



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:

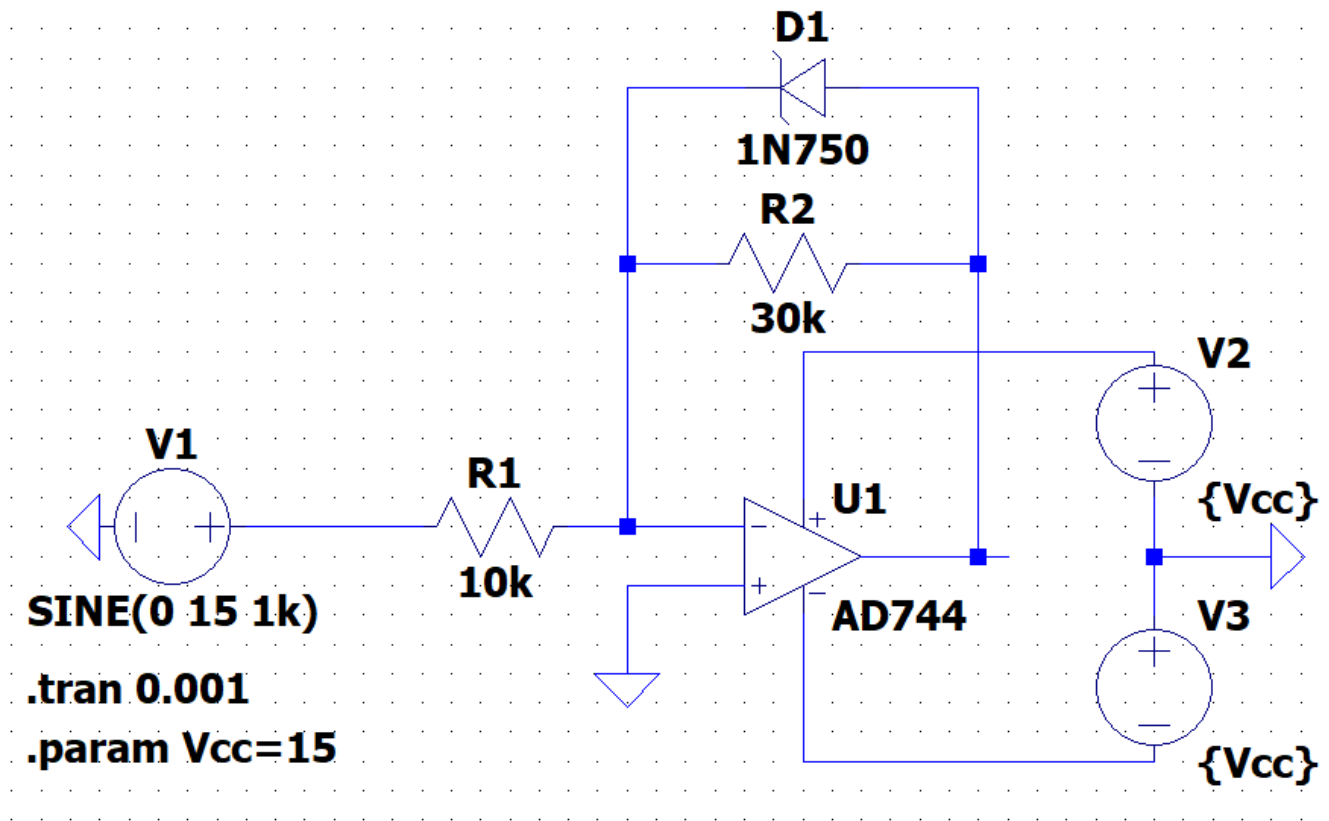


Рис 1.1 Схема ограничителя выходного напряжения на ОУ.

Согласно данному варианту:

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

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

Снимем зависимость напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ от $U_{\text{ВХ}} \in [-1.1V_{\text{cc}}; 1.1V_{\text{cc}}] = [-16.5; 16.5]$

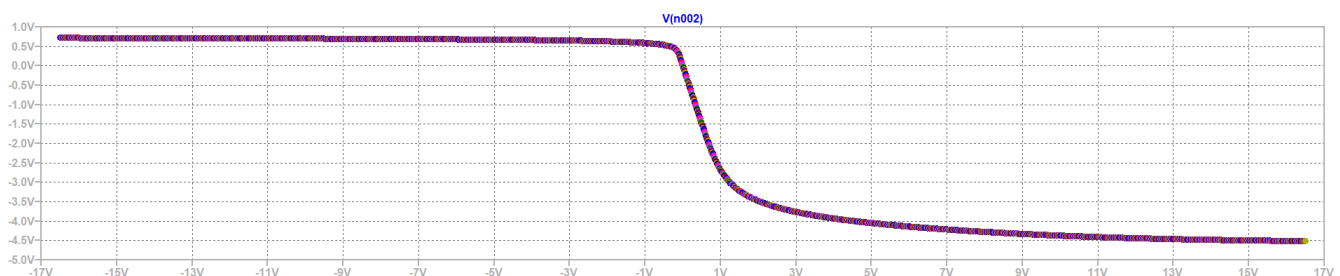


Рис 1.2. Зависимость $U_{\text{ВЫХ}}$ от $U_{\text{ВХ}} \in [-16.5\text{В}; 16.5\text{В}]$.

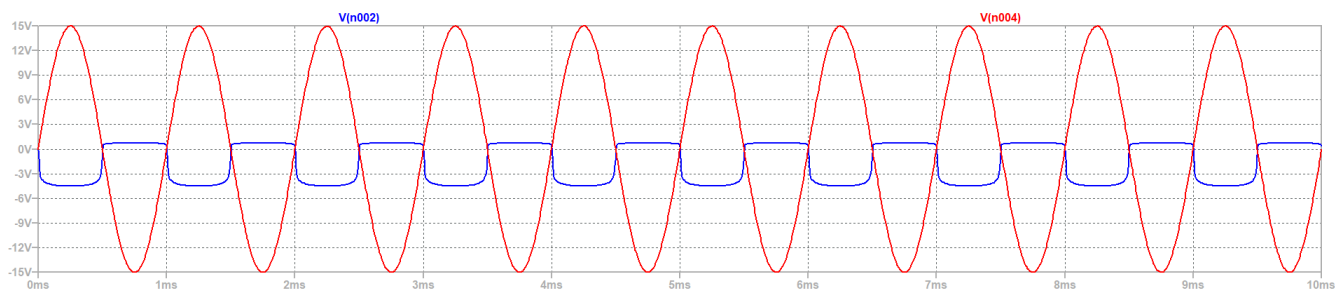


Рис 1.3. $U_{\text{ВЫХ}}$ при синусоидальном $U_{\text{ВХ}}$.

