

БГУИР

Кафедра ЭВМ

Отчёт по лабораторной работе №4

Тема: «Исследование характеристик аналоговых компараторов напряжения»

Выполнил

Проверил

Минск 2023

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить работу аналоговых компараторов напряжения.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

Для выполнения лабораторной работы необходима лабораторная станция NI ELVIS II, лабораторный модуль dLab7A. Внешний вид данного модуля изображён на рисунке 2.1.

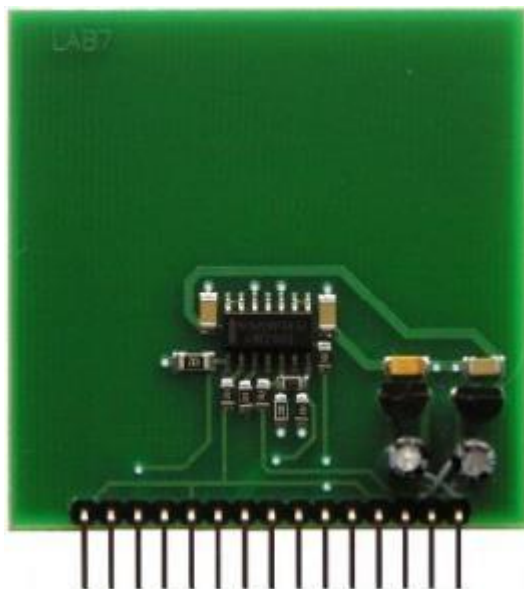


Рисунок 2.1 – Внешний вид модуля dLab7A для исследования характеристик аналоговых компараторов напряжения

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо решить следующие задачи:

- получить передаточную характеристику однопорогового компаратора;
- изучить работу однопорогового компаратора;
- получить передаточную характеристику гистерезисного компаратора;
- изучить работу гистерезисного компаратора.

3 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

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 $U_{\text{В}}$, если разность между

входными сигналами положительна и, наоборот, низкий уровень U_H , если разностное напряжение отрицательно. Эти условия записываются следующим образом:

$$U_{\text{ВЫХ}} \begin{cases} U_{\text{В}} \text{ при } U_{\text{ВХ1}} > U_{\text{ВХ2}} \text{ или } \Delta U_{\text{ВХ}} > 0 \\ U_{\text{Н}} \text{ при } U_{\text{ВХ1}} < U_{\text{ВХ2}} \text{ или } \Delta U_{\text{ВХ}} < 0 \end{cases} \quad (1.1)$$

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, используемыми 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 аналоговыми и цифровыми устройствами.

На рис. 7.1 приведена схема инвертирующего усилителя без обратной связи и его передаточная характеристика.

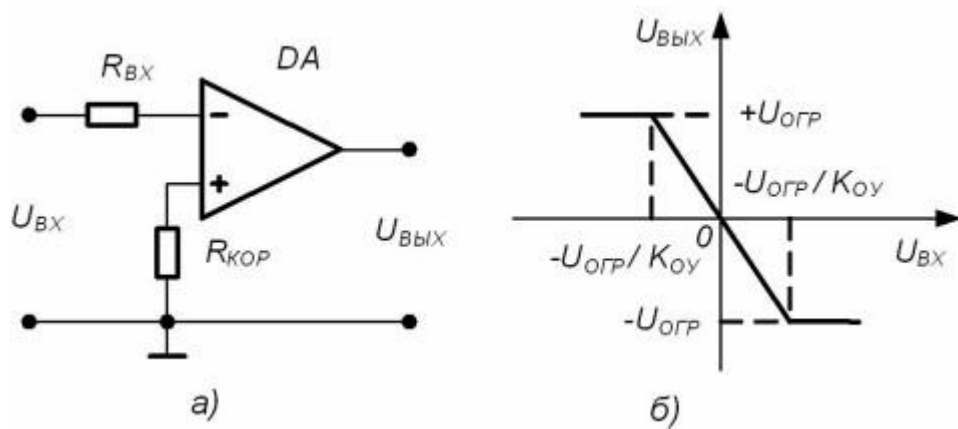


Рисунок 3.1 – Схема инвертирующего усилителя (а) и его передаточная характеристика (б)

Пока входной сигнал удовлетворяет соотношению:

$$\frac{U_{\text{огр-}}}{K_{\text{ОУ}}} < U_{\text{ВХ}} < \frac{U_{\text{огр+}}}{K_{\text{ОУ}}}, \quad (1.2)$$

где $U_{\text{огр}+}$ и $U_{\text{огр}-}$ – положительный и отрицательный уровни ограничения выходного сигнала ОУ, а $K_{\text{оу}}$ – коэффициент усиления ОУ, схема работает в линейном режиме и выходной сигнал изменяется пропорционально входному.

