

БГУИР

Кафедра ЭВМ

Отчет по лабораторной работе № 4

Тема: «Исследование характеристик аналоговых компараторов  
напряжения»

Выполнил:  
студент группы 150501 Божко И.И.

Проверил:  
к.т.н., доцент Селезнёв И.Л.

Минск  
2023

## 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить работу аналоговых компараторов напряжения.

## 2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

В ходе выполнения работы будут использованы базовый лабораторный стенд с аналоговым компаратором напряжения LM324, а также лабораторный модуль Lab7A.

Список задач для лабораторной работы выглядит следующим образом:

- 1 Получить передаточную характеристику однопорогового компаратора.
- 2 Исследовать работу однопорогового компаратора.
- 3 Получить передаточную характеристику гистерезисного компаратора.
- 4 Исследовать работу гистерезисного компаратора.

## 3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 3.1 Устройство и принцип работы аналогового компаратора

Компаратором называется устройство сравнения двух аналоговых сигналов, один из которых может быть задан как эталонный. При этом на выходе устройства формируются только два значения выходного сигнала: напряжение на выходе будет иметь высокий уровень  $U_V$ , если разность между входными сигналами положительна и, наоборот, низкий уровень  $U_H$ , если разностное напряжение отрицательно. Эти условия записываются следующим образом:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \left\{ \begin{array}{l} U_V \text{ при } U_{\text{ВХ1}} > U_{\text{ВХ2}} \text{ или } \Delta U_{\text{ВХ}} > 0 \\ U_H \text{ при } U_{\text{ВХ1}} < U_{\text{ВХ2}} \text{ или } \Delta U_{\text{ВХ}} < 0 \end{array} \right\}$$

В общем случае напряжение  $U_{\text{ВЫХ}}$  может отличаться как по величине, так и по знаку. На практике наибольшее распространение получили устройства, формирующие на выходе либо напряжения противоположной полярности при практически равных абсолютных значениях, либо напряжения одной полярности. Первый случай характерен для использования в качестве схемы сравнения операционного усилителя (ОУ), второй - при использовании специализированных интегральных схем. Во втором случае выходные напряжения компаратора согласованы по величине и полярности с сигналами, используемым и в цифровой технике.

Поэтому можно сказать, что входной сигнал компаратора носит аналоговый характер, а выходной - цифровой. Вследствие этого компараторы часто используются в качестве элементов связи между аналоговым и цифровым и устройствами.

На рисунке 3.1 приведена схема инвертирующего усилителя без обратной связи и его передаточная характеристика.

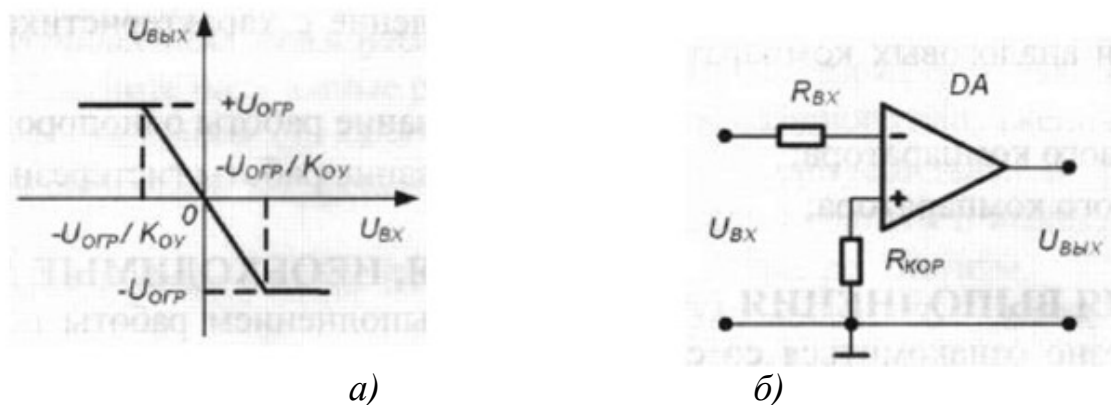


Рисунок 3.1 - Схема инвертирующего усилителя (б) и его передаточная характеристика (а)

При нарушении условия ОУ переходит в режим ограничения, и выходное напряжение может принимать одно из двух предельных значений:  $U_{\text{В}} = U_{\text{ОГР}+}$  или  $U_{\text{В}} = U_{\text{ОГР}-}$ . Пусть абсолютные значения уровней ограничения выходного сигнала ОУ равны  $|U_{\text{ОГР}+}| = |U_{\text{ОГР}-}| = U_{\text{ОГР}}$ . Тогда при использовании ОУ в качестве компаратора должно выполняться соотношение:

$$|\Delta U_{\text{ВХ}}| > |U_{\text{ОГР}}| / K_{\text{ОУ}} \quad (3.1)$$

В рассмотренной схеме (рисунок 3.1) эталонный уровень напряжения, с которым сравнивается входной сигнал, равен нулю и ее часто называют детектором нуля сигнала или схемой определения прохождения напряжения через нуль.

Диапазон значений входного сигнала, соответствующий условию:

$$U_{\text{ОГР-}} / K_{\text{ОУ}} < U_{\text{ВХ}} < U_{\text{ОГР+}} / K_{\text{ОУ}}, \quad (3.2)$$

является зоной неопределенности компаратора и определяет его погрешность. Абсолютная величина этой погрешности равна:

$$\Delta = |U_{\text{ОГР}}| / K_{\text{ОУ}} \quad (3.3)$$

Для уменьшения погрешности компаратора необходимо уменьшить интервал неопределенности входных напряжений. Это можно обеспечить одним из следующих способов:

- использование ОУ с большим коэффициентом усиления;
- введение в схему положительной обратной связи (ПОС).

Из теории известно, что коэффициент передачи усилителя при введении ПОС  $K_{\text{ПОС}}$  описывается выражением:

$$K_{\text{ПОС}} = K_{\text{ОУ}} / (1 - K_{\text{ОУ}} * b_{\text{ОС}}), \quad (3.4)$$

где  $K_{OY}$  - коэффициент передачи схемы без обратной связи (ОС), а  $b_{OC}$  - коэффициент передачи цепи ОС.

При  $b_{OC}=1/K_{OY}$  коэффициент усиления схемы будет равен бесконечности, а погрешность компаратора - нулю. На практике это условие трудно выполнимо из-за разброса параметров и нестабильности характеристик ОУ. Поэтому погрешность компаратора не может быть устранена полностью, однако ее удастся существенно снизить.

### 3.2 Однопороговый компаратор

Однопороговыми называются устройства сравнения, для которых коэффициент усиления используемого усилителя всегда остается положительным ( $K_{OY} > 0$ ). Из этого следует, что при работе такого устройства всегда присутствует некоторая область неопределенности входного напряжения, т.е. существует погрешность определения уровня входного напряжения. В качестве однопороговых устройств сравнения могут использоваться ОУ без цепей ОС или с положительной ОС, для которой коэффициент передачи обратной связи удовлетворяет неравенству:

$$b_{OC} < 1 / K_{OY} \quad (3.5)$$

Анализируя схему, приведенную на рисунке 3.1 а, можно сказать, что ее срабатывание происходит в момент равенства нулю напряжения между инвертирующим и неинвертирующим входами ОУ. Используя данное свойство указанной схемы, можно легко построить на ее основе устройство сравнения входного напряжения с некоторым наперед заданным эталонным уровнем напряжения.

Для этого достаточно неинвертирующий вход ОУ (рисунок 3.1 а) подключить к общей шине устройства через источник ЭДС  $E_{ЭТ}$  абсолютная величина которого и знак соответствуют требуемому эталонному уровню сравнения (рисунок 3.2 а). В этом случае при идеальном ОУ ( $R_{ВХ} \rightarrow \infty$ ) напряжение между инвертирующим и неинвертирующим входами достигнет нулевого значения, когда уровень и полярность входного напряжения  $u_{ВХ}$  будут в точности равны параметрам эталонного источника  $E_{ЭТ}$ . На рисунках 3.2 б-в показаны передаточные характеристики компаратора для случаев  $E_{ЭТ} > 0$  и  $E_{ЭТ} < 0$  соответственно. Напряжение  $E_{ЭТ}$  называют порогом срабатывания устройства сравнения.

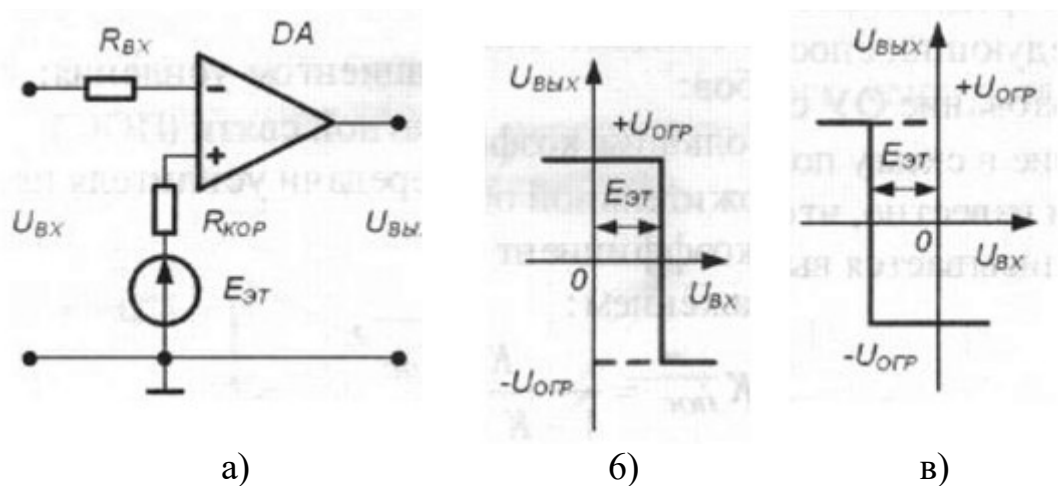


Рисунок 3.2 - Схема однопорогового компаратора со смещенным порогом срабатывания (а) и его передаточные характеристики при  $E_{ЭТ} > 0$  (б) и  $E_{ЭТ} < 0$  (в)

Если в схеме на рисунке 3.2 а вместо источника эталонного напряжения использовать второе входное напряжение, получится схема сравнения двух напряжений. Пренебрегая погрешностью, обусловленной наличием диапазона неопределенности входного напряжения, можно сказать, что переключение компаратора будет происходить в момент равенства входных напряжений, как по абсолютному значению, так и по знаку. Схема такого устройства и временные диаграммы, поясняющие его работу, приведены на рисунке 3.3.

### 3.3 Гистерезисный компаратор.

Гистерезисными называют схемы сравнения, у которых передаточная характеристика неоднозначна. Применительно к ОУ это возможно только в том случае, когда усилитель охвачен цепью ПОС.

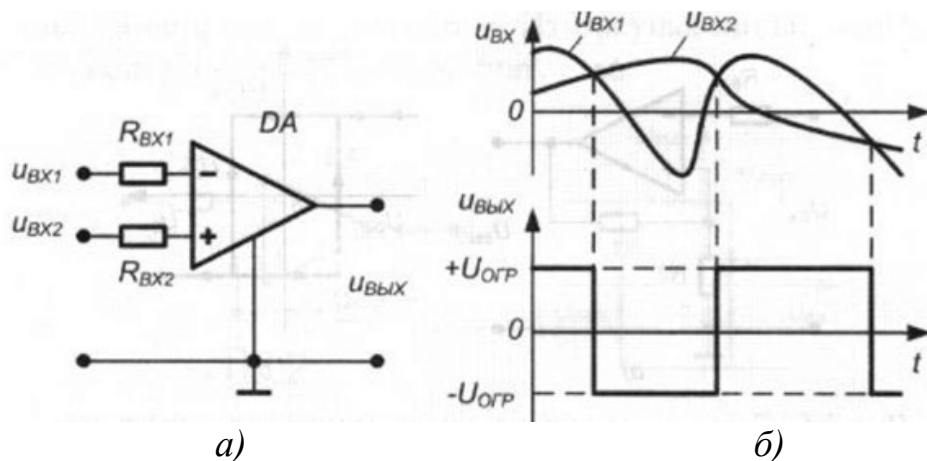


Рисунок 3.3 - Однопороговая схема сравнения двух напряжений (а) и временные диаграммы, поясняющие ее работу (б)

На рисунке 3.4 приведена передаточная характеристика ОУ для случаев  $b_{OC} < 1/K_{OY}$ ,  $b_{OC} = 1/K_{OY}$ , и  $b_{OC} > 1/K_{OY}$  соответственно.

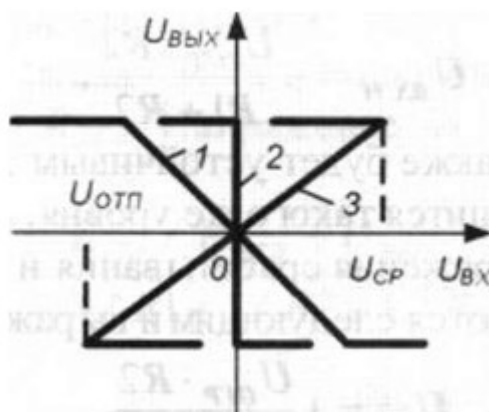


Рисунок 3.4. Передаточные характеристики ОУ с цепью ПОС при  $b_{OC} < 1/K_{OY}$  (1),  $b_{OC} = 1/K_{OY}$  (2), и  $b_{OC} > 1/K_{OY}$  (3)

Очевидно, что увеличение коэффициента передачи цепи ПОС фактически приводит к повороту исходной характеристики ОУ вокруг начала координат по часовой стрелке. При этом если  $b_{OC} = 1/K_{OY}$ , то на передаточной характеристике (зависимость 3) появляется область неоднозначного соответствия между входным и выходным напряжением - гистерезис. Это позволяет построить устройства, у которых напряжения срабатывания и отпускания не равны между собой. Принципиальная схема такого устройства сравнения и ее передаточная характеристика приведены на рисунке 3.5.

Предположим, что в некоторый момент времени входное напряжение схемы равно нулю, а на ее выходе присутствует напряжение положительной полярности  $+U_{OГР}$ . Тогда к неинвертирующему входу ОУ приложено положительное напряжение:

$$U_{ВХ.Н} = (U_{OГР} * R_2) / (R_1 + R_2) \quad (3.6)$$

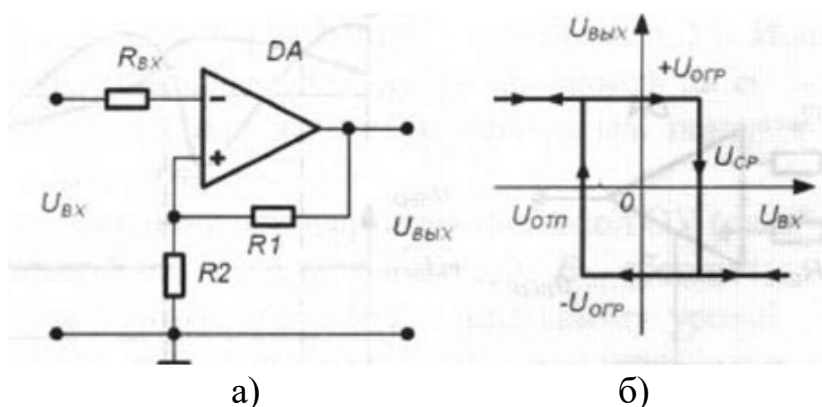


Рисунок 3.5. Схема гистерезисного компаратора (а) и его передаточная характеристика (б)

Такое состояние схемы является устойчивым и будет поддерживаться до тех пор, пока изменяющееся входное напряжение  $u_{ВХ}$  не увеличится до этого же уровня. В этот момент произойдет изменение выходного напряжения ОУ от  $+U_{ОГР}$  до  $-U_{ОГР}$  и на неинвертирующем входе ОУ установится напряжение:

$$U_{ВХ.Н} = -(U_{ОГР} * R_2) / (R_1 + R_2) \quad (3.7)$$

Данное состояние также будет устойчивым до тех пор, пока входное напряжение  $u_{ВХ}$  не уменьшится такого же уровня.

Таким образом, напряжения срабатывания и отпускания в рассматриваемой схеме определяются следующим и выражениями:

$$U_{СР} = +(U_{ОГР} * R_2) / (R_1 + R_2) \quad (3.8)$$

$$U_{ОТ} = -(U_{ОГР} * R_2) / (R_1 + R_2) \quad (3.9)$$

Из приведенных выражений видно, что при равенстве абсолютных значений напряжения ограничения на выходе ОУ пороговые напряжения равны по величине, но противоположны по знаку, т.е. передаточная характеристика устройства симметрична относительно начала координат.

Для получения различных напряжений срабатывания и отпускания в цепи ПОС ОУ необходимо использовать четырехполюсник, коэффициент передачи которого зависит от полярности его входного напряжения. Пример такого устройства приведен на рисунке 3.6 а.

В данном случае коэффициент передачи цепи ПОС для положительных выходных напряжений ОУ практически не зависит от уровня этого напряжения и определяется падением напряжения на диоде VD, смещенном в прямом направлении. При отрицательных выходных напряжениях диод VD заперт и напряжение отпускания определяется как и в схеме на рисунке 3.5. На рисунке 3.6 б приведена передаточная характеристика данной схемы сравнения. Из рисунка видно, что она несимметрична относительно начала координат.