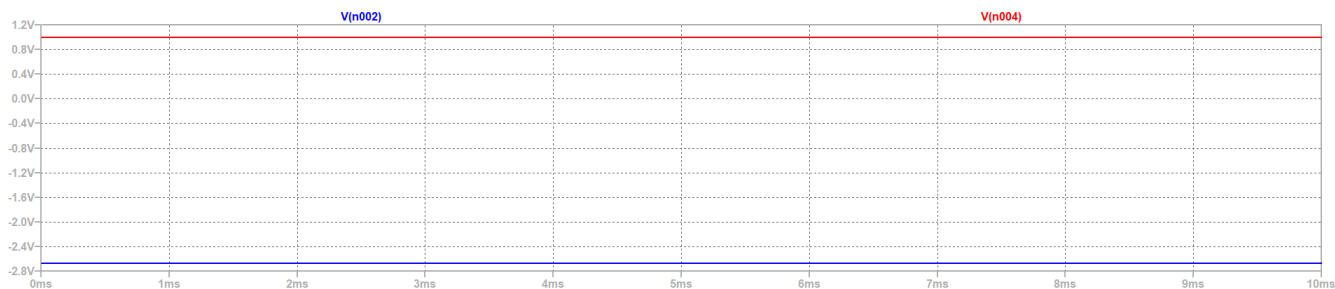


Рис 1.4. $U_{\text{ВЫХ}}$ при постоянном $U_{\text{ВХ}} = 1\text{В}$.

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

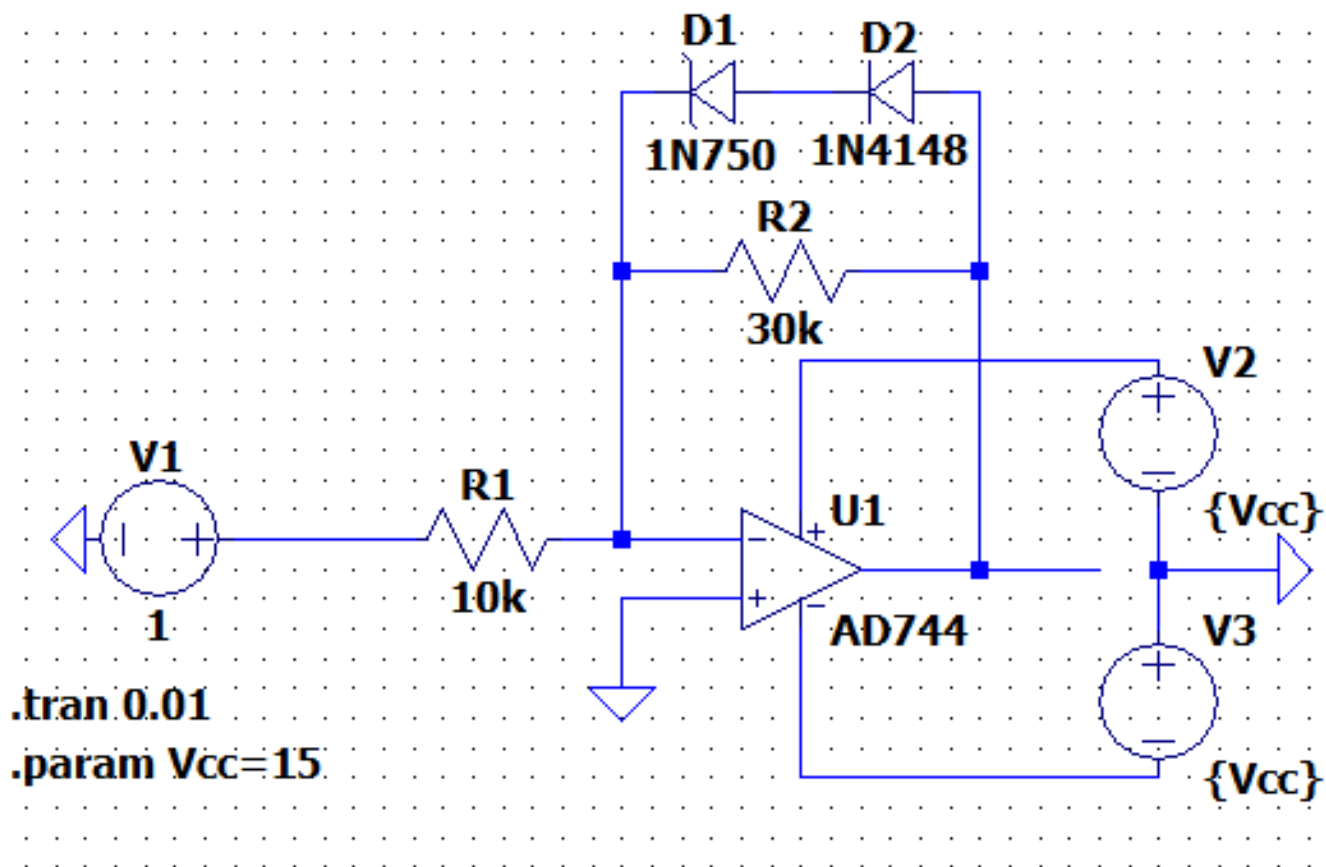


Рис 1.5. Модифицированная схема ограничителя выходного напряжения на ОУ.

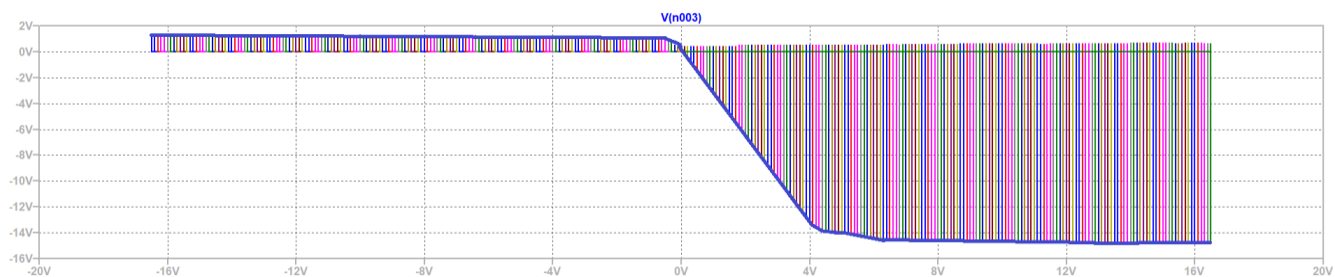


Рис 1.6. $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}} \in [-16.5\text{В}; 16.5\text{В}]$.