При нарушении условия (7.2) 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:

$$|\Delta U_{\text{вх}}| > \frac{|U_{\text{огр}}|}{K_{\text{оу}}}. \quad (1.3)$$

Диапазон значений входного сигнала, соответствующий условию (1.3), является зоной неопределенности компаратора и определяет его погрешность. Абсолютная величина этой погрешности равна:

$$\Delta = \frac{|U_{\text{огр}}|}{K_{\text{оу}}}. \quad (1.4)$$

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 описывается выражением:

$$K_{\text{пос}} = \frac{K}{1 - K * b_{\text{ос}}}, \quad (1.5)$$

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

Из (1.5) следует, что 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.

Однопороговыми называются устройства сравнения, для которых коэффициент усиления используемого усилителя всегда остается положительным. 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:

$$b_{OC} \leq \frac{1}{K_{OY}}. \quad (1.6)$$

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

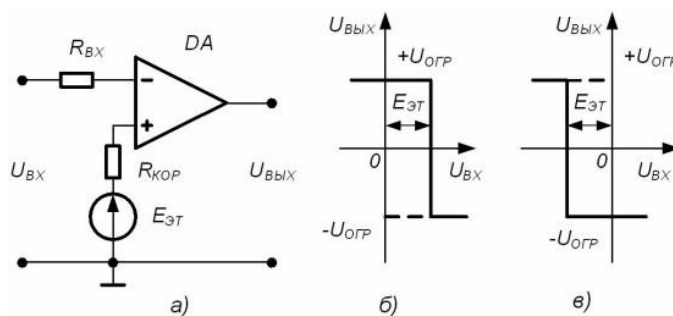


Рисунок 3.2 – Схема однопорогового компаратора со смещённым порогом срабатывания (а) и его передаточные характеристики при $E_{\text{эт}} > 0$ (б) и $E_{\text{эт}} < 0$ (в)

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.

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

$$b_{OC} > \frac{1}{K_{OY}}. \quad (1.7)$$

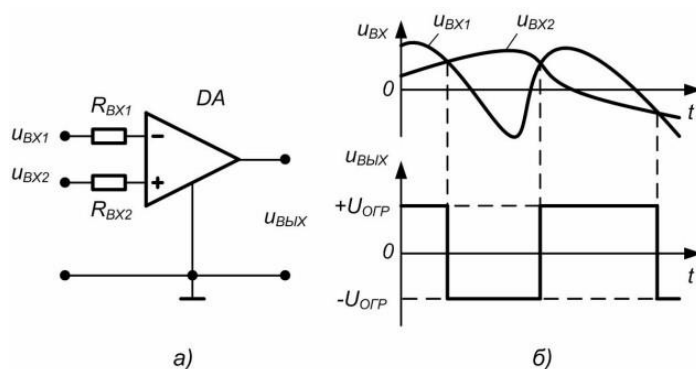


Рисунок 3.3 – Однопороговая схема сравнения двух напряжений (а) и временные диаграммы, поясняющие её работу (б)

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.

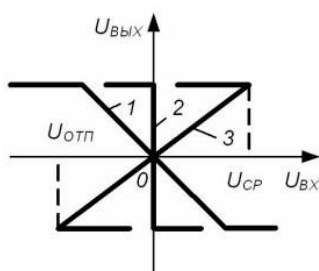


Рисунок 3.4 – Передаточные характеристики ОУ с цепью ПОС при $b_{OC} = 1 < K_{OY}(1)$, $b_{OC} = 1/K_{OY}(2)$, и $b_{OC} = 1 > K_{OY}(3)$