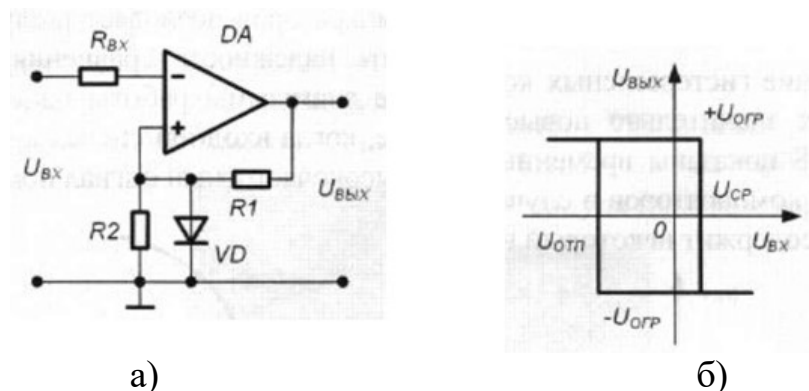
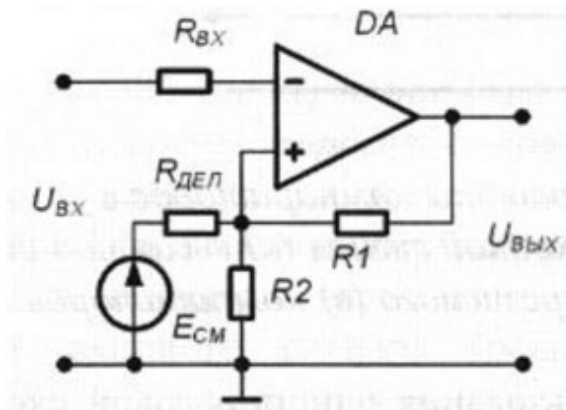


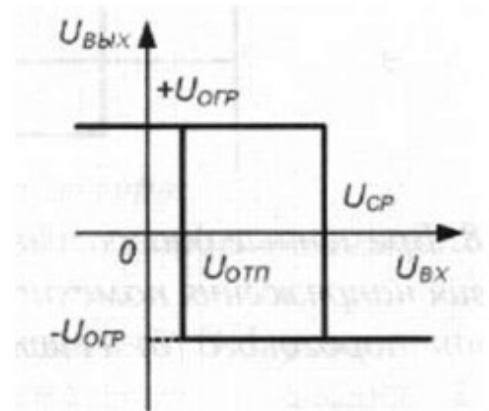
Рисунок 3.6 - Схема гистерезисного компаратора с цепью нелинейной ПОС (а) и его передаточная характеристика (б)

Асимметрию передаточной характеристики схемы сравнения можно придать (как и в случае однопорогового устройств) используя дополнительные источники смещения. Пример такого решения приведен на рисунке 3.7 а. Здесь источник смещения  $E_{CM}$  подключен к неинвертирующему входу ОУ через резистор  $R_{ДЕЛ}$  - напряжение на неинвертирующем входе равно:

$$U_{ВХ.Н} = (E_{CM}/R_{ДЕЛ} + U_{ВЫХ}/R_2) / (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{ДЕЛ}) \quad (3.10)$$



а)



б)

Рис. 3.7. Схема гистерезисного компаратора со смещенной характеристикой (а) и его передаточная характеристика (б)

Тогда напряжения срабатывания и отпускания компаратора определяются выражениями:

$$U_{CP} = (E_{CM}/R_{ДЕЛ} + U_{ВЫХ}/R_1) / (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{ДЕЛ}) \quad (3.11)$$

$$U_{ОТП} = (E_{CM}/R_{ДЕЛ} - U_{ВЫХ}/R_1) / (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{ДЕЛ}) \quad (3.12)$$

Применение гистерезисных компараторов позволяет в случае действия внешних помех значительно повысить надежность сравнения напряжений. Так, на рисунке 3.8 показаны временные диаграммы работы однопорогового и гистерезисного компараторов в случае, когда входной сигнал кроме полезной составляющей содержит некоторый высокочастотный сигнал помехи.



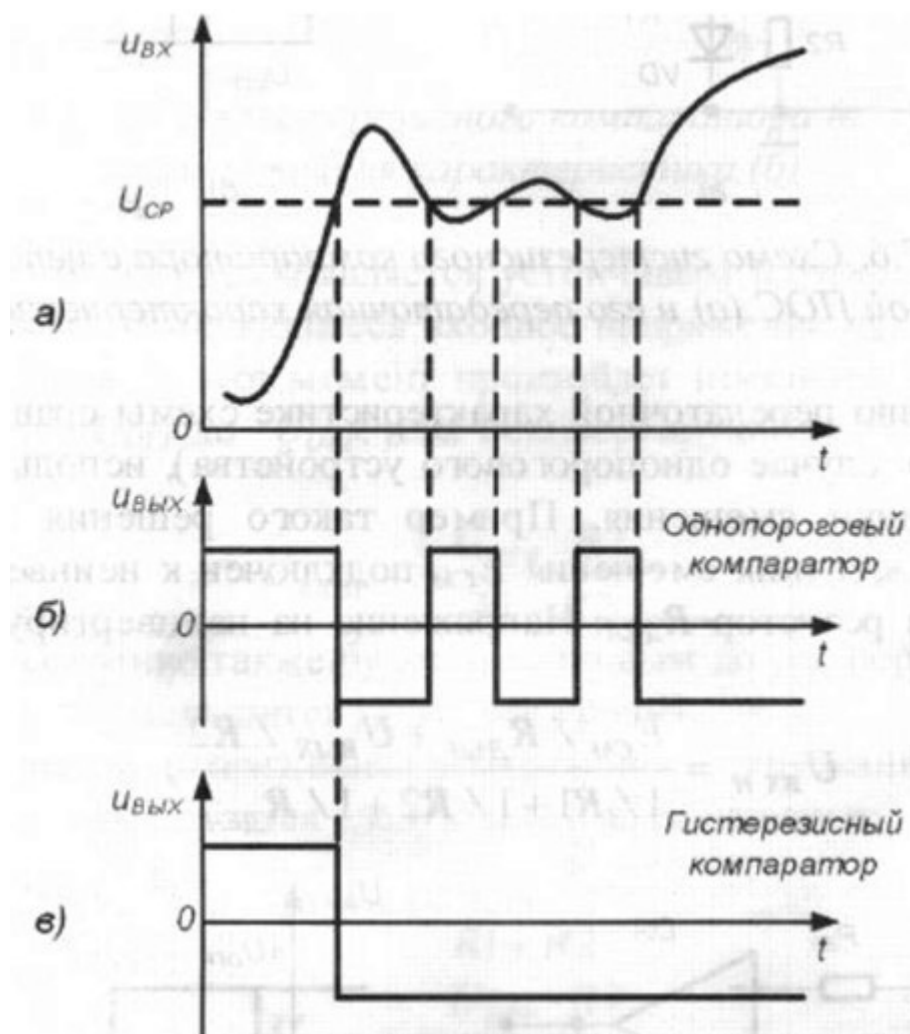


Рисунок 3.8 - Временные диаграммы работы компараторов в условиях действия напряжения помехи: входной сигнал (а) выходной сигнал однопорогового (б) и гистерезисного (в) компараторов

Очевидно, что в случае использования однопороговой схемы сравнения на выходе устройства будет сформировано несколько выходных импульсов (так называемый «дребезг» выходного напряжения), затрудняющих получение однозначного результата. В случае использования гистерезисного компаратора с правильным выбором напряжений срабатывания и отпускания этого удастся избежать и получить на выходе однозначный результат сравнения.

## 4 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

### 4.1 Получение передаточной характеристики однопорогового компаратора

Для получения передаточной характеристики однопорогового компаратора используется схема, показанная на рисунке 4.1

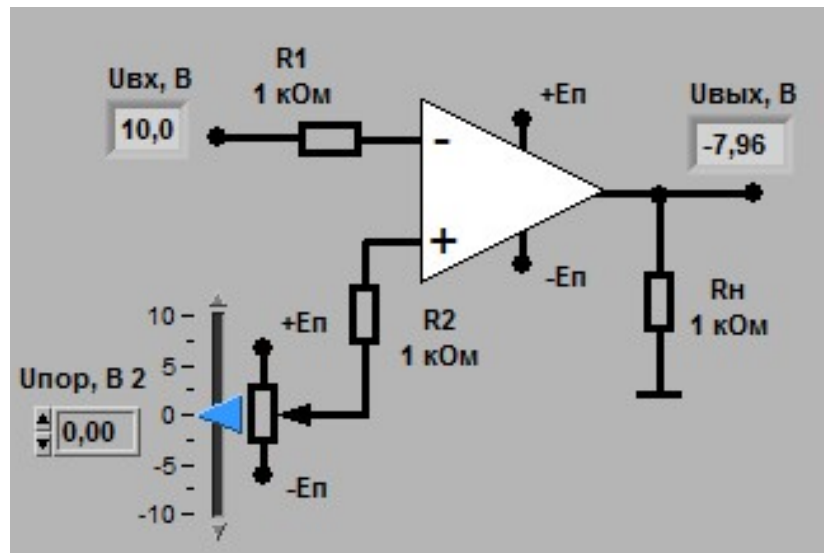


Рисунок 4.1 – схема для получения передаточной характеристики однопорогового компаратора

Устанавливая диапазон изменения входного сигнала:  $U_{вх_{min}} = -10$  В,  $U_{вх_{max}} = +10$  В, диапазон изменения выходного сигнала:  $U_{вых_{min}} = -10$  В,  $U_{вых_{max}} = +10$  В и порог срабатывания компаратора  $U_{пор} = 0$  В, получаем изображение передаточной характеристики компаратора. График представлен на рисунке 4.2.

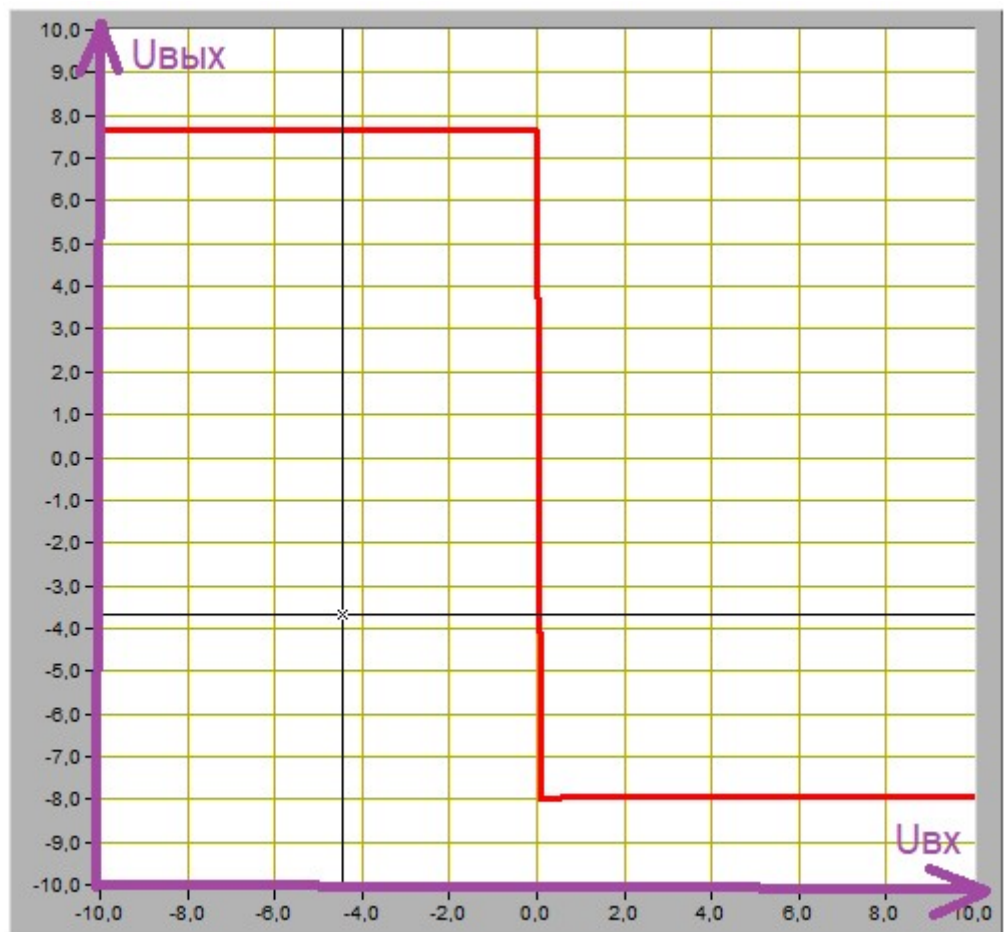


Рисунок 4.2 – передаточная характеристика однопорогового компаратора ( $U_{\text{ПОР}} = 0 \text{ В}$ )

По графику передаточной характеристики определяем положительное и отрицательное напряжения компаратора:  $U_{\text{вых}}^+ = +7.7 \text{ В}$ ;  $U_{\text{вых}}^- = -8 \text{ В}$ .

По графику передаточной характеристики определяем величину входного сигнала  $U_{\text{вх}}$ , при котором происходит переключение компаратора:  $U_{\text{вх}} = 0 \text{ В}$ .

Устанавливая порог срабатывания компаратора  $U_{\text{ПОР}} = -2.5 \text{ В}$ , получаем изображение передаточной характеристики компаратора. График представлен на рисунке 4.3.

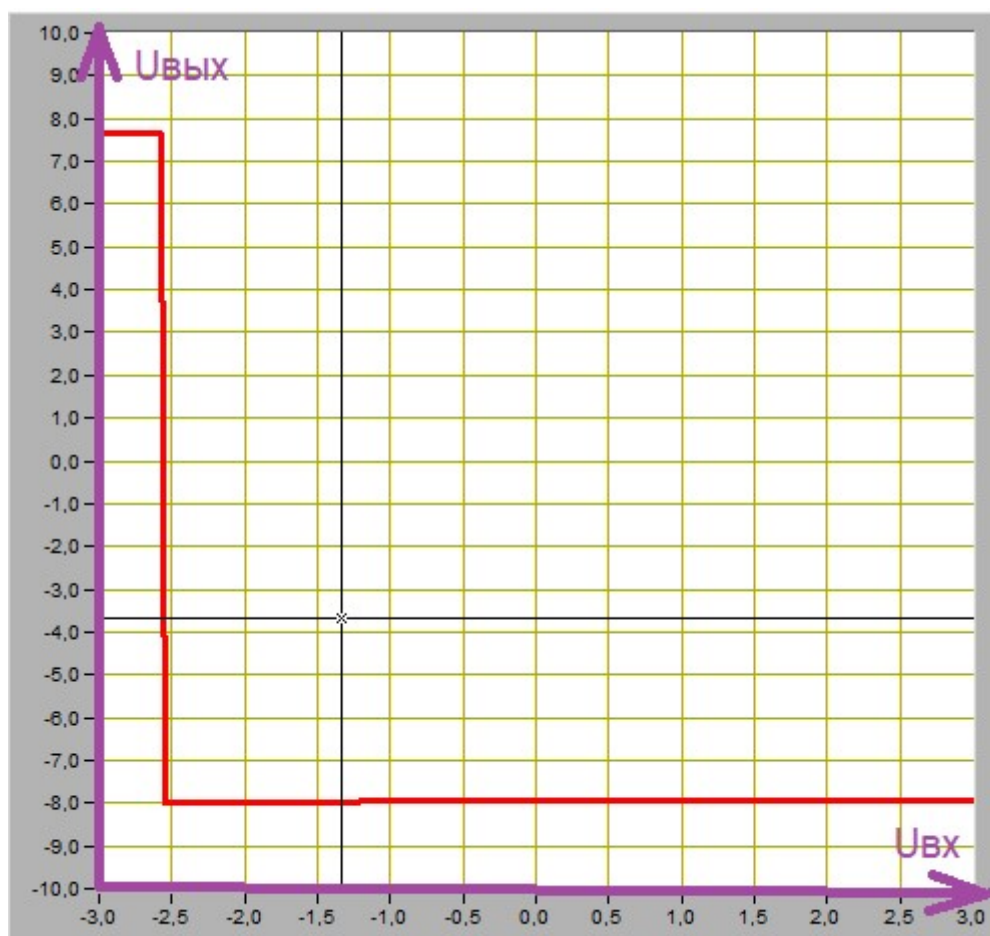


Рисунок 4.3 – передаточная характеристика однопорогового компаратора ( $U_{\text{ПОР}} = -2.5 \text{ В}$ )

По графику передаточной характеристики определяем положительное и отрицательное напряжения компаратора:  $U_{\text{вых}}^+ = +7.7 \text{ В}$ ;  $U_{\text{вых}}^- = -8 \text{ В}$ .

По графику передаточной характеристики определяем величину входного сигнала  $U_{\text{вх}}$ , при котором происходит переключение компаратора:  $U_{\text{вх}} = -2.55 \text{ В}$ .

Устанавливая порог срабатывания компаратора  $U_{\text{ПОР}} = +1.7 \text{ В}$ , получаем изображение передаточной характеристики компаратора. График представлен на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 – передаточная характеристика однопорогового компаратора ( $U_{\text{ПОР}} = +1.7 \text{ В}$ )

По графику передаточной характеристики определяем положительное и отрицательное напряжения компаратора:  $U_{\text{вых}}^+ = +7.7 \text{ В}$ ;  $U_{\text{вых}}^- = -8 \text{ В}$ .

По графику передаточной характеристики определяем величину входного сигнала  $U_{\text{вх}}$ , при котором происходит переключение компаратора:  $U_{\text{вх}} = +1.7 \text{ В}$

## 4.2 Исследование работы однопорогового компаратора

Для исследования работы однопорогового компаратора используется схема, показанная на рисунке 4.5

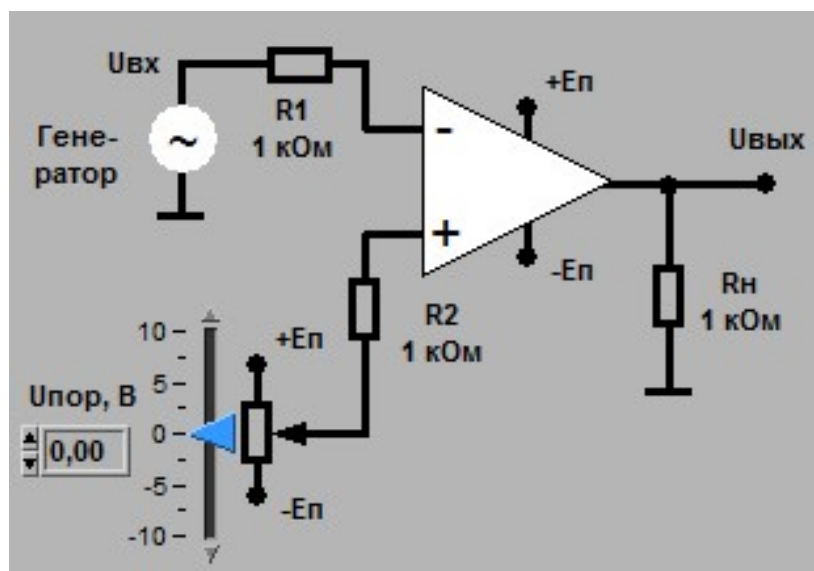


Рисунок 4.5 – схема для исследования работы однопорогового компаратора

Устанавливаем синусоидальную форму сигнала и частоту сигнала 200 Гц, амплитуду входного сигнала 7 В, порог срабатывания 0 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.6.