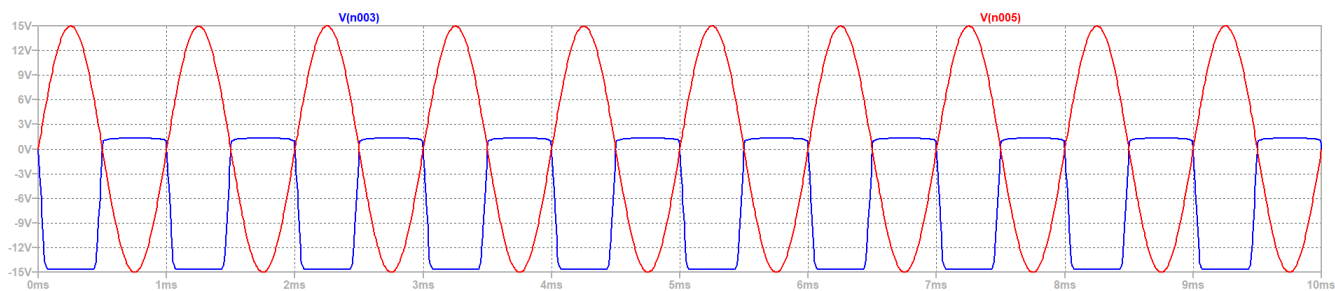


Рис 1.7. $U_{\text{вых}}$ при $U_{\text{вх}} = \text{SINE}(0\text{В}, 15\text{В}, 1000\text{Гц})$.

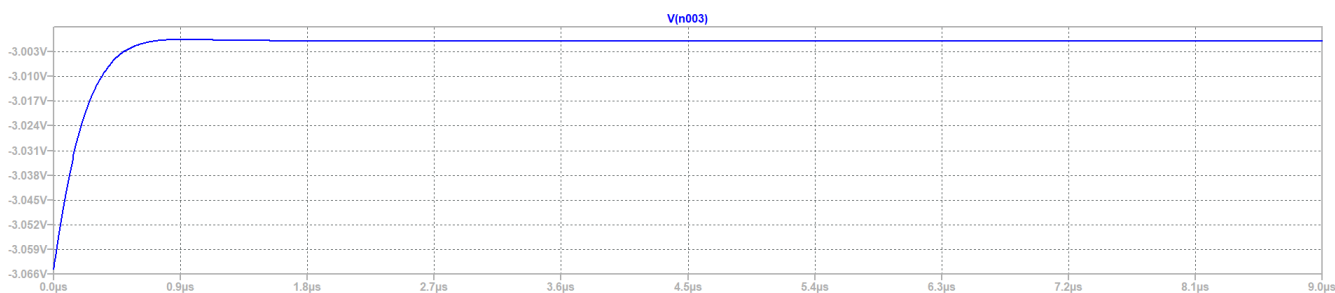


Рис 1.8. $U_{\text{вых}}$ при постоянном $U_{\text{вх}} = 1\text{В}$.

Задание №2. Исследование нуля-компаратора

Соберём схему нуля-компаратора.

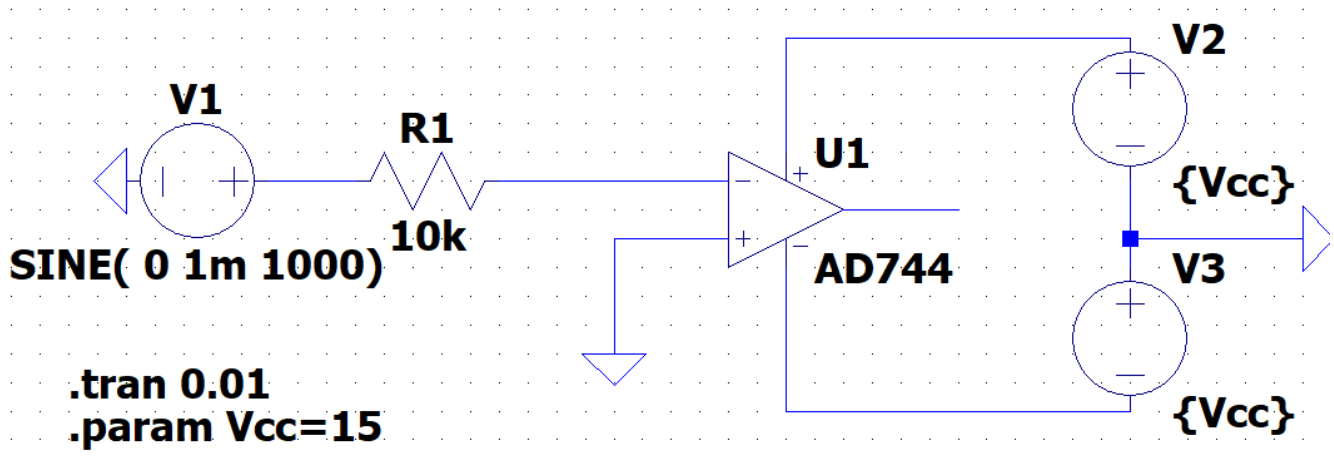


Рис 2.1. Схема нуля-компаратора.

Проведем моделирование при амплитуде входного синусоидального 1 мВ.

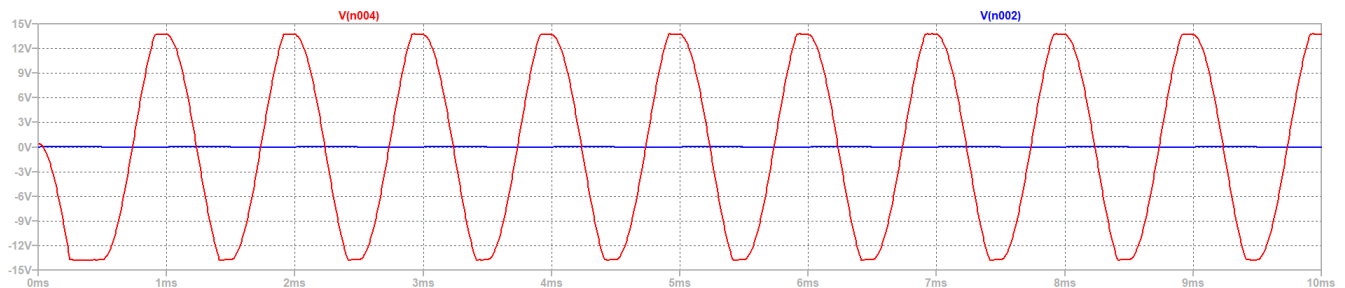


Рис 2.2. $U_{\text{ВЫХ}}$ при синусоидальном $U_{\text{ВХ}}$, частотой 1кГц, амплитуды 1мВ.

Теперь проведем моделирование при амплитуде входного синусоидального 1 В.