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 $+U_{огр}$. Тогда к неинвертирующему входу ОУ приложено положительное напряжение

$$U_{вхн} = \frac{U_{огр} * R2}{R1 + R2}. \quad (1.8)$$

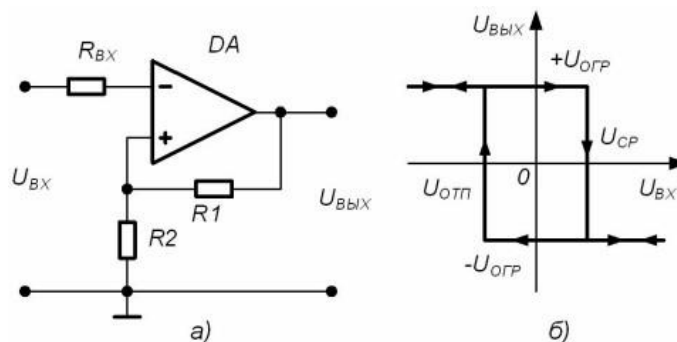


Рисунок 3.5 – Схема гистерезисного компаратора (а) и его передаточная характеристика (б)

Такое состояние схемы является устойчивым и будет поддерживаться до тех пор, пока изменяющееся входное напряжение 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

$$U_{вхн} = -\frac{U_{огр} * R2}{R1 + R2}. \quad (1.9)$$

Данное состояние также будет устойчивым до тех пор, пока входное напряжение не уменьшится до такого же уровня.

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

$$U_{сп} = \frac{U_{огр} * R2}{R1 + R2}, \quad (1.10)$$

$$U_{отп} = -\frac{U_{огр} * R2}{R1 + R2}. \quad (1.11)$$

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 3.6а.

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 3.5а, т.е. выражением (7.10). На рис. 7.6б приведена передаточная характеристика данной схемы сравнения. Из рисунка видно, что она несимметрична относительно начала координат.

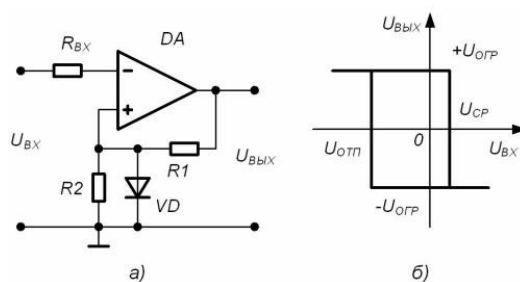


Рисунок 3.6 – Схема гистерезисного компаратора с цепью нелинейной ПОС (а) и его передаточная характеристика (б)

Асимметрию передаточной характеристике схемы сравнения можно придать (как и в случае однопорогового устройства), используя дополнительные источники смещения. Пример такого решения приведен на рисунке 3.7а. Здесь источник смещения $E_{см}$ подключен к неинвертирующему входу ОУ через резистор $R_{дел}$. Напряжение на неинвертирующем входе равно

$$U_{вхн} = \frac{E_{см}/R_{дел} + U_{вых}/R2}{1/R1 + 1/R2 + 1/R_{дел}}. \quad (1.12)$$

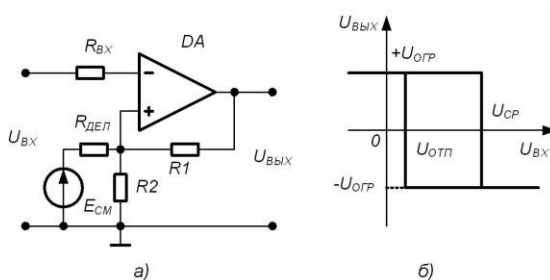


Рисунок 3.7 – Схема гистерезисного компаратора со смещённой характеристикой (а) и его передаточная характеристика (б)

Тогда напряжения срабатывания и отпускания компаратора определяются выражениями:

$$U_{\text{ср}} = \frac{E_{\text{см}}/R_{\text{дел}} + U_{\text{огр}}/R_2}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{\text{дел}}}, \quad (1.13)$$

$$U_{\text{отп}} = \frac{E_{\text{см}}/R_{\text{дел}} - U_{\text{огр}}/R_2}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{\text{дел}}}. \quad (1.14)$$

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.