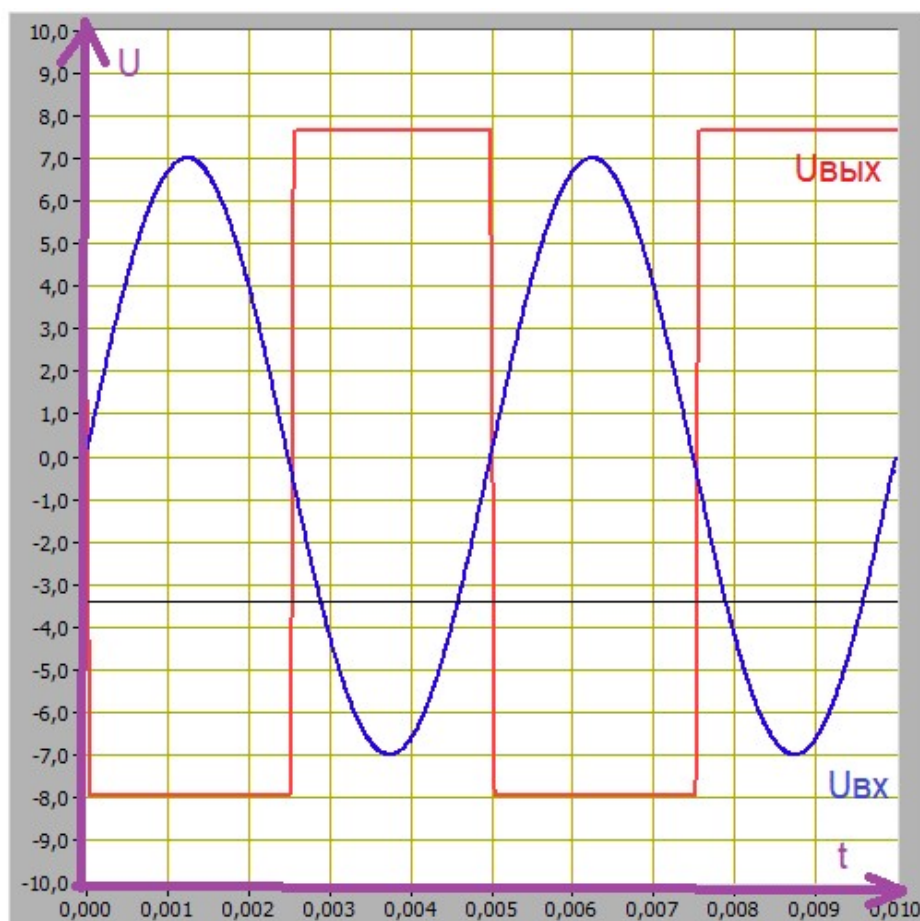


Рисунок 4.6 – график напряжения на однопороговом компараторе ( $U_{\text{пор}} = 0 \text{ В}$ )

По графику определяем величину порогового значения входного напряжения:  $U_{вх\text{пор}} = 0 \text{ В}$ .

Устанавливаем порог срабатывания  $-5 \text{ В}$ . Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.7.

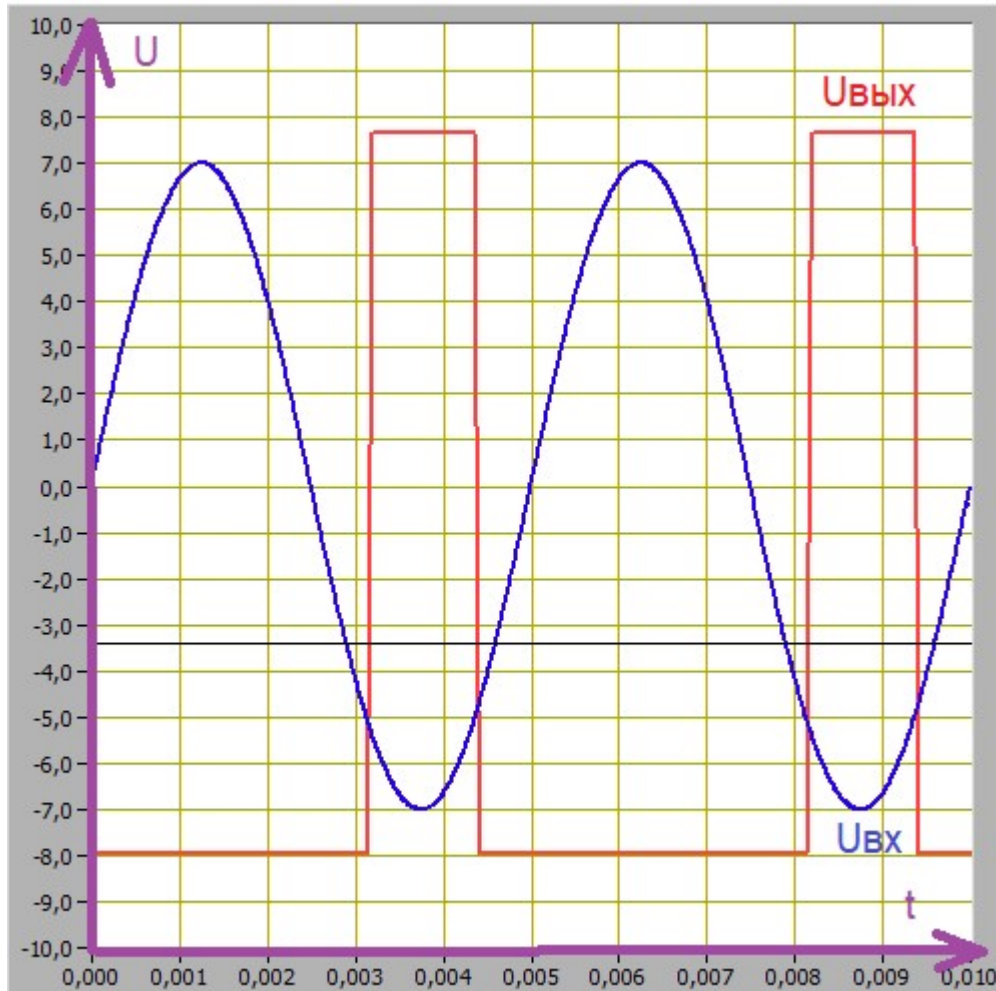


Рисунок 4.7 – график напряжения на однопороговом компараторе ( $U_{\text{пор}} = -5 \text{ В}$ )

По графику определяем величину порогового значения входного напряжения:  $U_{вх\text{пор}} = -5 \text{ В}$ .

Устанавливаем порог срабатывания  $+5 \text{ В}$ . Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.8.



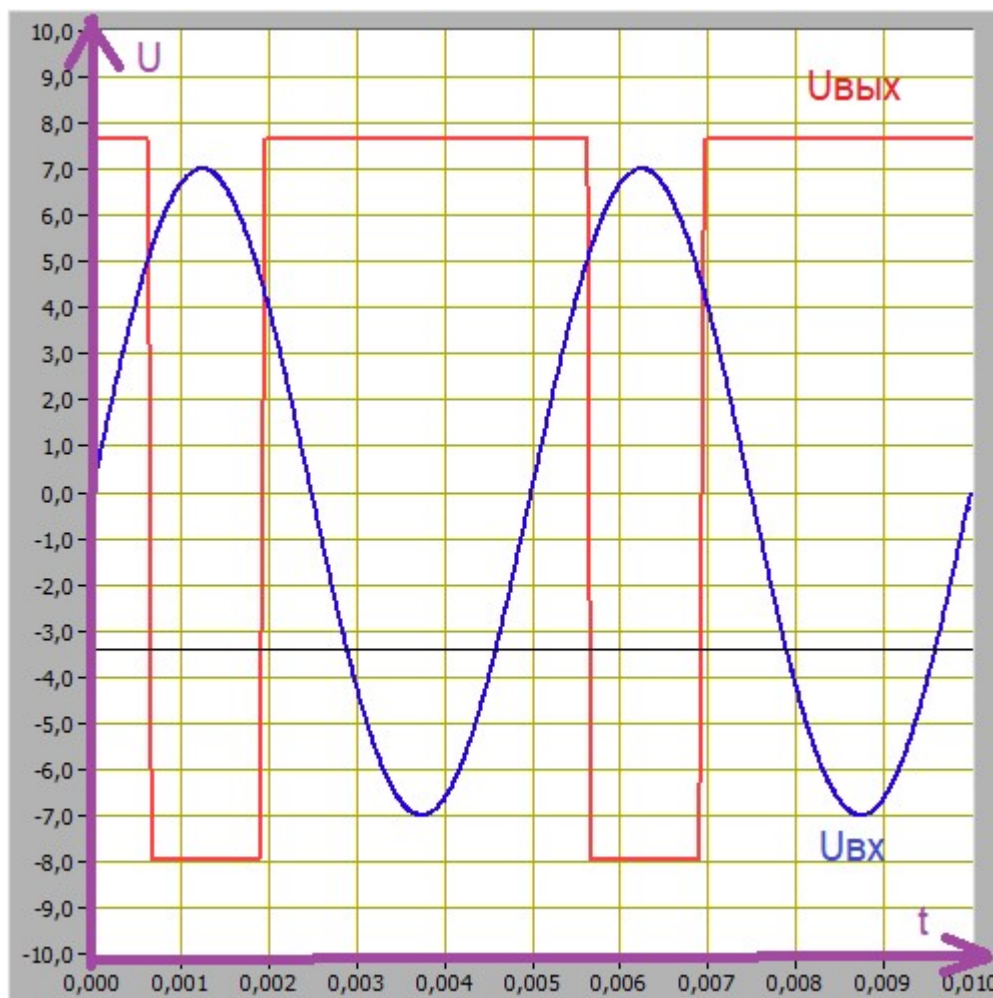


Рисунок 4.8 – график напряжения на однопороговом компараторе ( $U_{порог} = +5$  В)

По графику определяем величину порогового значения входного напряжения:  $U_{вх_{порог}} = +5$  В.

Устанавливаем прямоугольную форму сигнала и порог срабатывания 0 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.9.



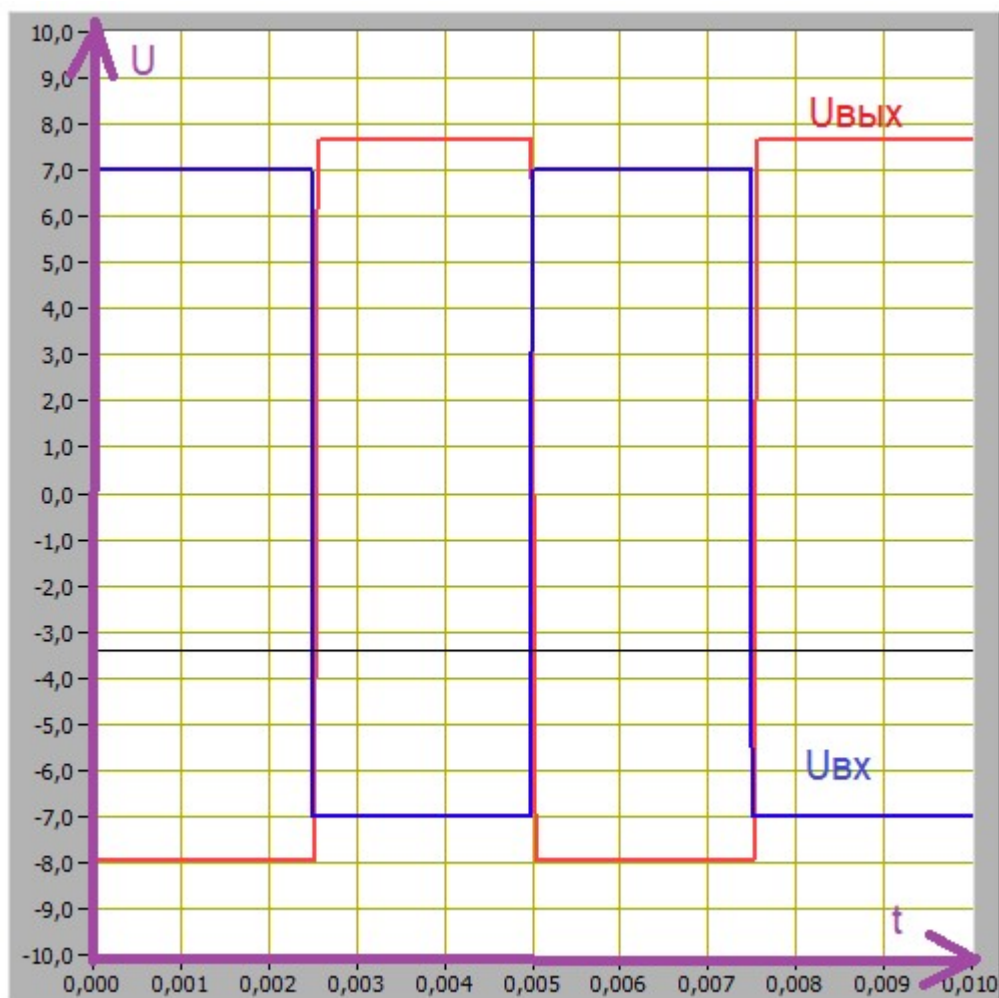


Рисунок 4.9 – график напряжения на однопороговом компараторе ( $U_{пор} = 0$  В)

По графику определяем величину порогового значения входного напряжения:  $U_{вх_{пор}} = 0$  В.

Устанавливаем порог срабатывания -5 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.10.

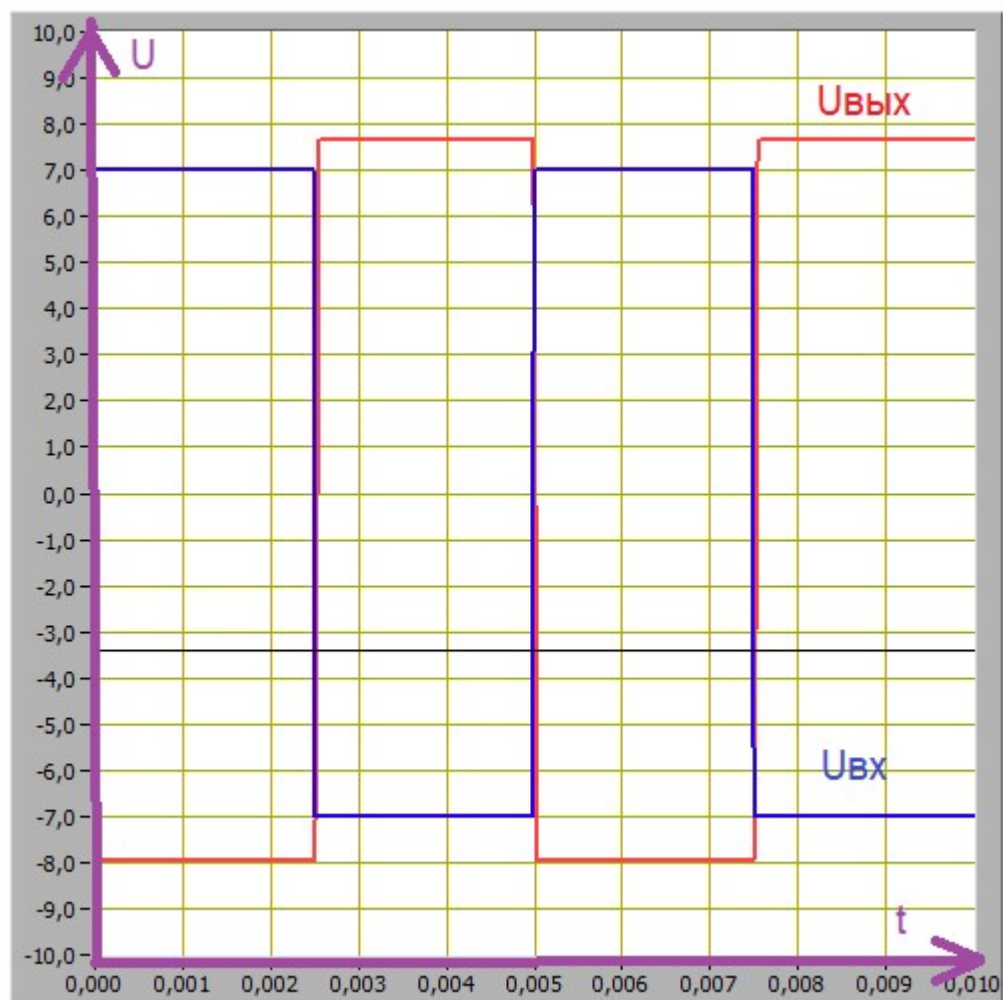


Рисунок 4.10 – график напряжения на однопороговом компараторе ( $U_{пор} = -5$  В)

По графику определяем величину порогового значения входного напряжения:  $U_{вх_{пор}} = -5$  В.

Устанавливаем порог срабатывания +5 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.11.