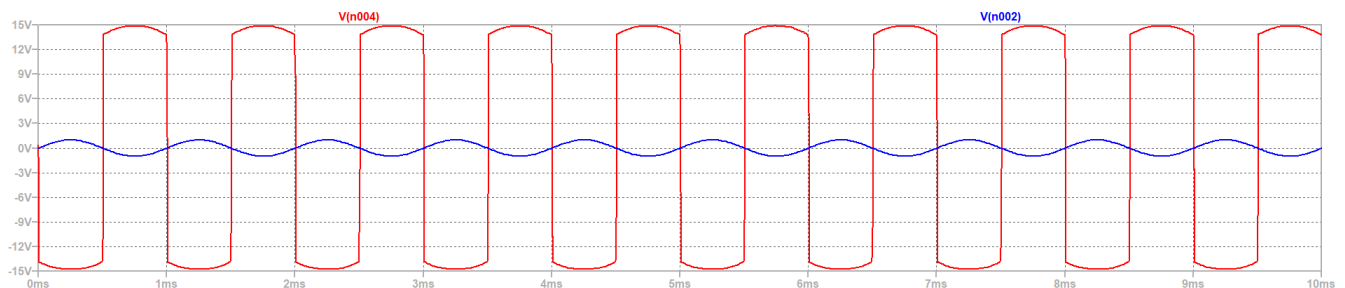


Рис 2.3. $U_{\text{ВЫХ}}$ при синусоидальном $U_{\text{ВХ}}$, частотой 1кГц, амплитуды 1В.

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

Задание №4. Исследование одноходового компаратора.

Соберём схему одноходового компаратора.

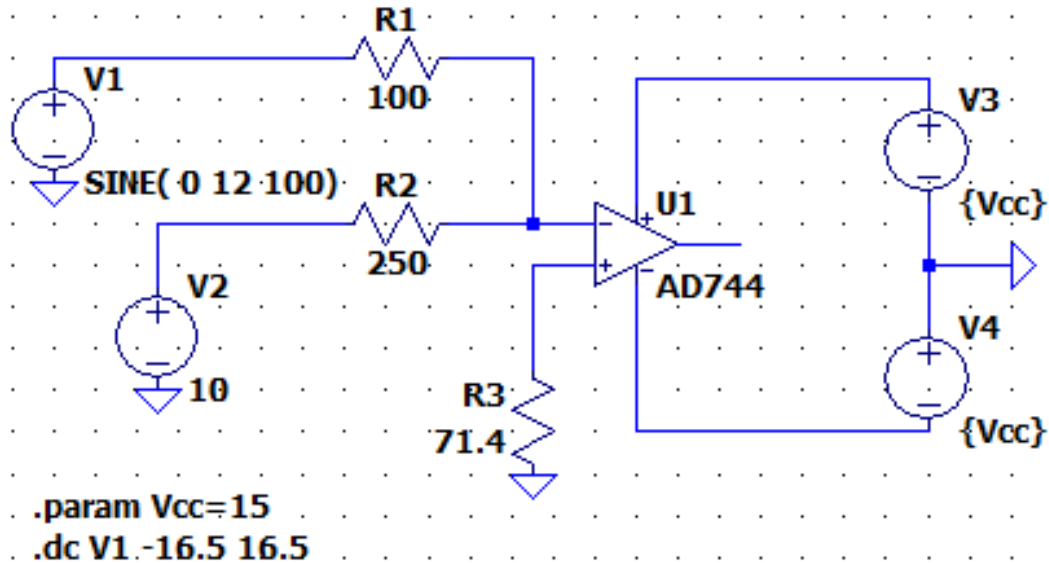


Рис 4.1. Схема одноходового компаратора.

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

$$R_1 = 100 \text{ Ом}$$

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

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

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

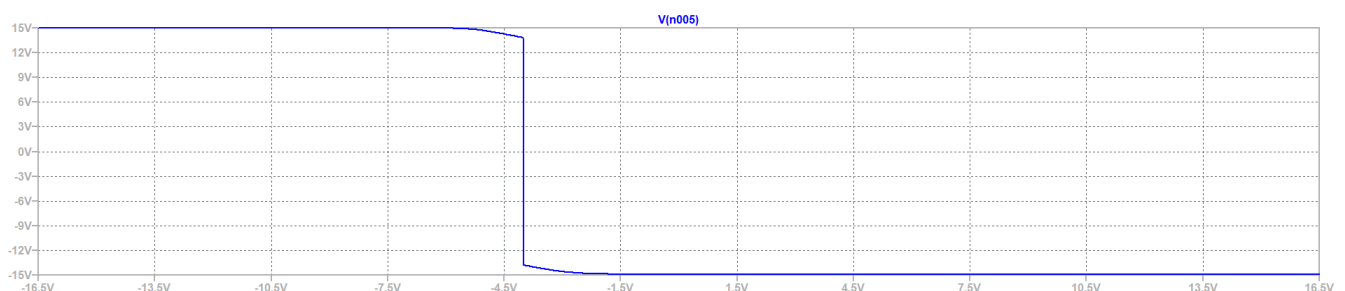


Рис 4.2. $U_{\text{ВЫХ}}$ от $U_{\text{ВХ}} \in [-16.5\text{В}; 16.5\text{В}]$.

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

5. Исследование двухвходового компаратора.

Двухвходовой компаратор без гистерезиса.

Соберём схему двухвходового компаратора без гистерезиса.