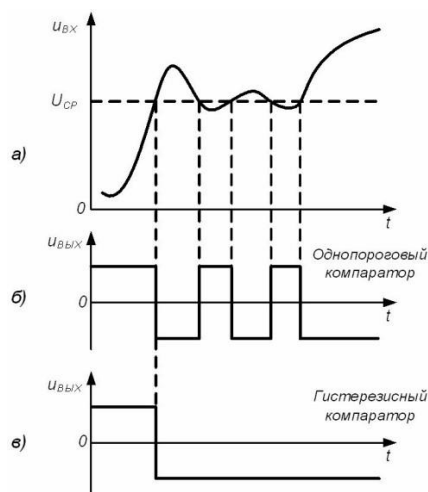


Рисунок 3.8 – Временные диаграммы работы компараторов в условиях действия напряжения помехи: входной сигнал (а), выходной сигнал однопорогового (б) и гистерезисного (в) компараторов

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

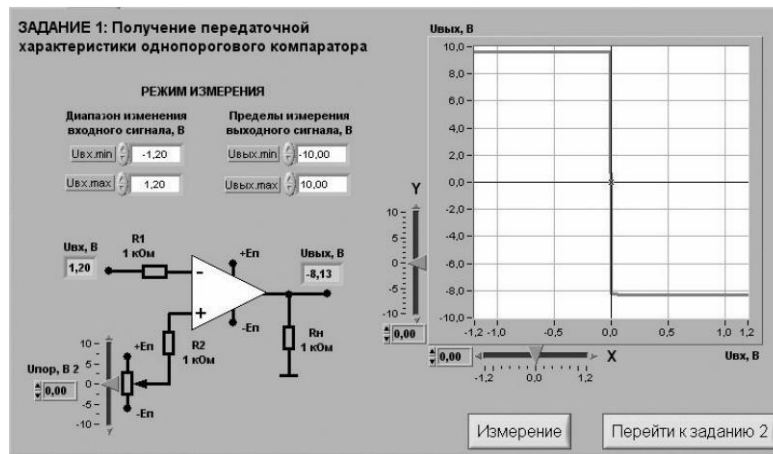


Рисунок 4.1 – Лицевая панель ВП при получении передаточной характеристики однопорогового компаратора

График передаточных характеристик однопорогового компаратора при пороговом напряжении 0В изображён на рисунке 4.2.

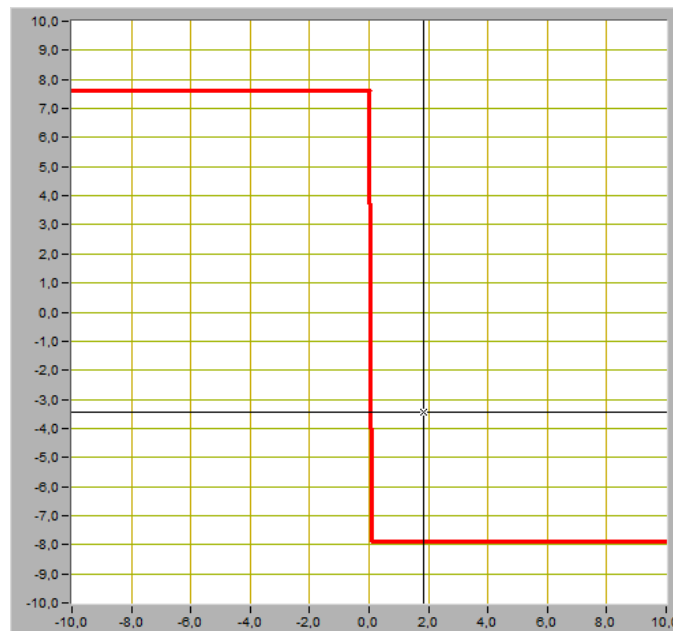


Рисунок 4.2 – Передаточные характеристики однопорогового компаратора при пороговом напряжении 0В

График передаточных характеристик однопорогового компаратора при пороговом напряжении -2,5В изображён на рисунке 4.3.

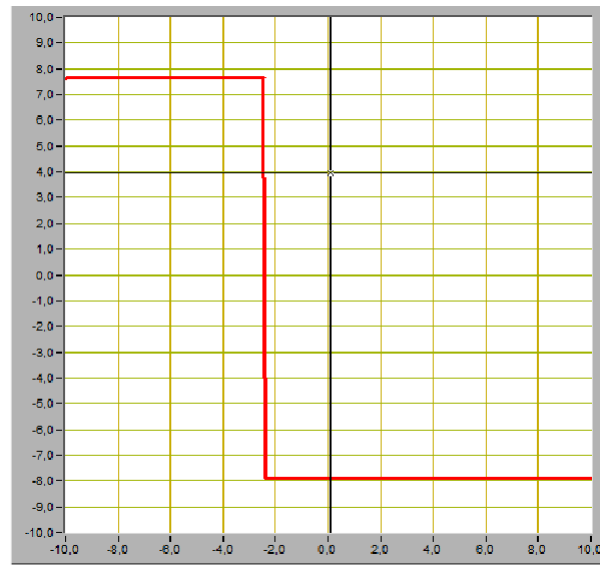


Рисунок 4.3 - Передаточные характеристики однопорогового компаратора при пороговом напряжении -2,5В