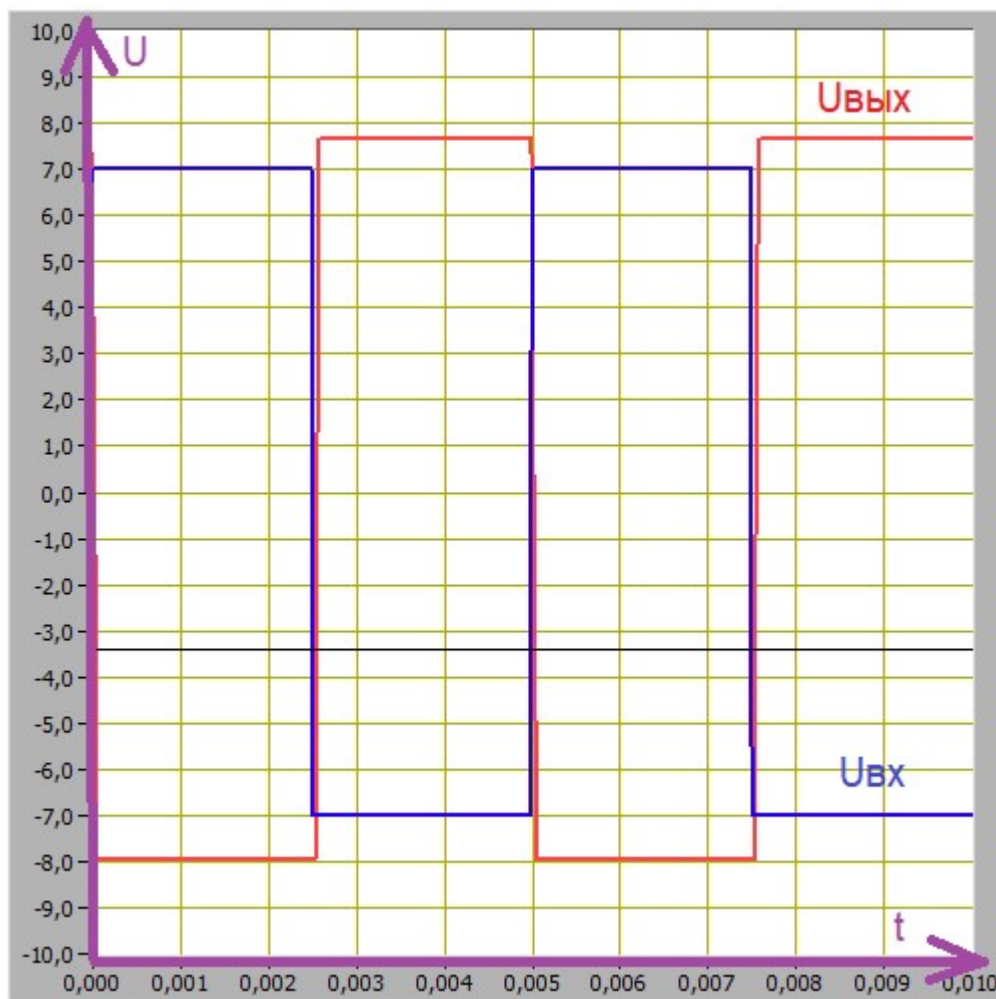


Рисунок 4.11 – график напряжения на однопороговом компараторе ( $U_{ПОР} = +5$  В)

Устанавливаем треугольную форму сигнала и порог срабатывания 0 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.12.

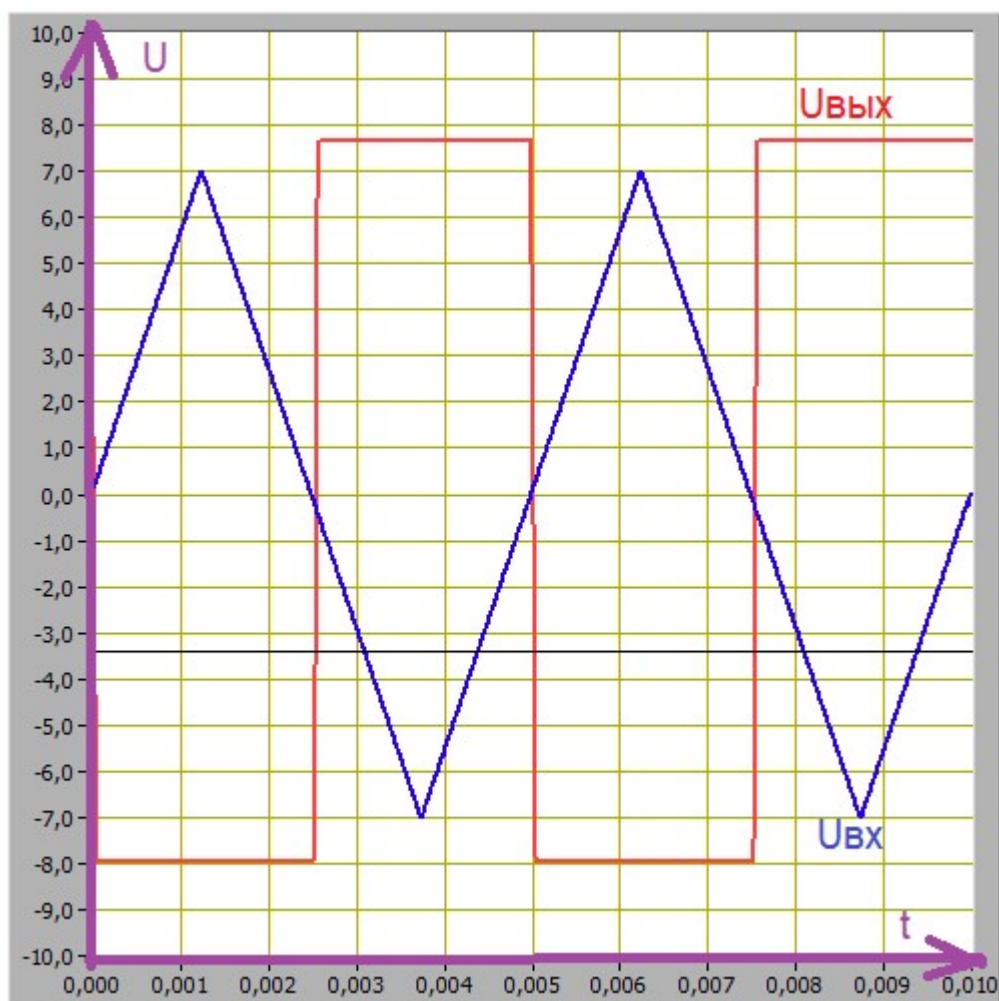


Рисунок 4.12 – график напряжения на однопороговом компараторе ( $U_{\text{пор}} = 0 \text{ В}$ )

По графику определяем величину порогового значения входного напряжения:  $U_{\text{вх пор}} = 0 \text{ В}$ .

Устанавливаем порог срабатывания  $-5 \text{ В}$ . Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.13.

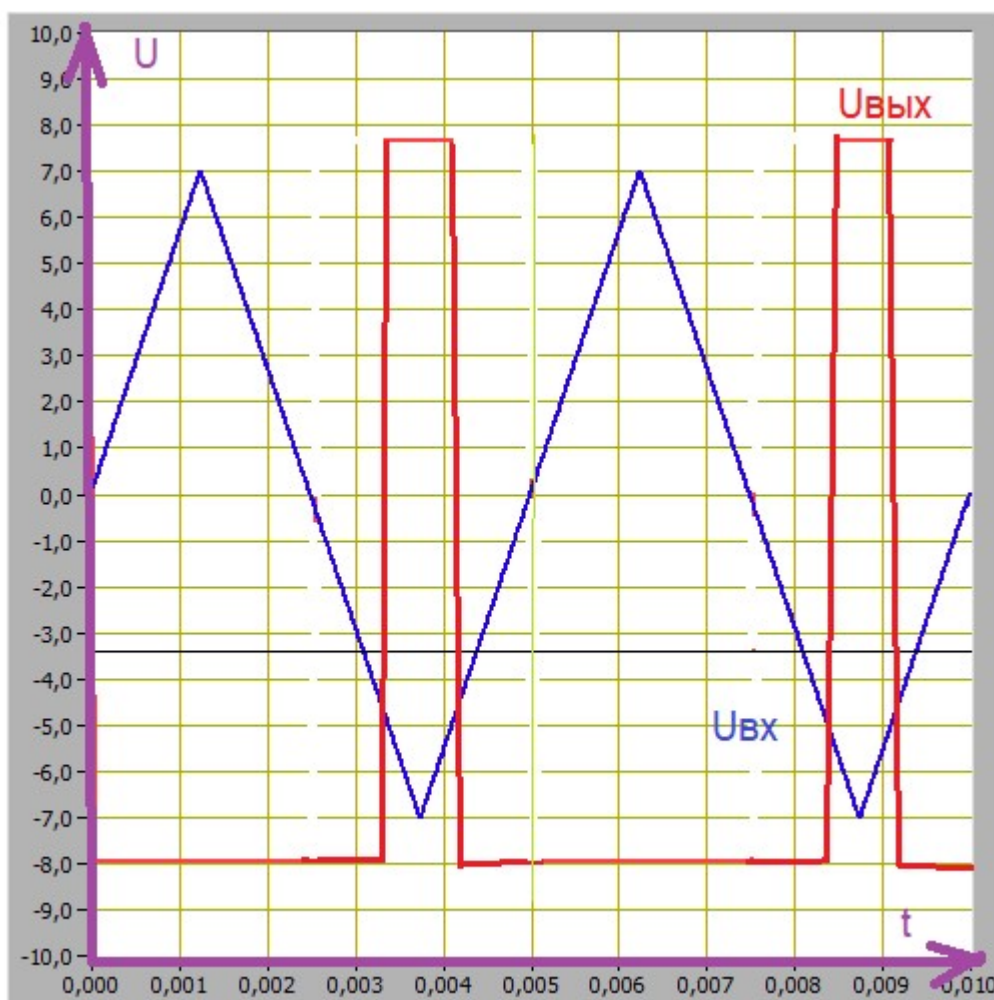


Рисунок 4.13 – график напряжения на однопороговом компараторе ( $U_{пор} = -5V$ )

По графику определяем величину порогового значения входного напряжения:  $U_{вх_{пор}} = -5V$ .

Устанавливаем порог срабатывания  $+5V$ . Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.14.

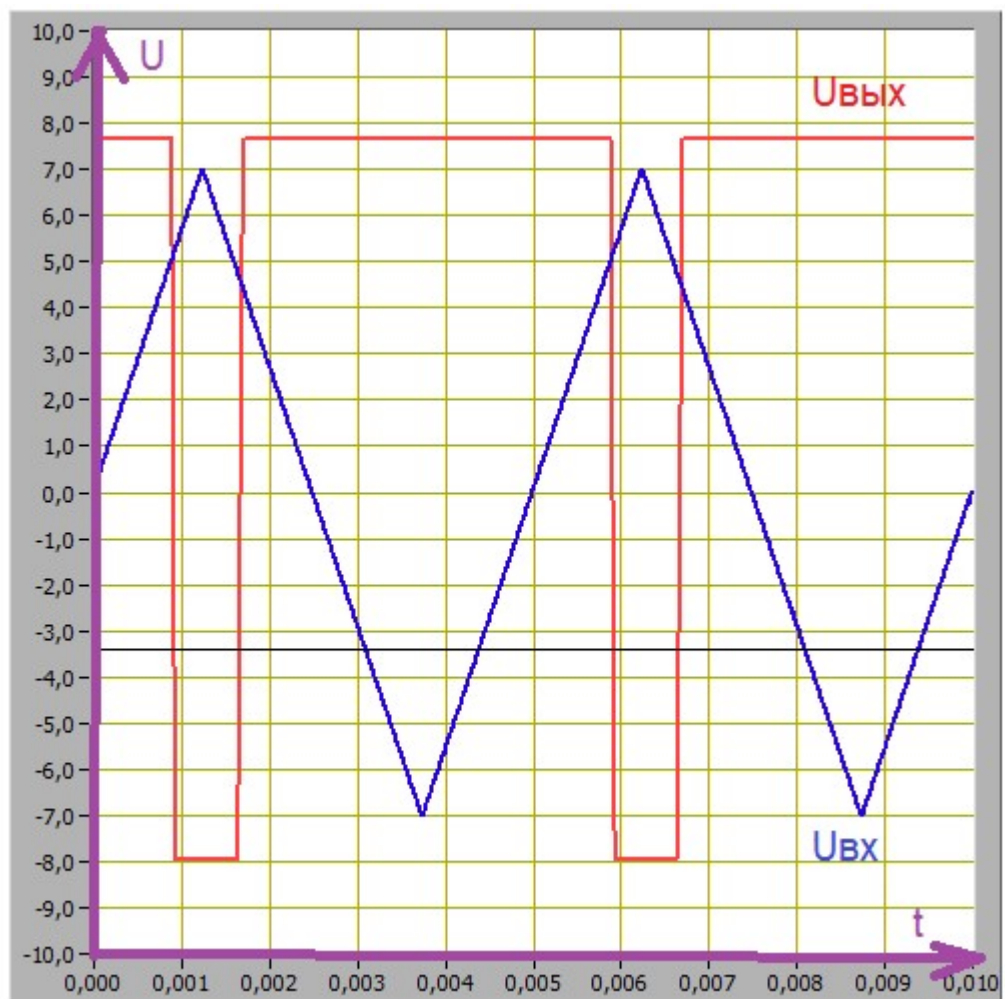


Рисунок 4.14 – график напряжения на однопороговом компараторе ( $U_{пор} = +5\text{ В}$ )

По графику определяем величину порогового значения входного напряжения:  $U_{вх_{пор}} = +5\text{ В}$ .

Устанавливаем пилообразную форму сигнала и порог срабатывания  $0\text{ В}$ . Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.15.

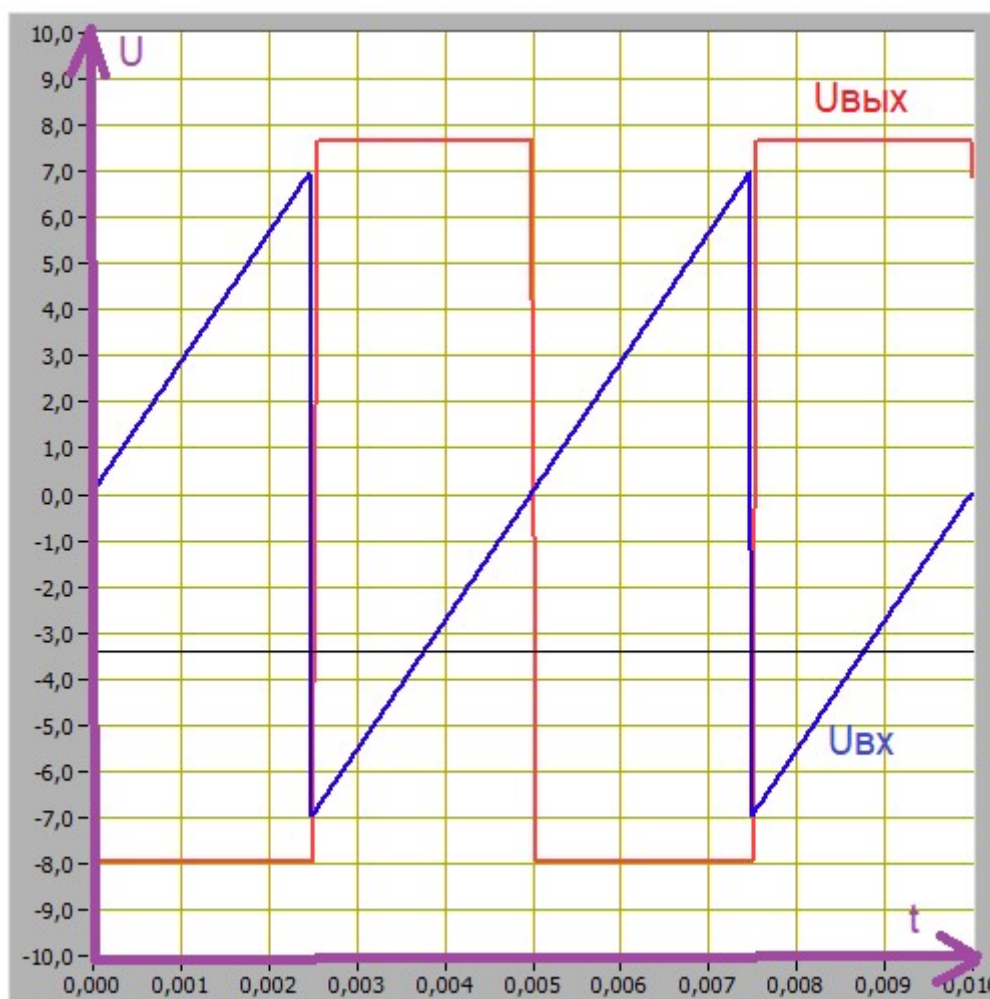


Рисунок 4.15 – график напряжения на однопороговом компараторе ( $U_{пор} = 0 \text{ В}$ )

По графику определяем величину порогового значения входного напряжения:  $U_{вх_{пор}} = 0 \text{ В}$ .

Устанавливаем порог срабатывания -5 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.16.



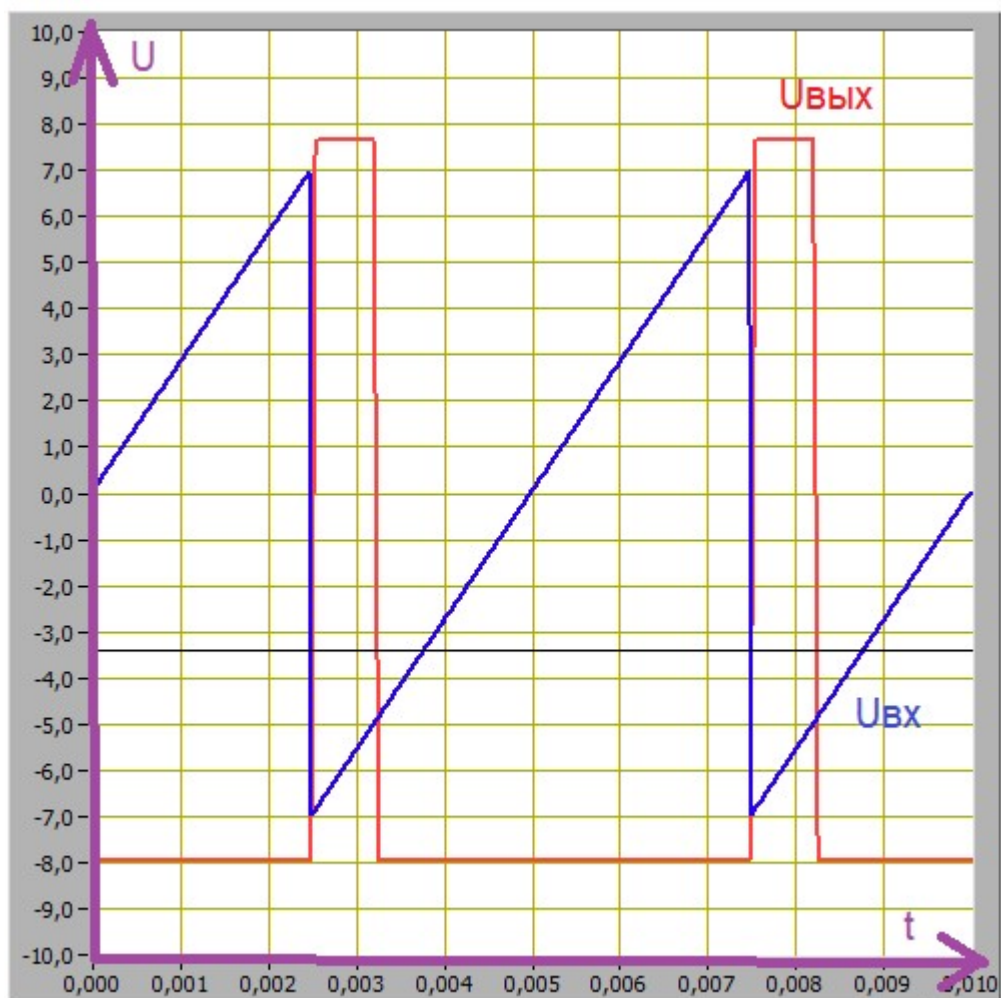


Рисунок 4.16 – график напряжения на однопороговом компараторе ( $U_{пор} = -5\text{ В}$ )

По графику определяем величину порогового значения входного напряжения:  $U_{вх_{пор}} = -5\text{ В}$ .