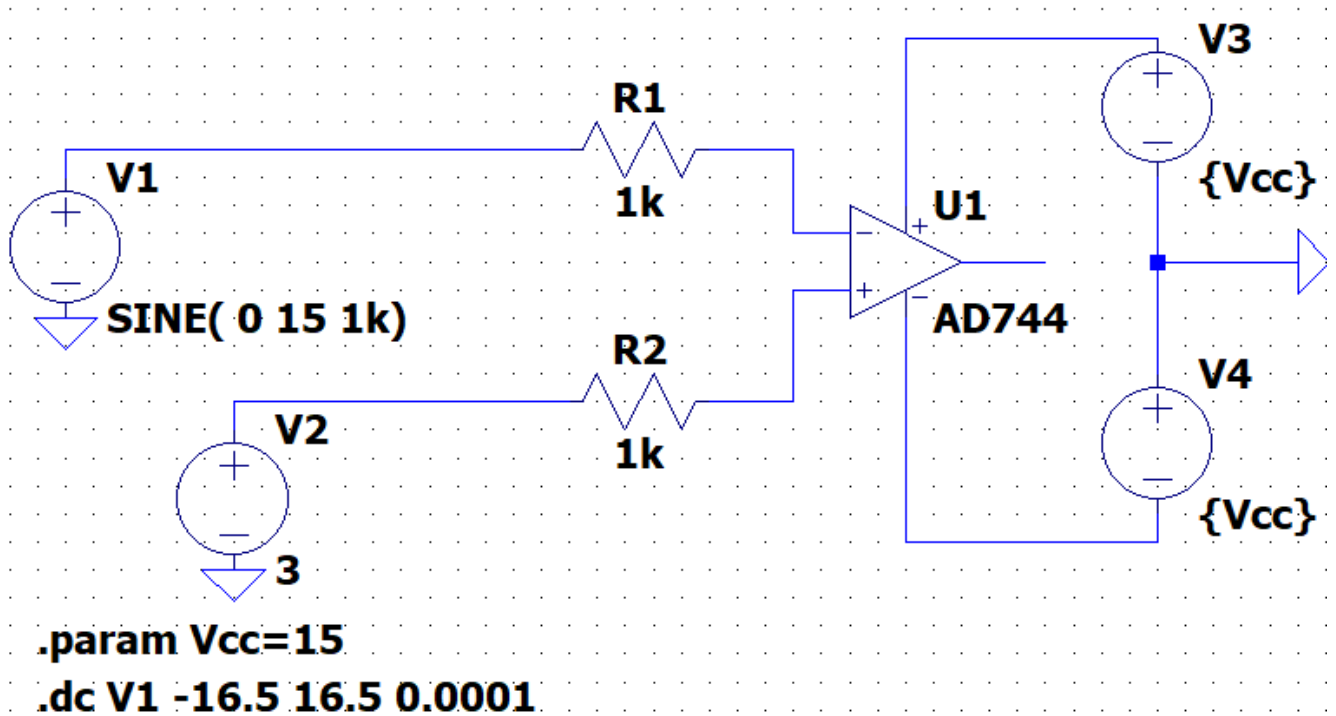


Рис 5.1. Схема двухвходового компаратора без гистерезиса.

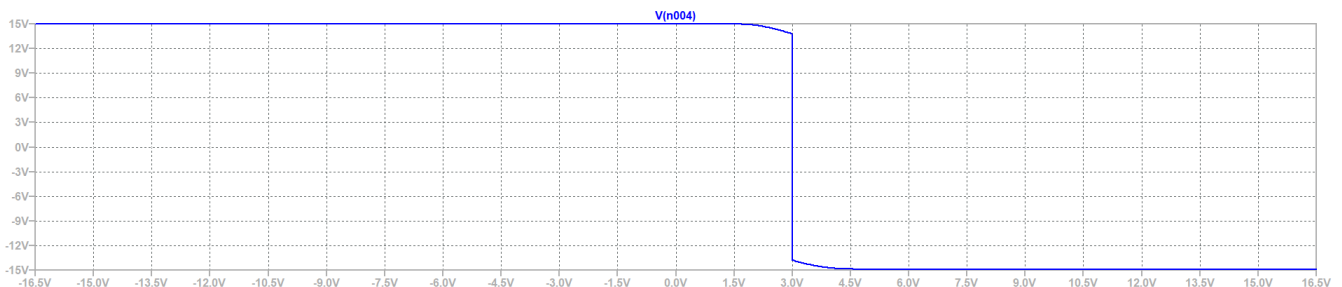
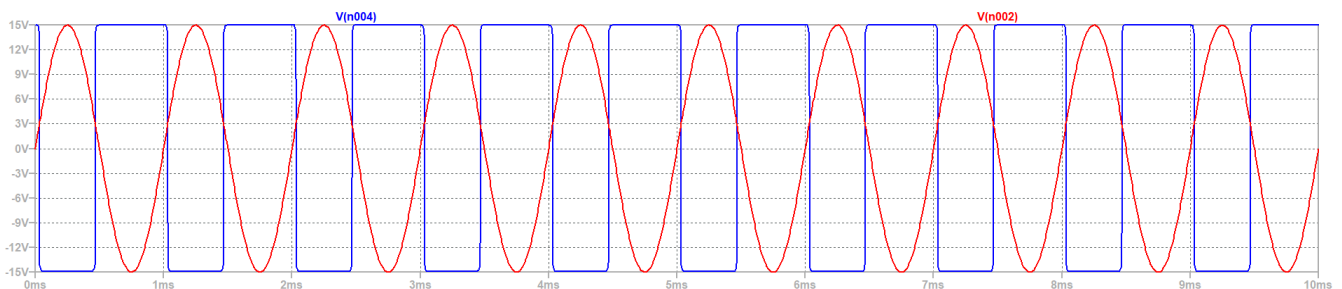


Рис 5.2. $U_{ВЫХ}$ от $U_{ВХ} \in [-16.5В; 16.5В]$.



$U_{ВЫХ}$ при синусоидальном $U_{ВХ}$.

Двухвходовый компаратор с гистерезиса.

Соберём схему двухвходового компаратора с гистерезиса (добавим положительную обратную связь).

