac{5.5}{0.005} = 1.1 \text{ кОм}$$

Функциональная зависимость выходного напряжения от входного на рисунке

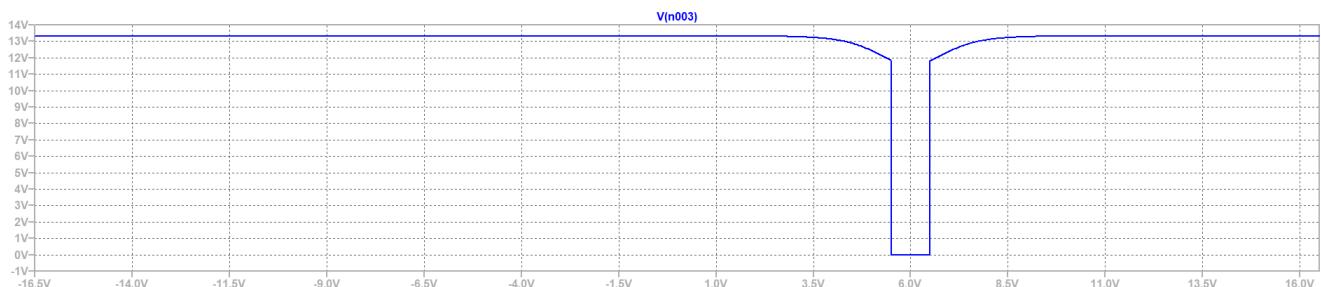


Рис 5.11. $U_{\text{вых}} \in [-16.5\text{В}; 16.5\text{В}]$.

При $U_{\text{вх}} \in [U_{\text{НТО}}; U_{\text{ВТО}}] = [5.5\text{В}; 6.5\text{В}]$ наблюдаем низкий уровень сигнала, вне этого отрезка – высокий. Условия работы компаратора выполняются.

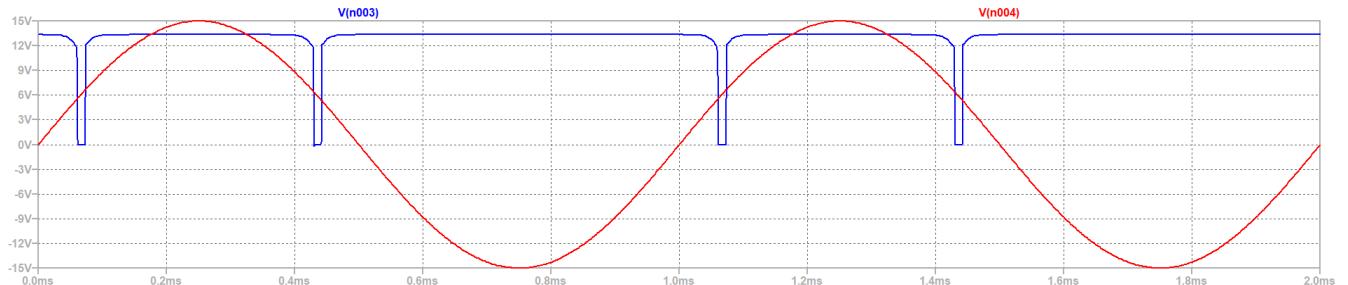


Рис 5.12. $U_{\text{вых}}$ при синусоидальном $U_{\text{вх}}$.

Вывод

В ходе лабораторной работы мы исследовали характеристики специализированных устройств, построенных на операционных усилителях.