Устанавливаем порог срабатывания  $+5\text{ В}$ . Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.17.



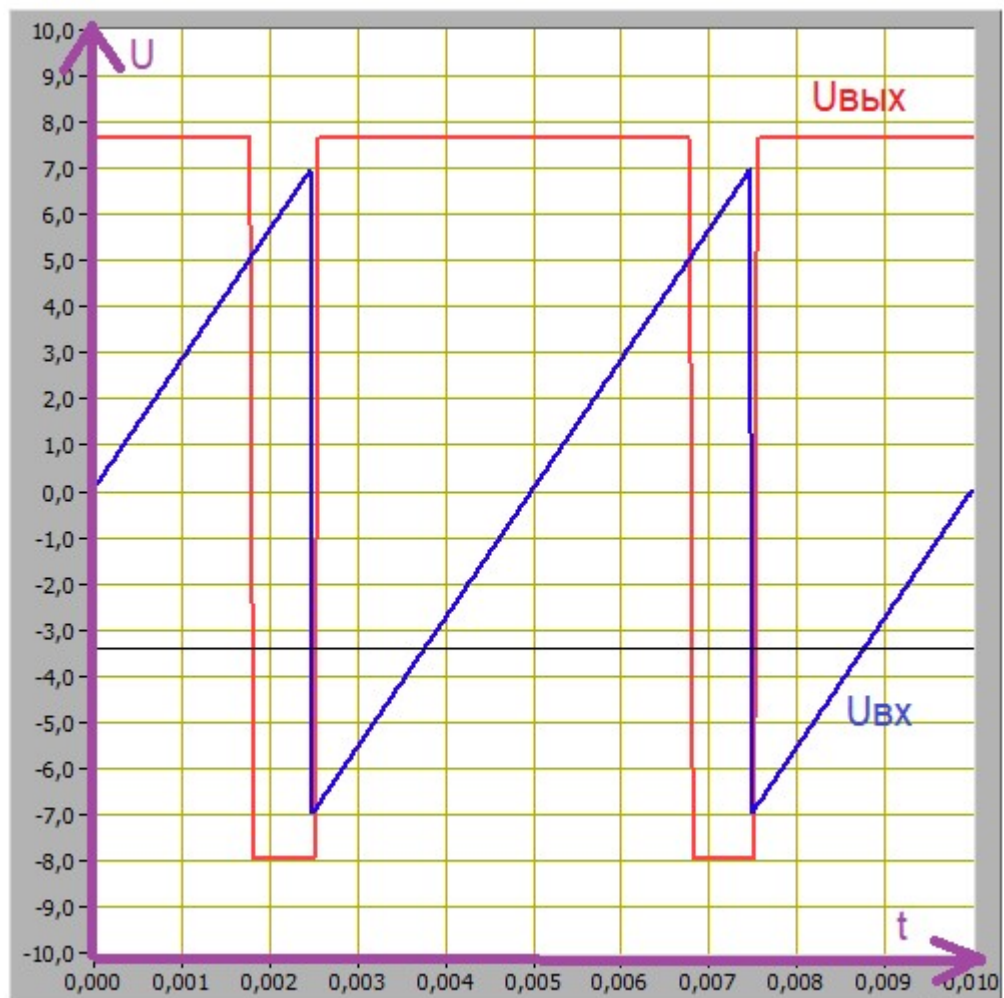


Рисунок 4.17 – график напряжения на однопороговом компараторе ( $U_{ПОР} = +5$  В)

По графику определяем величину порогового значения входного напряжения:  $U_{вх_{ПОР}} = +5$  В.

### 4.3 Получение передаточной характеристики гистерезисного компаратора

Для получения передаточной характеристики гистерезисного компаратора используется схема, показанная на рисунке 4.18

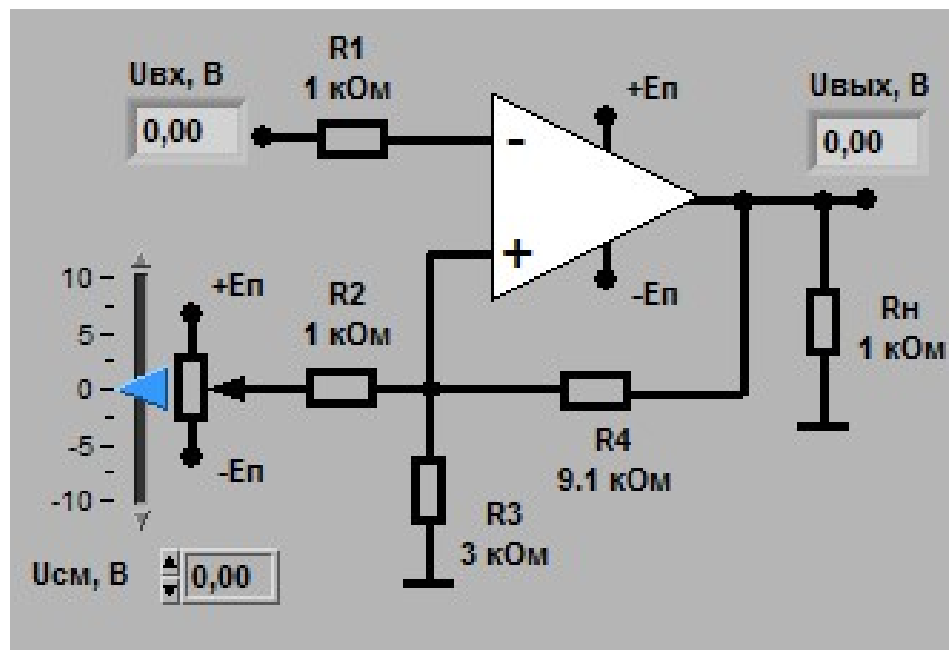


Рисунок 4.18 – схема для получения передаточной характеристики гистерезисного компаратора

Устанавливая диапазон изменения входного сигнала:  $U_{вх_{min}} = -10$  В,  $U_{вх_{max}} = +10$  В, диапазон изменения выходного сигнала:  $U_{вых_{min}} = -10$  В,  $U_{вых_{max}} = +10$  В и напряжение источника смещения  $U_{см} = 0$  В, получаем изображение передаточной характеристики компаратора. График представлен на рисунке 4.19.

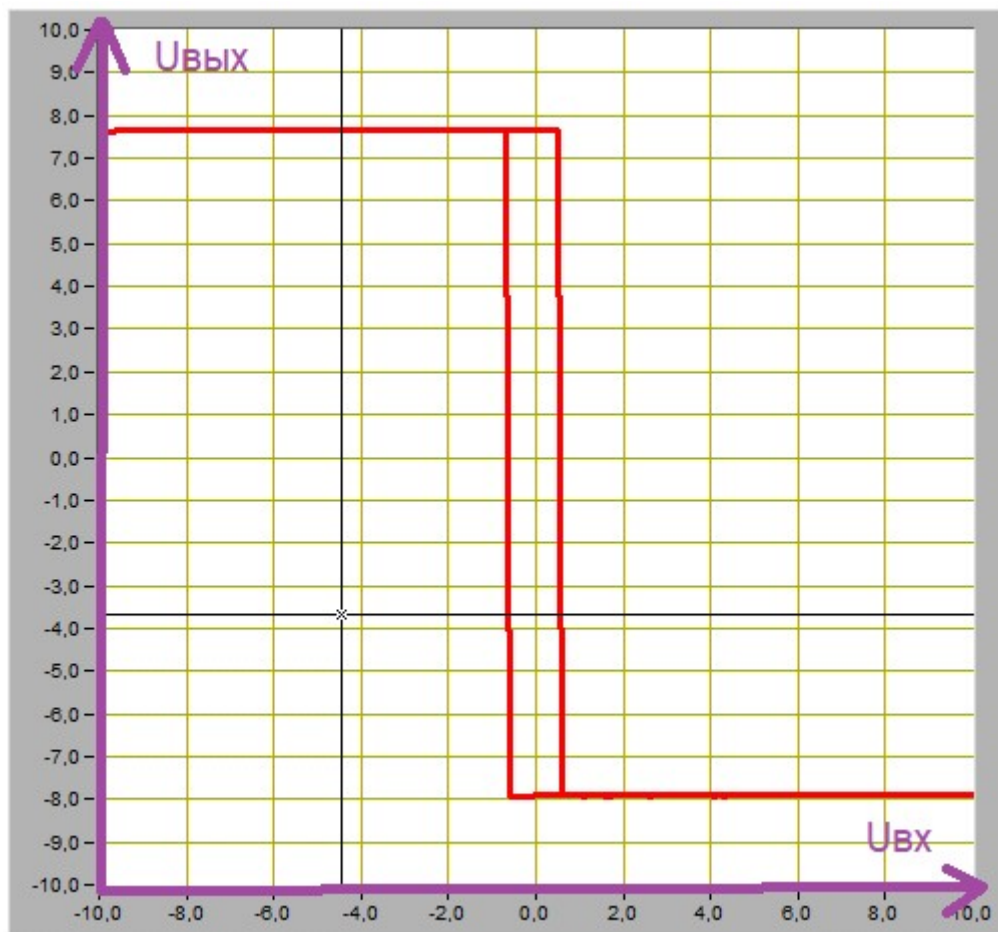


Рисунок 4.19 – передаточная характеристика гистерезисного компаратора ( $U_{CM} = 0$  В)

По графику передаточной характеристики определяем положительное и отрицательное напряжения компаратора:  $U_{вых}^{+} = +7.7$  В;  $U_{вых}^{-} = -8$  В.

По графику передаточной характеристики определяем величину напряжения срабатывания компаратора при монотонном увеличении:  $U_{CP} = +0.65$  В, и уменьшении:  $U_{OT} = -0.65$  В - входного сигнала.

Вычисляем напряжения срабатывания и отпускания компаратора по следующим формулам:

$$U_{CP} = \frac{\frac{U_{CM}}{R2} + \frac{U_{вых}^{+}}{R4}}{\frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4}} \quad (4.1)$$

$$U_{OT} = \frac{\frac{U_{CM}}{R2} + \frac{U_{вых}^{-}}{R4}}{\frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4}} \quad (4.2)$$

Получаем значения:

$$U_{CP} = 0.59 \text{ В}$$

$$U_{OT} = -0.6 \text{ В}$$

Устанавливая напряжение источника смещения  $U_{CM} = -10$  В, получаем изображение передаточной характеристики компаратора. График представлен на рисунке 4.20.

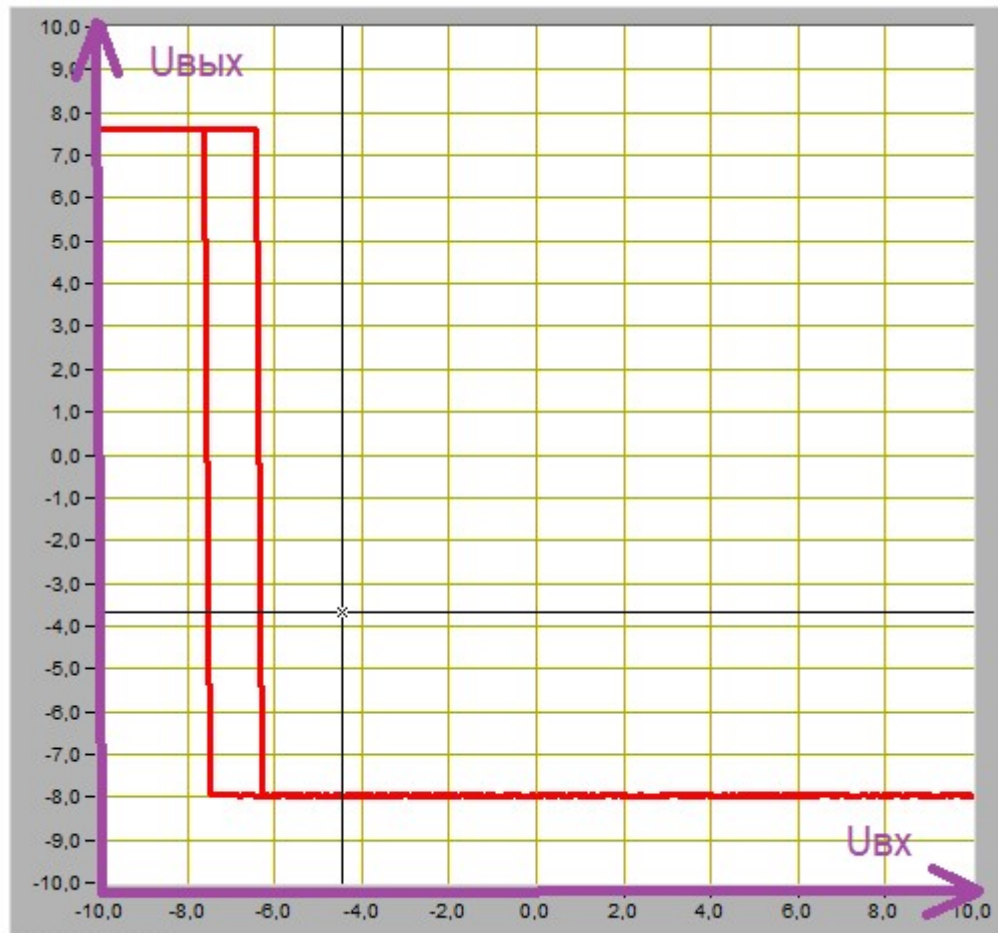


Рисунок 4.20 – передаточная характеристика гистерезисного компаратора ( $U_{CM} = -10$  В)

По графику передаточной характеристики определяем положительное и отрицательное напряжения компаратора:  $U_{вых}^+ = +7.7$  В;  $U_{вых}^- = -8$  В.

По графику передаточной характеристики определяем величину напряжения срабатывания компаратора при монотонном увеличении:  $U_{CP} = -6.3$  В, и уменьшении:  $U_{OT} = -7.7$  В - входного сигнала.

Вычисляем напряжения срабатывания и отпускания компаратора по формулам 4.1 и 4.2:

Получаем значения:

$$U_{CP} = -6.34 \text{ В}$$

$$U_{OT} = -7.55 \text{ В}$$

Устанавливая напряжение источника смещения  $U_{CM} = -5$  В, получаем изображение передаточной характеристики компаратора. График представлен на рисунке 4.21.

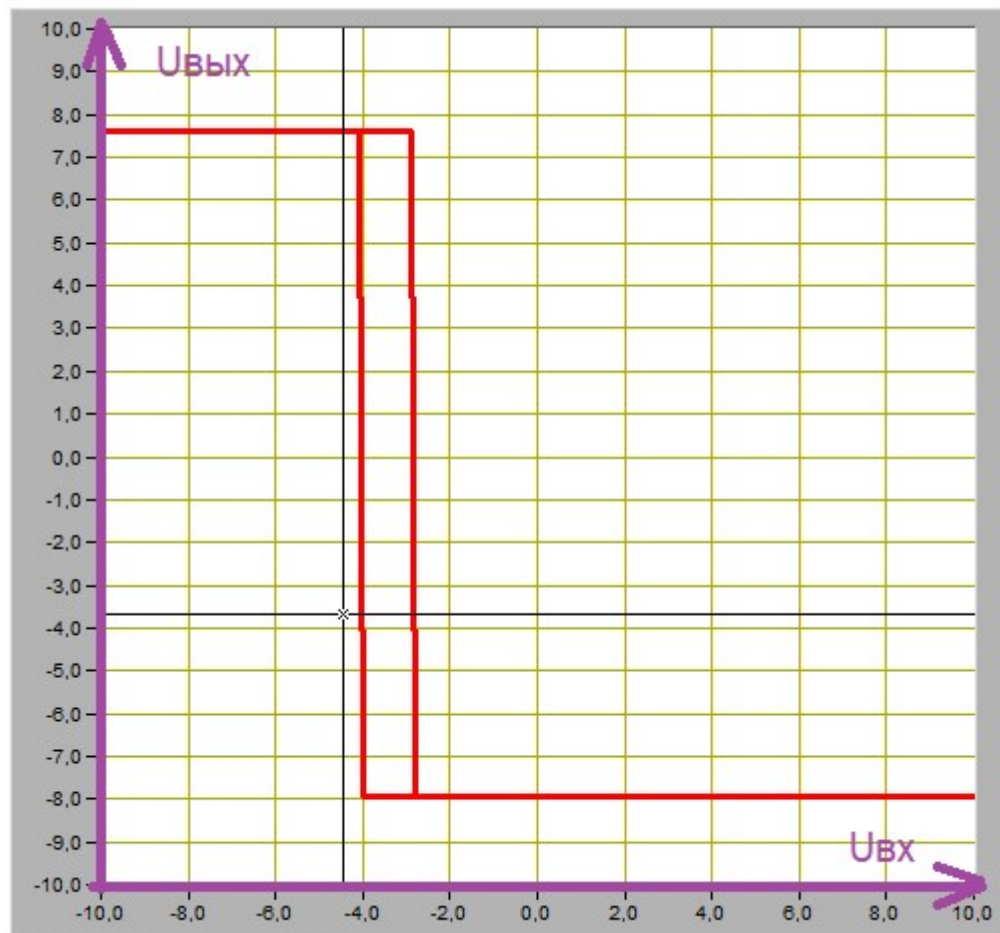


Рисунок 4.21 – передаточная характеристика гистерезисного компаратора ( $U_{CM} = -5$  В)

По графику передаточной характеристики определяем положительное и отрицательное напряжения компаратора:  $U_{вых}^+ = +7.7$  В;  $U_{вых}^- = -8$  В.