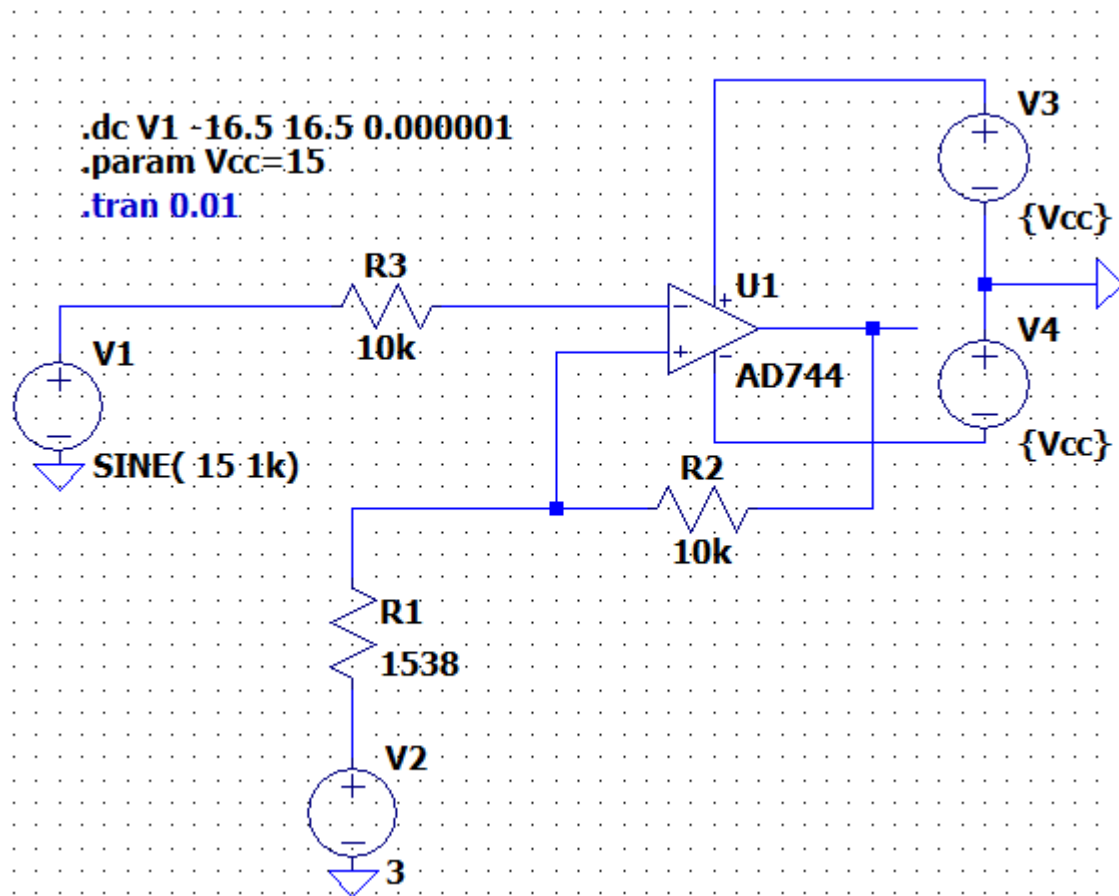


Рис 5.4. Схема двухвходового компаратора с гистерезиса.

Сделаем расчёты для схемы:

$$U_{0\Pi} = 3B, U_{\Gamma} = 4B$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$U_{\text{нас+}} = 15\text{В}$$

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

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

$$U_{\Gamma}R_1 + U_{\Gamma}R_2 = 2R_1U_{\text{Hac}+}$$

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

По построенной схеме выведем соответствующие графики:

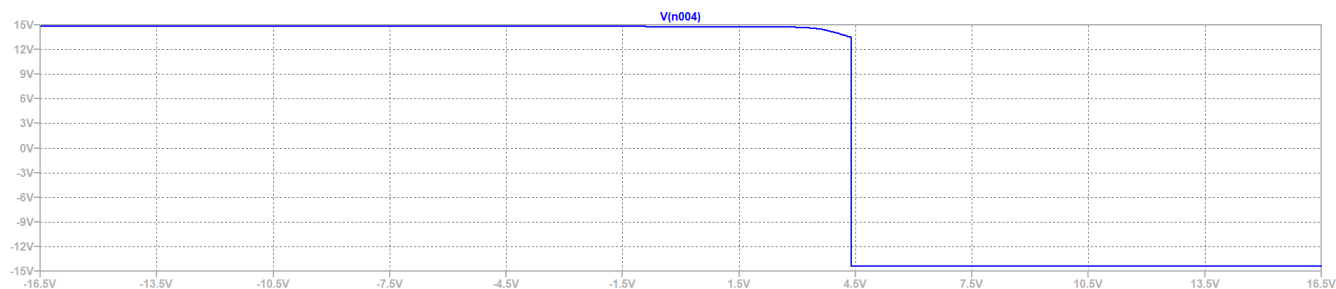


Рис 5.5. $U_{\text{ВЫХ}}$ от $U_{\text{ВХ}} \in [-16.5\text{В}; 16.5\text{В}]$.

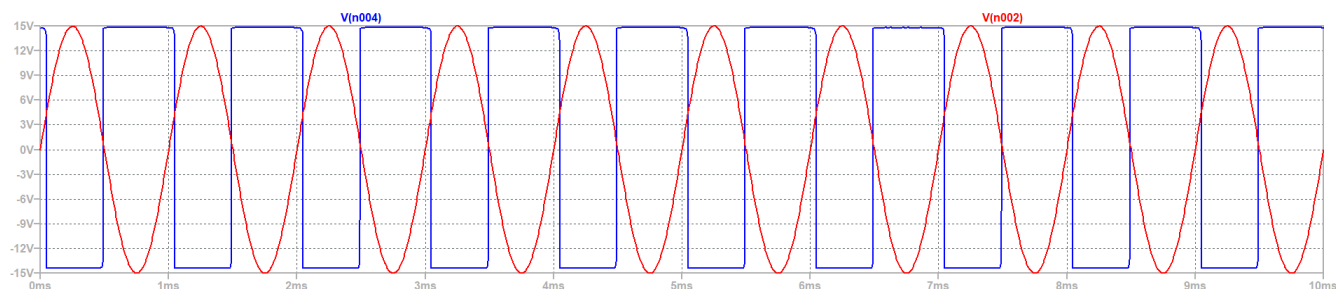


Рис 5.6. $U_{\text{ВЫХ}}$ при синусоидальном $U_{\text{ВХ}}$.

Триггер Шмитта.

Соберём схему триггера Шмитта.

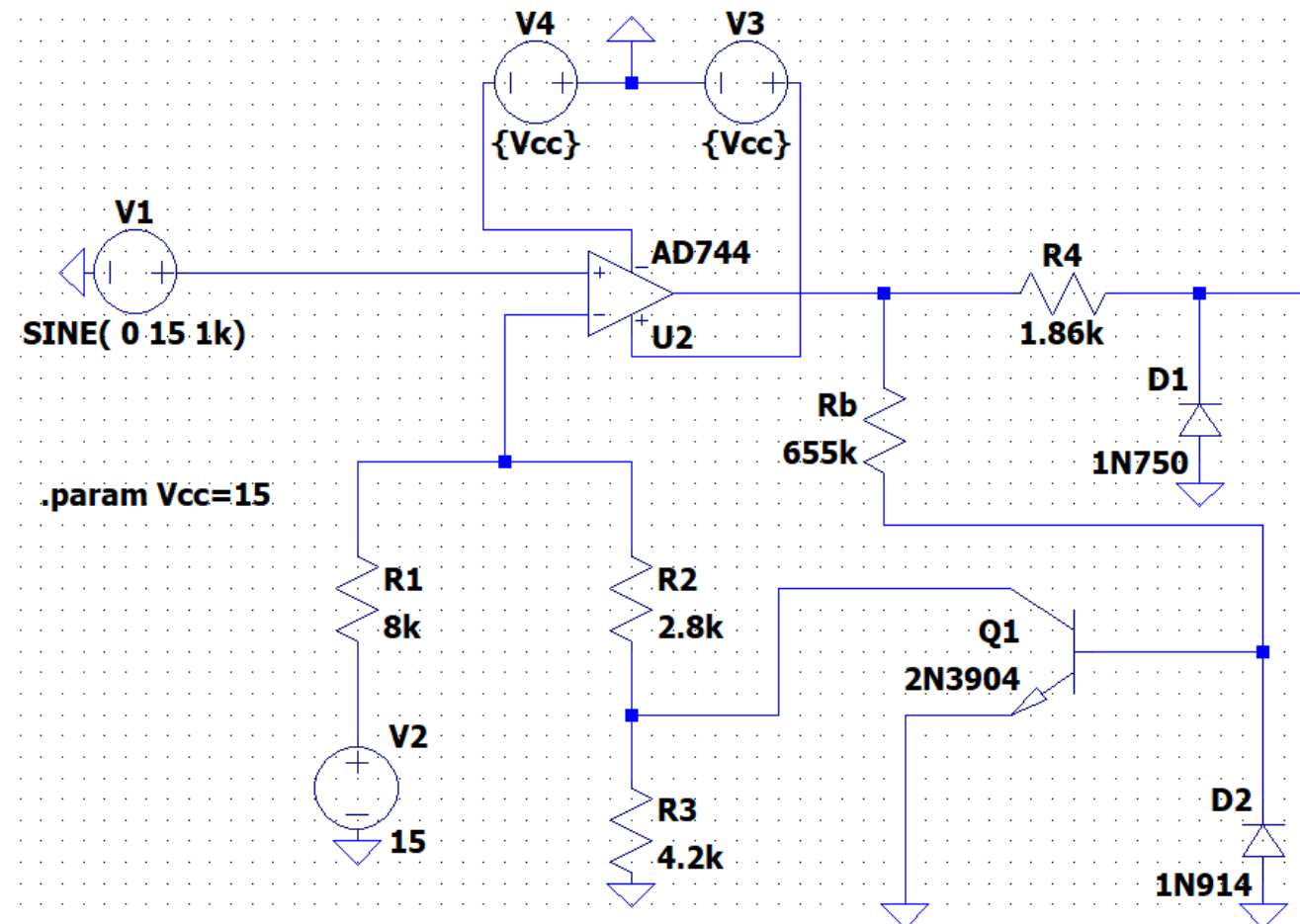


Рис 5.7. Схема триггера Шмитта.

$$U_{ВТО} = 7В, U_{НТО} = 4В$$

$$U_{П} = 15В = U_{ОП}$$

$$U_{нас} = U_{П} - 1 = 14В$$

$$I_{дел} = 1 мА$$

$$I_{дел} = 3 мА$$

Параметры выбранного стабилитрона:

$$U_{ст} = 4.7В, I_{ст} = 2мА$$

Параметры выбранного транзистора:

$$U_{КЭпроб} = 30В, U_{КЭнас} = 0.1В$$

$$I_{к} = 1мА, U_{БЭ} = 0.7В, h_{21} = 50$$

Рассчитаем характеристики схемы:

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

$$R_2 = \frac{(U_{НТО} + U_{ОП})R_1}{U_{ОП} - U_{НТО} + U_{КЭнас}} = \frac{(4В + 15В) * 8 кОм}{15В - 4В + 0.1В} = 2.81 кОм$$

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

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

$$R_4 = \frac{U_{нас} - U_{ст}}{I_{ст} + I_{н}} = \frac{14В - 4.7В}{2мА + 3мА} = 1.86 Ом$$

Зависимость выходного напряжения от входного на рисунке:

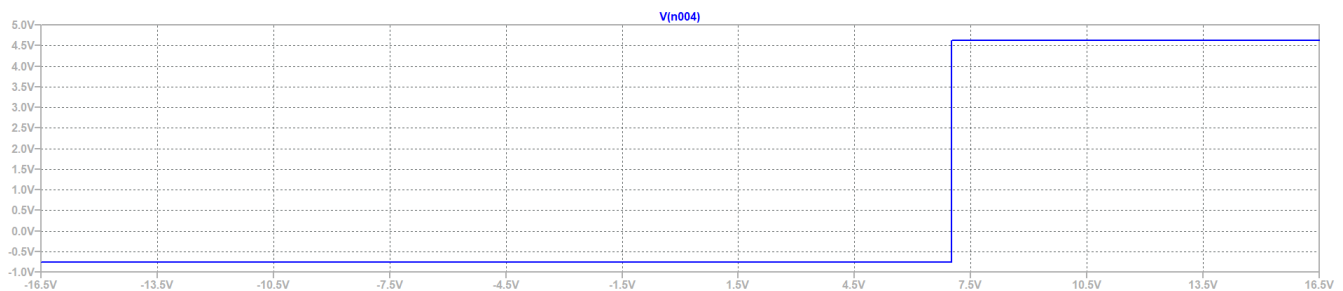


Рис 5.9. $U_{ВЫХ}$ от $U_{ВХ} \in [-16.5В; 16.5В]$.

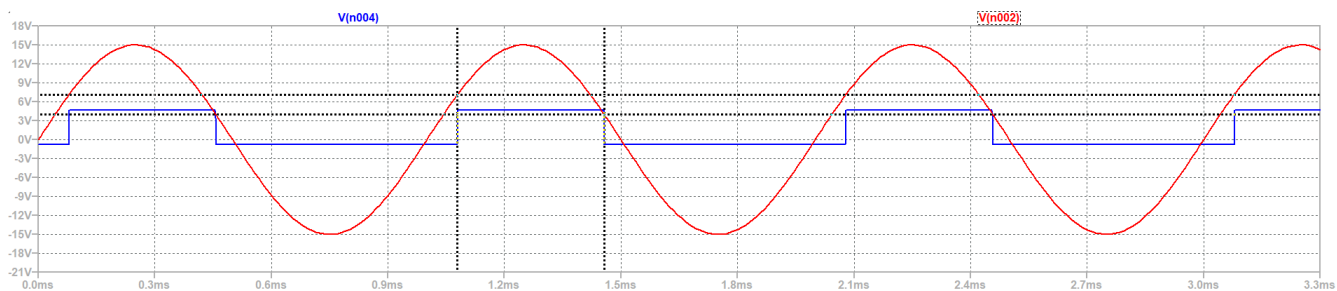


Рис 5.8. С при синусоидальном сигнале U_{BX} .

Активация происходит при $U_{ВЫХ} = U_{ВТО} = 7В$, а закрытие – при $U_{ВТО} = U_{НТО} = 4В$, что согласуется с расчётами.

Компаратор с окном.

Соберём схему компаратора с окном.