По графику передаточной характеристики определяем величину напряжения срабатывания компаратора при монотонном увеличении:  $U_{CP} = -2.8$  В, и уменьшении:  $U_{OT} = -4$  В - входного сигнала.

Вычисляем напряжения срабатывания и отпускания компаратора по формулам 4.1 и 4.2:

Получаем значения:

$$U_{CP} = -2.87 \text{ В}$$

$$U_{OT} = -4.07 \text{ В}$$

Устанавливая напряжение источника смещения  $U_{CM} = +5$  В, получаем изображение передаточной характеристики компаратора. График представлен на рисунке 4.22.

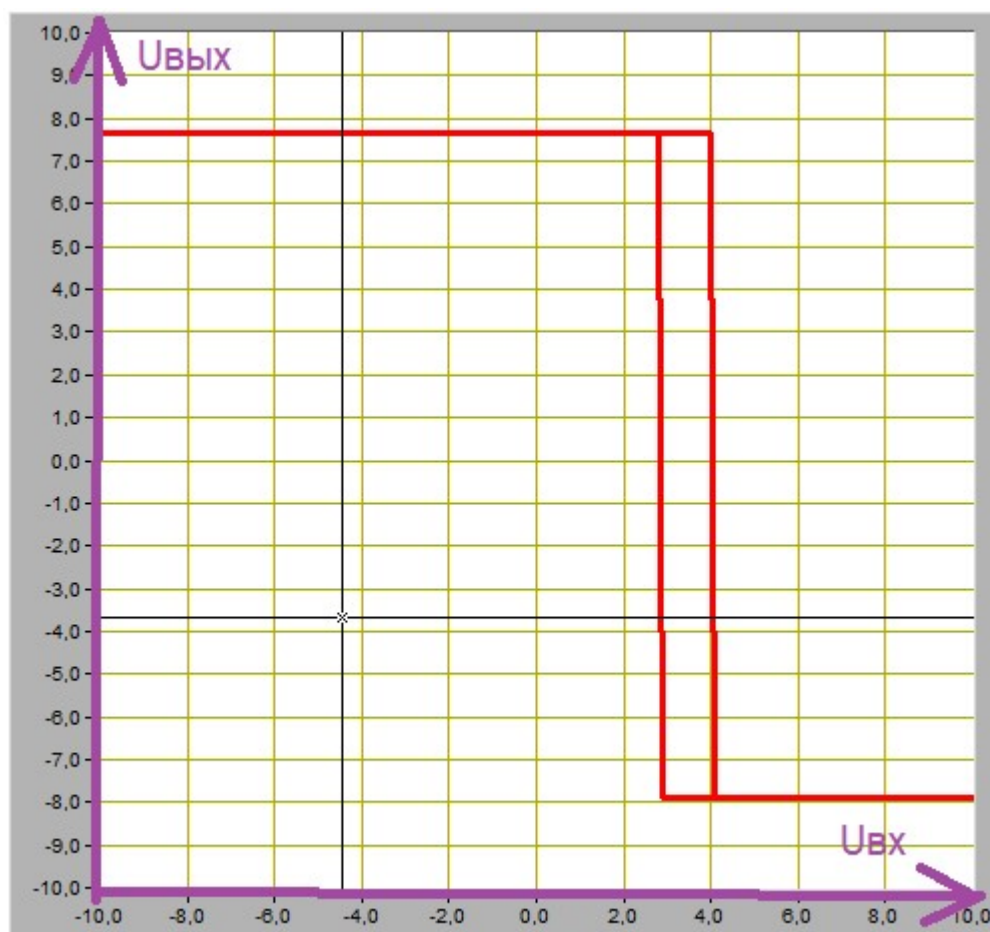


Рисунок 4.22 – передаточная характеристика гистерезисного компаратора ( $U_{CM} = +5 \text{ V}$ )

По графику передаточной характеристики определяем положительное и отрицательное напряжения компаратора:  $U_{\text{вых}}^+ = +7.7 \text{ V}$ ;  $U_{\text{вых}}^- = -8 \text{ V}$ .

По графику передаточной характеристики определяем величину напряжения срабатывания компаратора при монотонном увеличении:  $U_{CP} = -2.8 \text{ V}$ , и уменьшении:  $U_{OT} = -4 \text{ V}$  - входного сигнала.

Вычисляем напряжения срабатывания и отпускания компаратора по формулам 4.1 и 4.2:

Получаем значения:

$$U_{CP} = +4.05 \text{ V}$$

$$U_{OT} = +2.86 \text{ V}$$

Устанавливая напряжение источника смещения  $U_{CM} = +10$  В, получаем изображение передаточной характеристики компаратора. График представлен на рисунке 4.23.

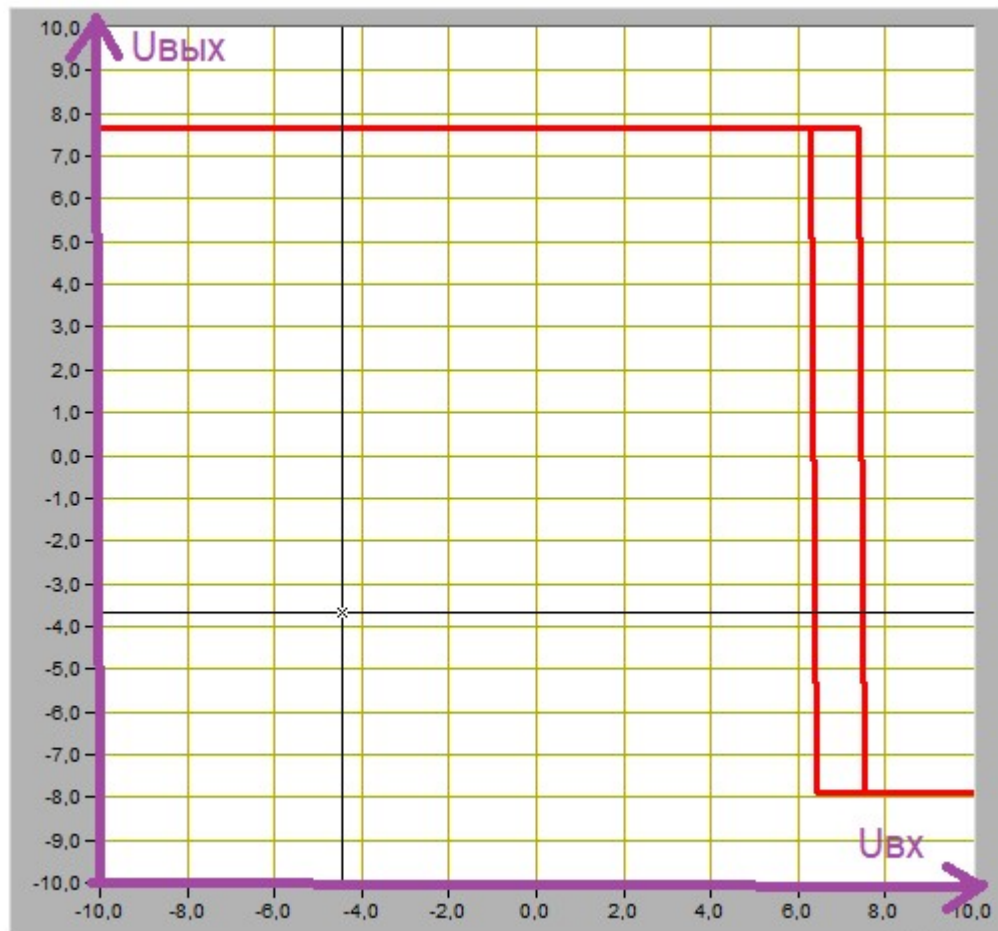


Рисунок 4.23 – передаточная характеристика гистерезисного компаратора ( $U_{CM} = +10$  В)

По графику передаточной характеристики определяем положительное и отрицательное напряжения компаратора:  $U_{вых}^+ = +7.7$  В;  $U_{вых}^- = -8$  В.

По графику передаточной характеристики определяем величину напряжения срабатывания компаратора при монотонном увеличении:  $U_{CP} = +7.5$  В, и уменьшении:  $U_{OT} = +6.3$  В - входного сигнала.

Вычисляем напряжения срабатывания и отпускания компаратора по формулам 4.1 и 4.2:

Получаем значения:

$$U_{CP} = +7.52 \text{ В}$$

$$U_{OT} = +6.33 \text{ В}$$

Величина гистерезиса не изменяется при изменении напряжения смещения и приблизительно равна 1.2 В.

#### 4.4 Исследование работы гистерезисного компаратора

Для исследования работы гистерезисного компаратора используется схема, показанная на рисунке 4.24

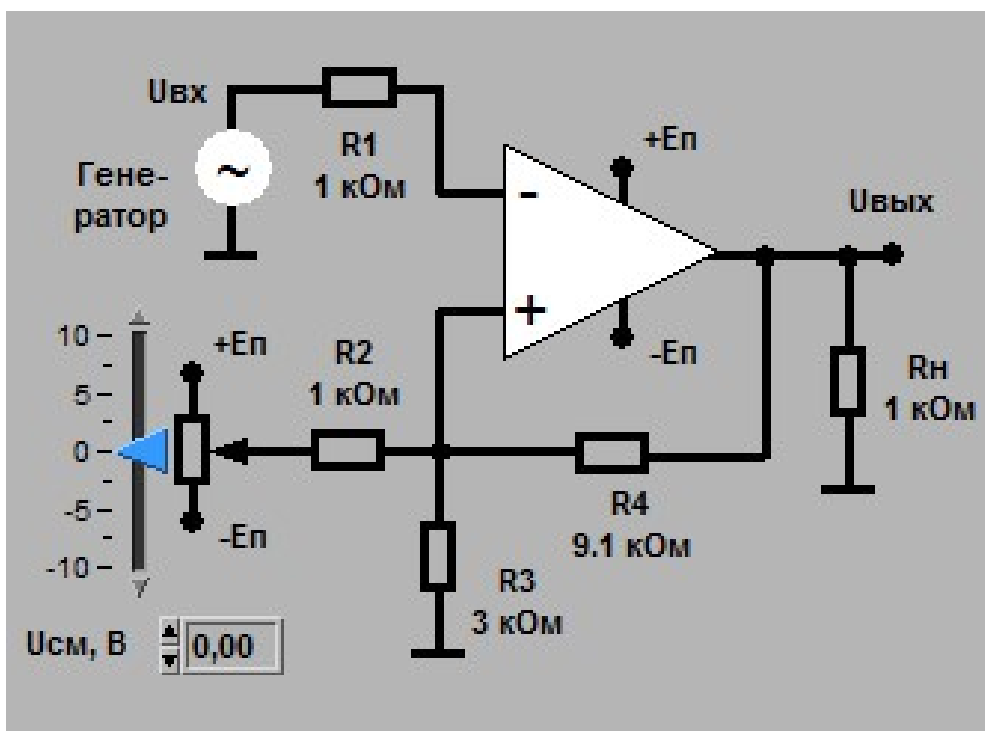


Рисунок 4.24 – схема для исследования работы гистерезисного компаратора

Устанавливаем синусоидальную форму сигнала и частоту сигнала 200 Гц, амплитуду входного сигнала 7 В, напряжение источника смещения 0 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.25.



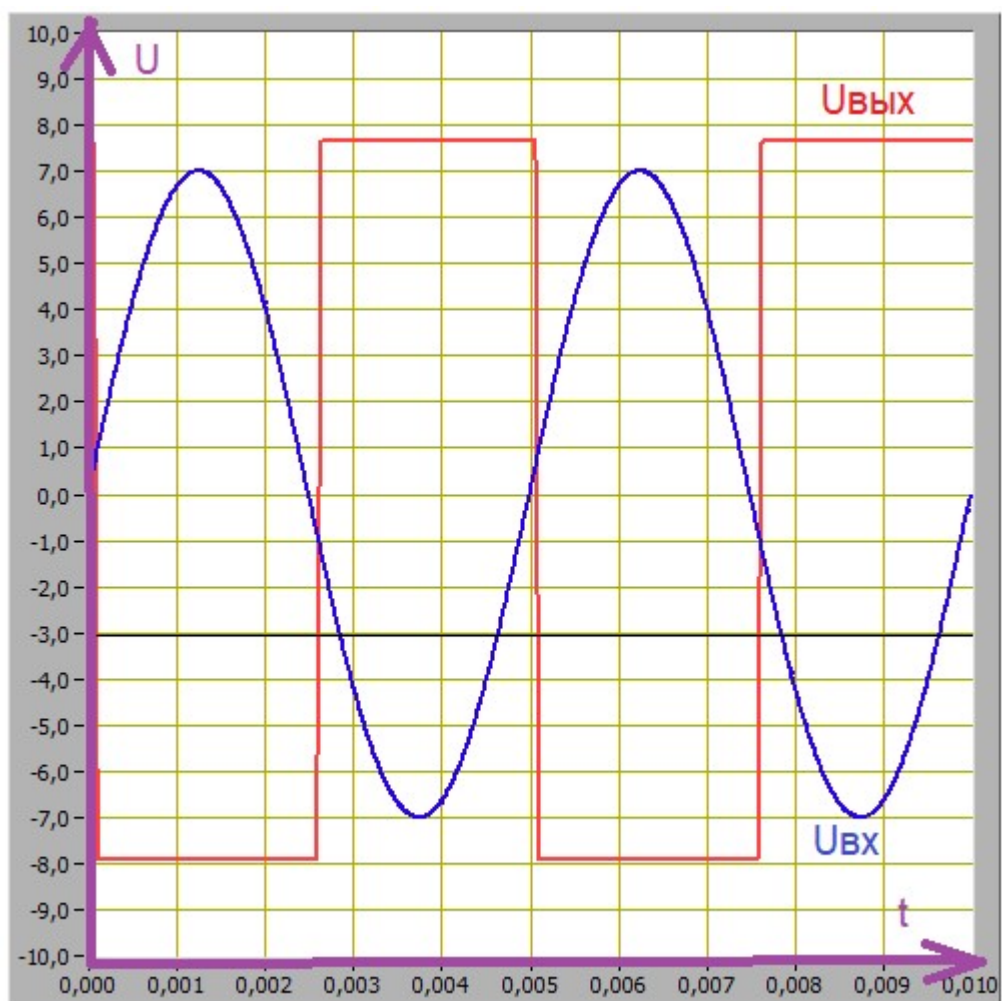


Рисунок 4.25 – график напряжения на гистерезисном компараторе ( $U_{\text{см}} = 0 \text{ В}$ )

По графику определяем величину напряжения срабатывания и отпускания:  $U_{\text{ср}} = 0.8 \text{ В}$ ,  $U_{\text{от}} = -1 \text{ В}$ .

Устанавливаем напряжение источника смещения -5 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.26.

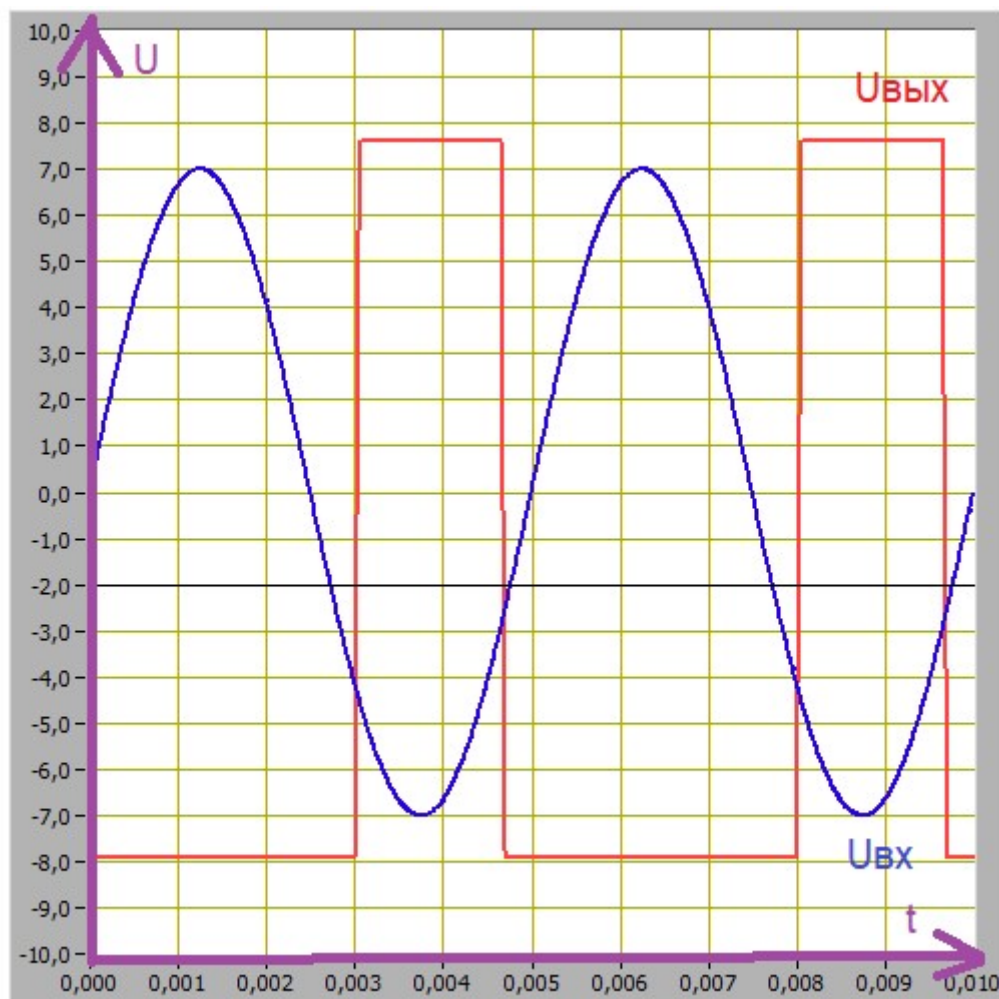


Рисунок 4.26 – график напряжения на гистерезисном компараторе ( $U_{\text{см}} = -5$  В)

По графику определяем величину напряжения срабатывания и отпускания:  $U_{\text{ср}} = -3$  В,  $U_{\text{от}} = -4.2$  В.