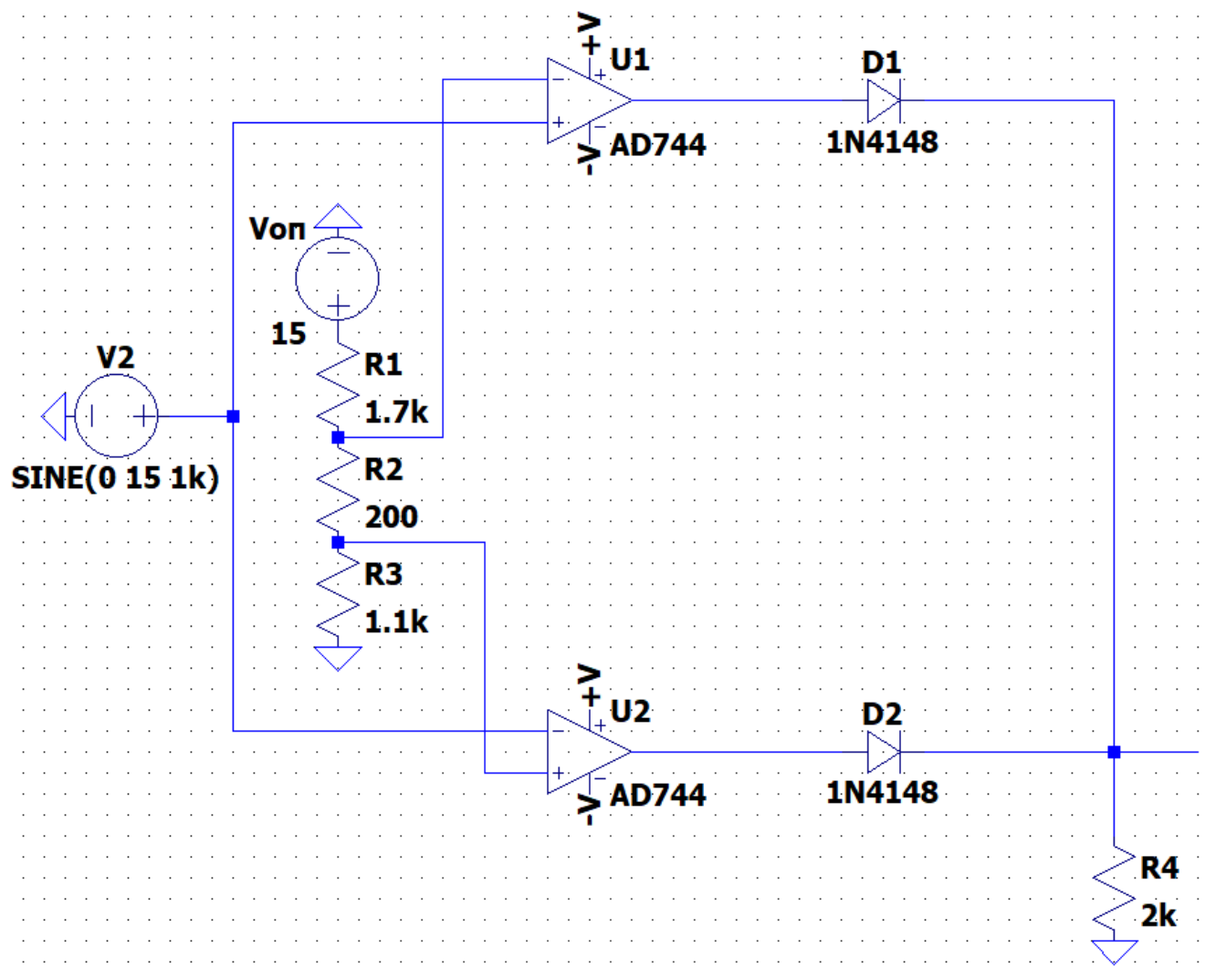


Рис 5.10. Схема компаратора с окном.

$$U_{ВТО} = 6.5В$$

$$U_{НТО} = 5.5В$$

$$U_{оп} = U_{п} = 15В$$

$$I_{\text{дел}} = 5 \text{ мА}$$

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

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

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

Функциональная зависимость выходного напряжения от входного на рисунке

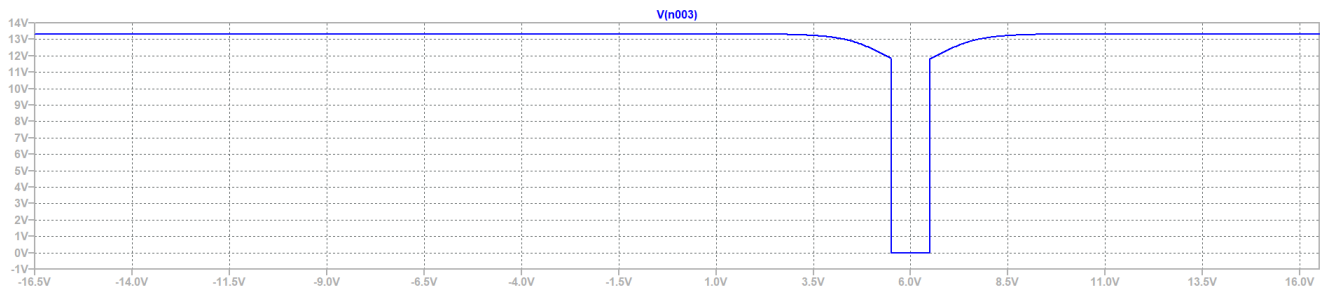


Рис 5.11. $U_{\text{ВЫХ}}$ от $U_{\text{ВХ}} \in [-16.5\text{В}; 16.5\text{В}]$.

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.

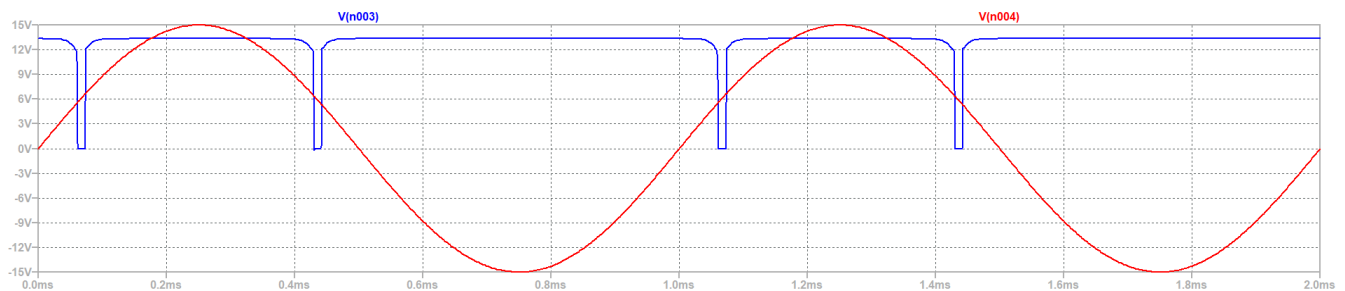


Рис 5.12. $U_{\text{ВЫХ}}$ при синусоидальном $U_{\text{ВХ}}$.

Вывод

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