Устанавливаем напряжение источника смещения +5 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.27.

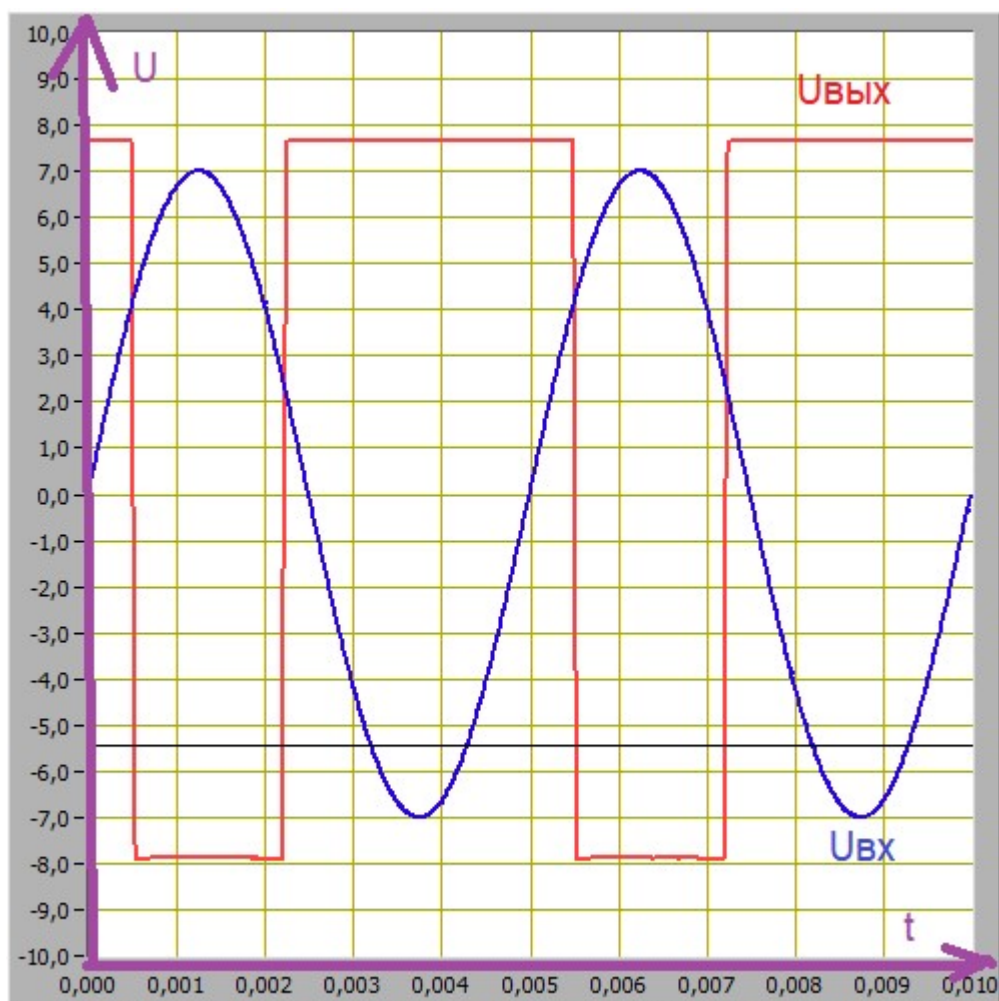


Рисунок 4.27 – график напряжения на гистерезисном компараторе ( $U_{\text{см}} = +5\text{ V}$ )

По графику определяем величину напряжения срабатывания и отпуска:  $U_{\text{ср}} = +4.1\text{ V}$ ,  $U_{\text{от}} = -2.8\text{ V}$ .

Устанавливаем треугольную форму сигнала и напряжение источника смещения 0 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.28.

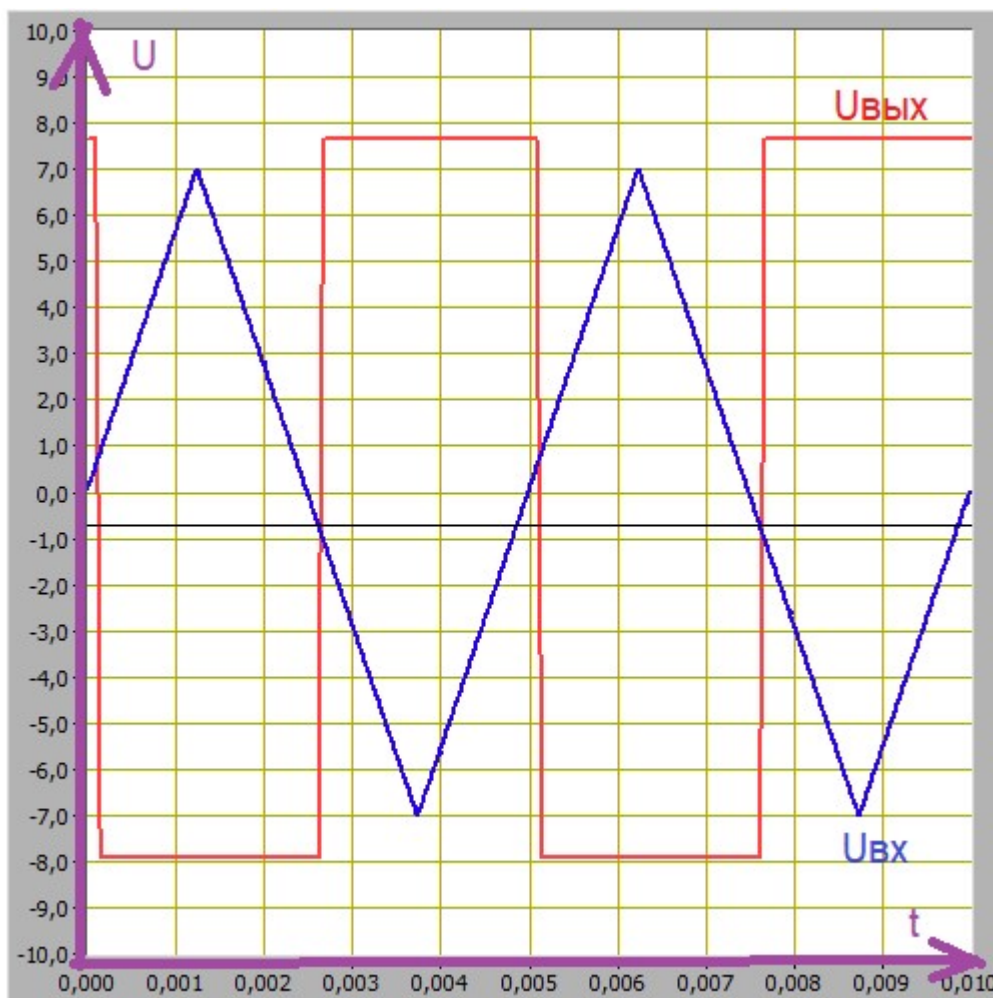


Рисунок 4.28 – график напряжения на гистерезисном компараторе ( $U_{CM} = 0$  В)

По графику определяем величину напряжения срабатывания и отпускаения:  $U_{CP} = +0.8$  В,  $U_{OT} = -0.5$  В.

Устанавливаем напряжение источника смещения -5 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.29.

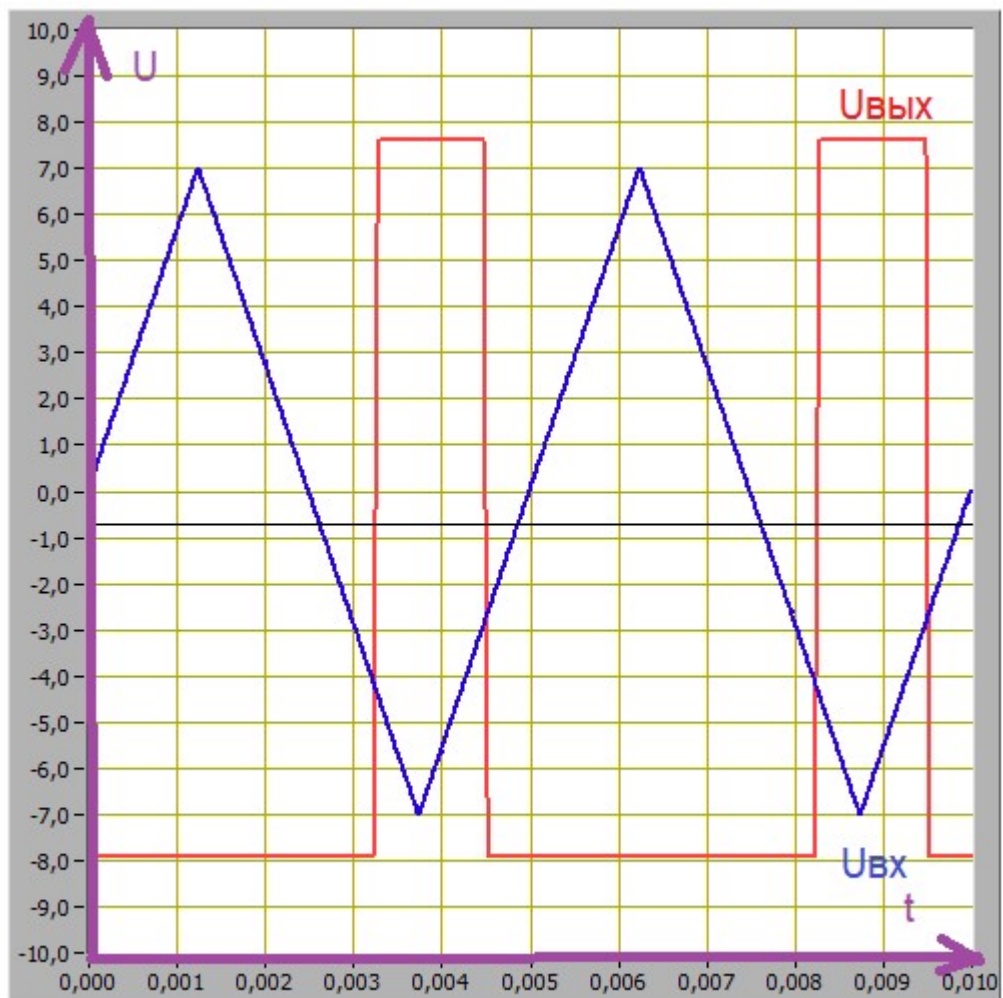


Рисунок 4.29 – график напряжения на гистерезисном компараторе ( $U_{\text{см}} = -5\text{ V}$ )

По графику определяем величину напряжения срабатывания и отпускания:  $U_{\text{ср}} = -2.7\text{ V}$ ,  $U_{\text{от}} = -4\text{ V}$ .

Устанавливаем напряжение источника смещения  $+5\text{ V}$ . Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.30.

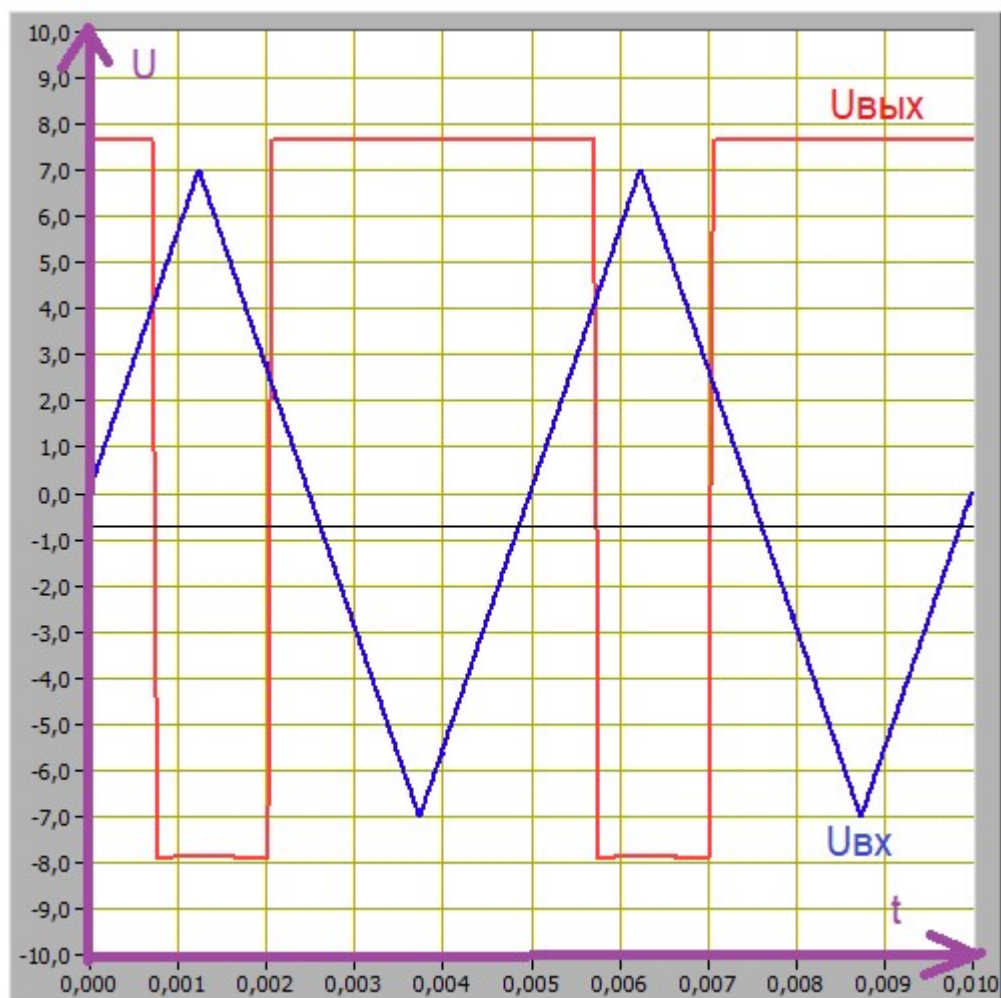


Рисунок 4.30 – график напряжения на гистерезисном компараторе ( $U_{\text{см}} = +5 \text{ В}$ )

По графику определяем величину напряжения срабатывания и отпускания:  $U_{\text{ср}} = +4 \text{ В}$ ,  $U_{\text{от}} = +2.6 \text{ В}$ .

Устанавливаем прямоугольную форму сигнала и напряжение источника смещения 0 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.31.



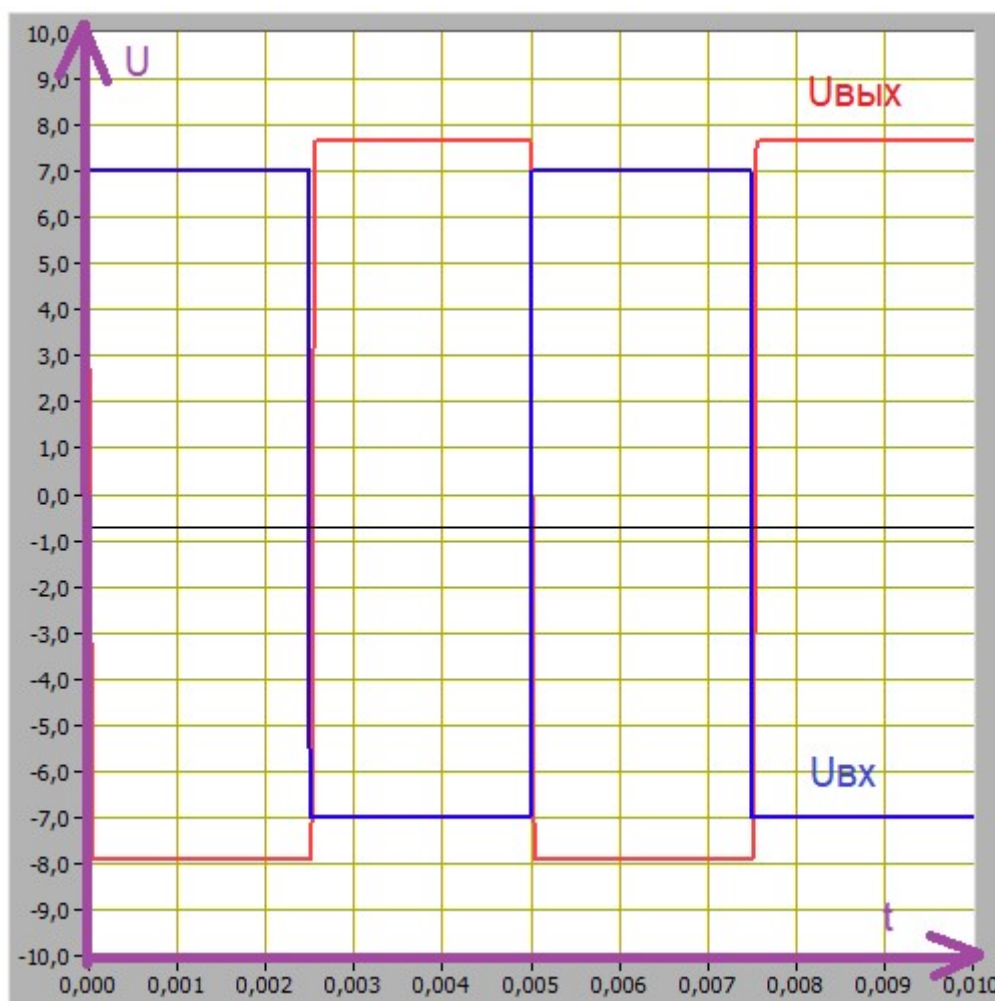


Рисунок 4.31 – график напряжения на гистерезисном компараторе ( $U_{CM} = 0 \text{ В}$ )

По графику определяем величину напряжения срабатывания и отпускания:  $U_{CP} = +0.5 \text{ В}$ ,  $U_{OT} = -0.6 \text{ В}$ .

Устанавливаем напряжение источника смещения  $-5 \text{ В}$ . Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.32.

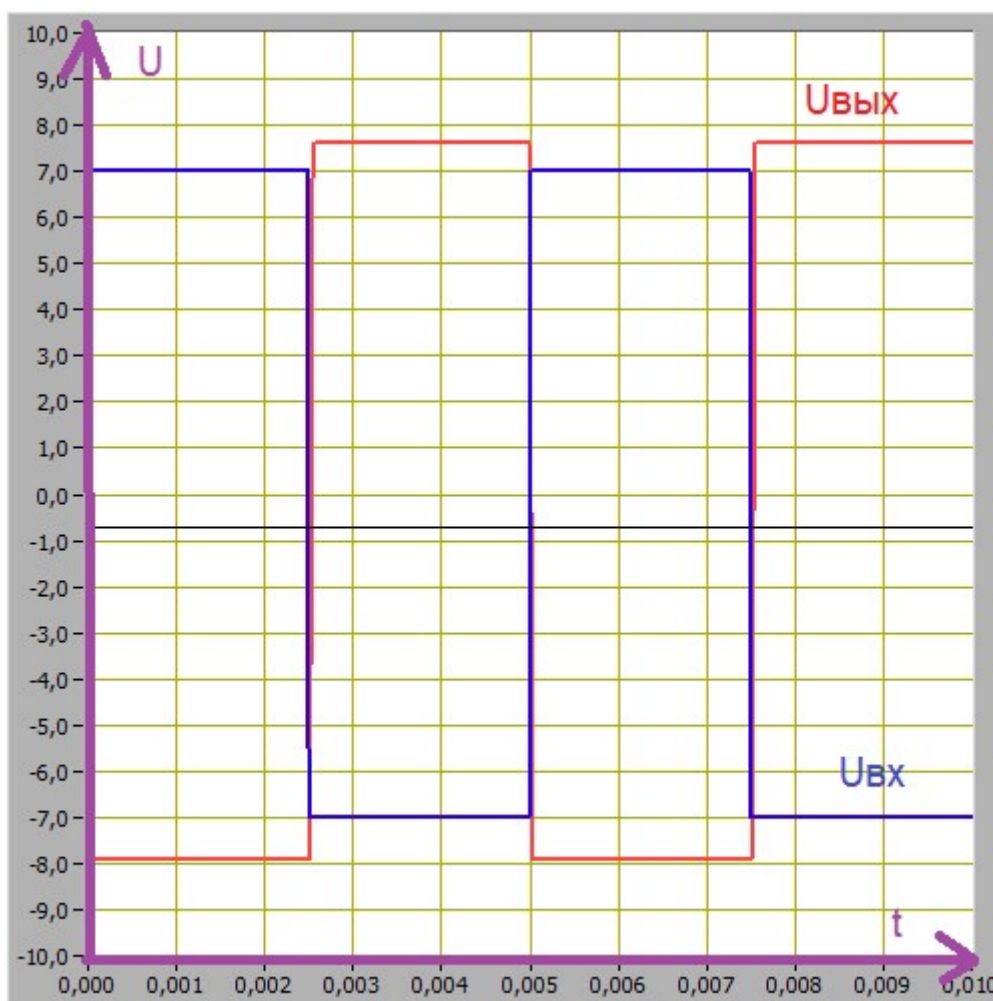


Рисунок 4.32 – график напряжения на гистерезисном компараторе  
( $U_{см} = -5 \text{ В}$ )

По графику определяем величину напряжения срабатывания и отпускания:  $U_{ср} = -2.8 \text{ В}$ ,  $U_{от} = -4.2 \text{ В}$ .

Устанавливаем напряжение источника смещения  $+5 \text{ В}$ . Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.33.



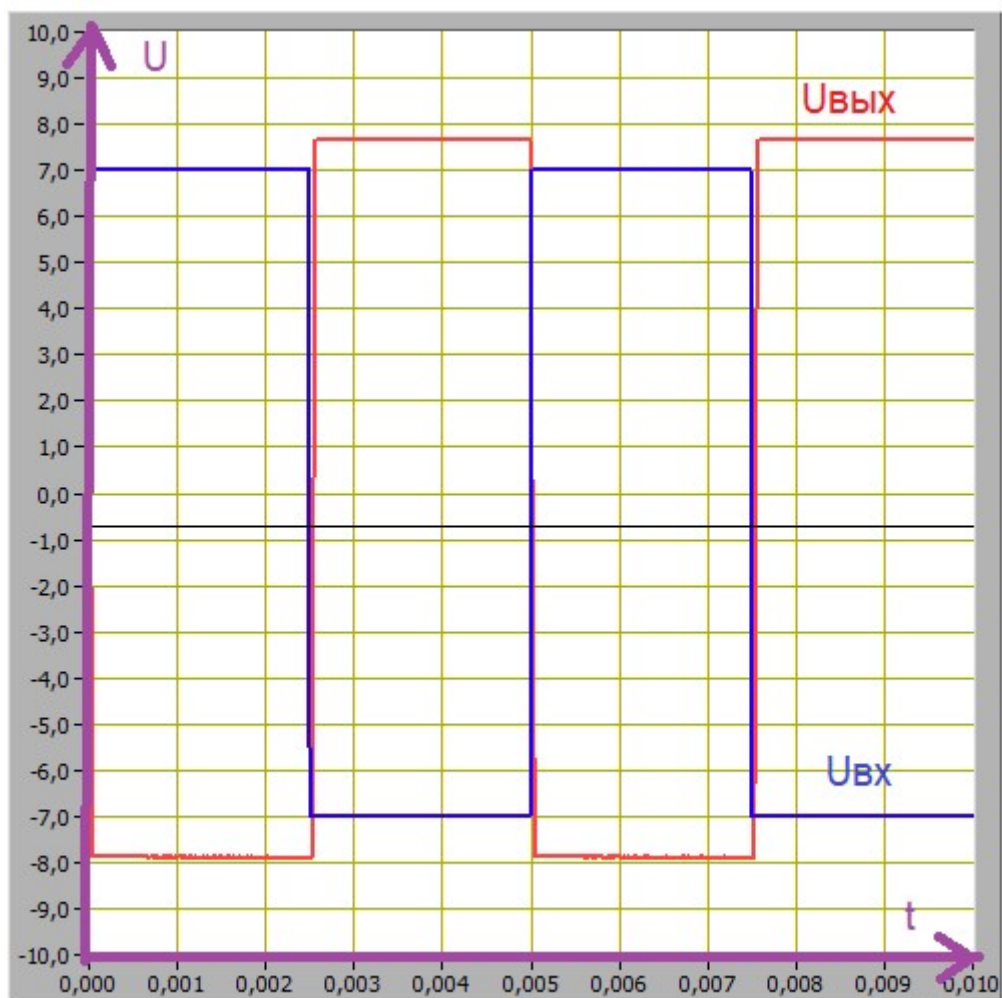


Рисунок 4.33 – график напряжения на гистерезисном компараторе ( $U_{\text{см}} = +5 \text{ В}$ )

По графику определяем величину напряжения срабатывания и отпускания:  $U_{\text{ср}} = +4.3 \text{ В}$ ,  $U_{\text{от}} = +3.2 \text{ В}$ .

Устанавливаем пилообразную форму сигнала и напряжение источника смещения 0 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.34.

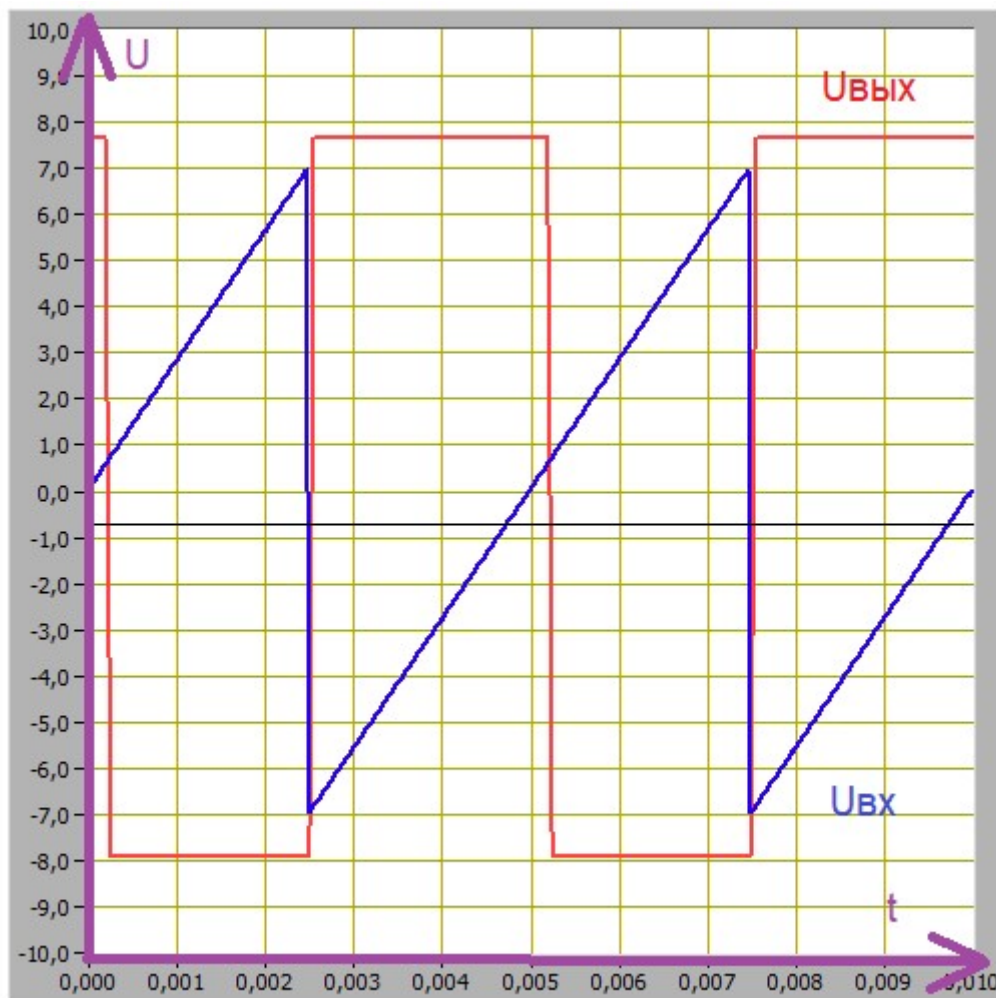


Рисунок 4.34 – график напряжения на гистерезисном компараторе ( $U_{см} = 0$  В)

По графику определяем величину напряжения срабатывания и отпускания:  $U_{ср} = +0.6$  В,  $U_{от} = -1$  В.

Устанавливаем напряжение источника смещения -5 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.35.

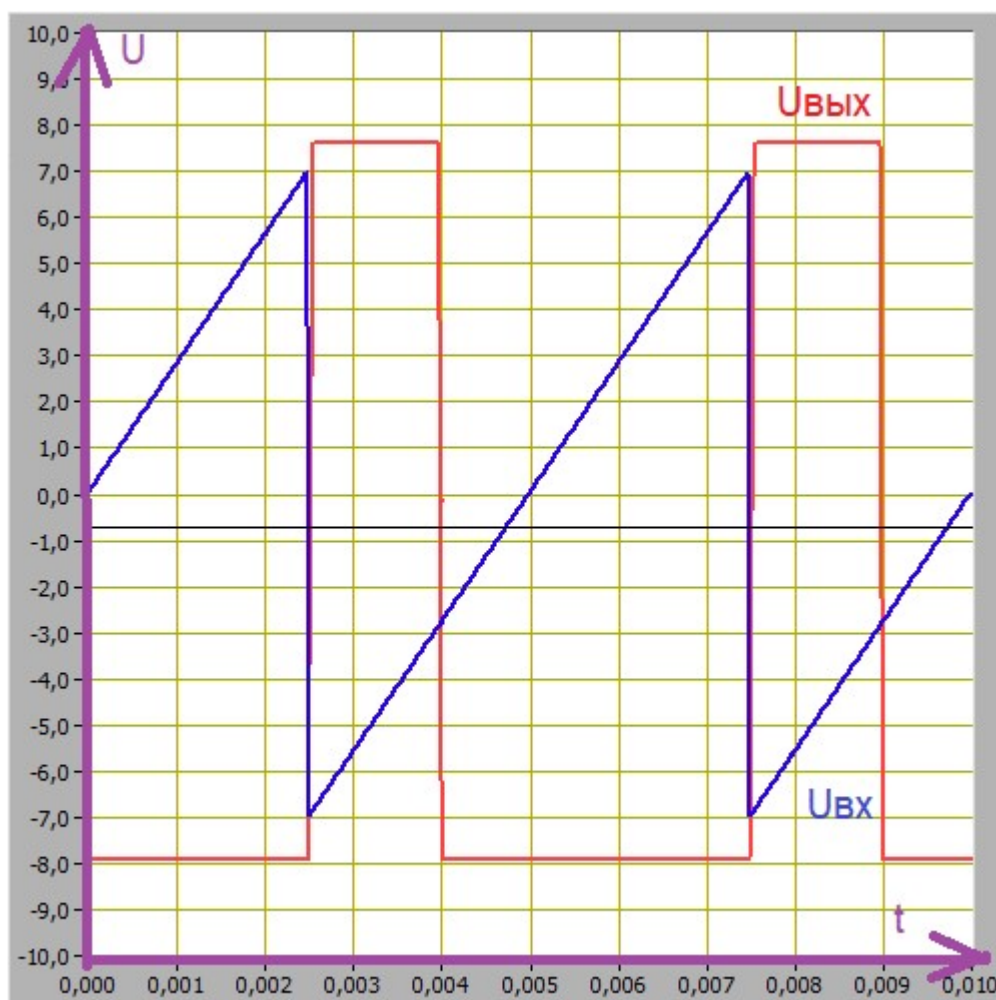


Рисунок 4.35 – график напряжения на гистерезисном компараторе ( $U_{см} = -5$  В)

По графику определяем величину напряжения срабатывания и отпуска:  $U_{ср} = -3$  В,  $U_{от} = -4$  В.

Устанавливаем напряжение источника смещения +5 В. Получаем изображение выходного сигнала. График представлен на рисунке 4.36.

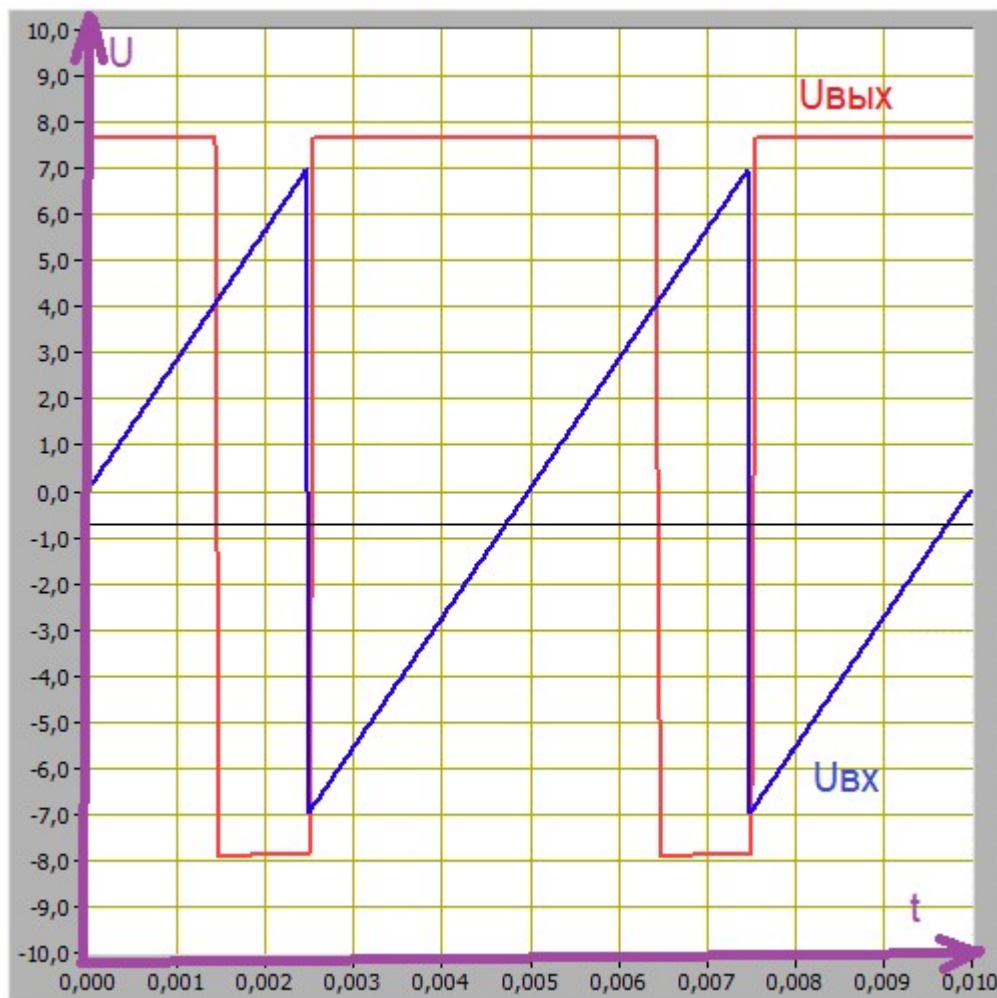


Рисунок 4.36 – график напряжения на гистерезисном компараторе ( $U_{CM} = +5 \text{ V}$ )

По графику определяем величину напряжения срабатывания и отпускания:  $U_{CP} = +4 \text{ V}$ ,  $U_{OT} = +2.5 \text{ V}$ .

## 5 ВЫВОДЫ

В процессе работы была изучена работа аналоговых компараторов напряжения.

Была получена передаточная характеристика однопорогового компаратора.

Была исследована работа однопорогового компаратора.

Была получена передаточная характеристика гистерезисного компаратора.

Была исследована работа гистерезисного компаратора.