График передаточных характеристик однопорогового компаратора при пороговом напряжении 1,7В изображён на рисунке 4.4.

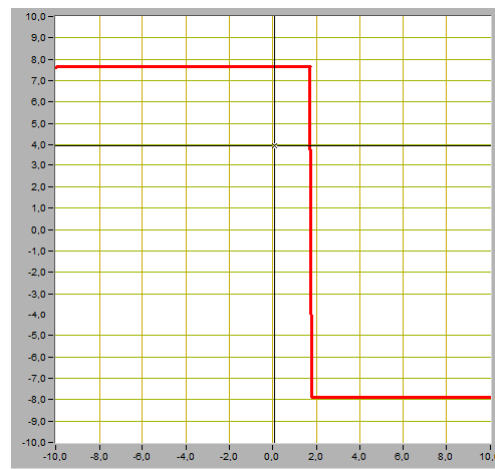


Рисунок 4.4 - Передаточные характеристики однопорогового компаратора при пороговом напряжении 1,7В

4.2 Исследование работы однопорогового компаратора

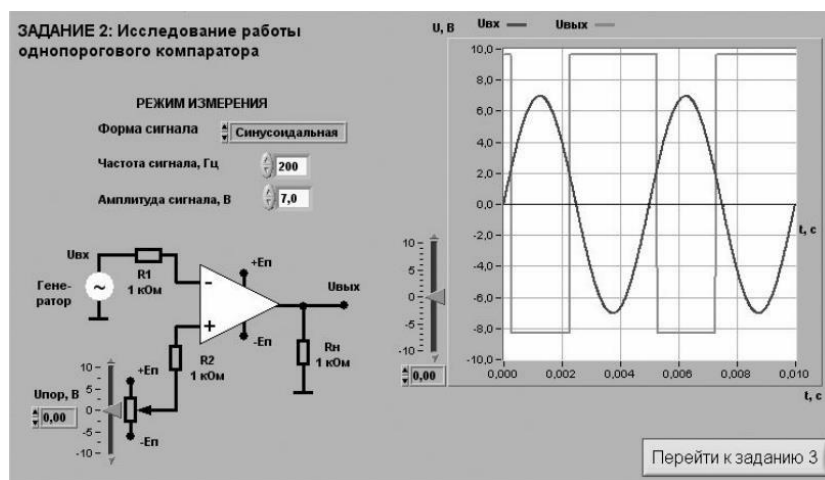


Рисунок 4.5 – Лицевая панель ВП при исследовании работы однопорогового компаратора

График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 0В и синусоидальной форме сигнала изображён на рисунке 4.6.

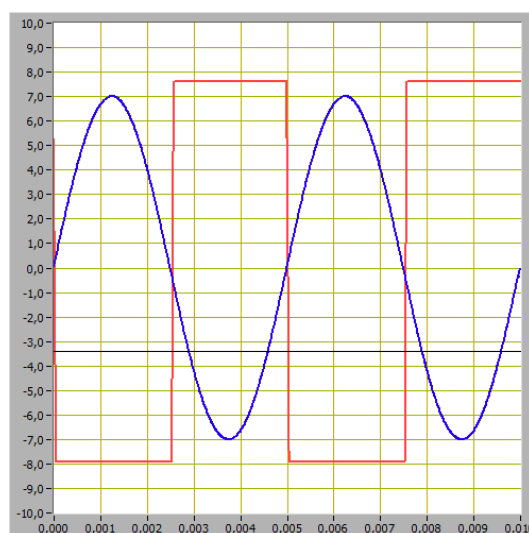


Рисунок 4.6 - График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 0В и синусоидальной форме сигнала

График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении -5В и синусоидальной форме сигнала изображён на рисунке 4.7.

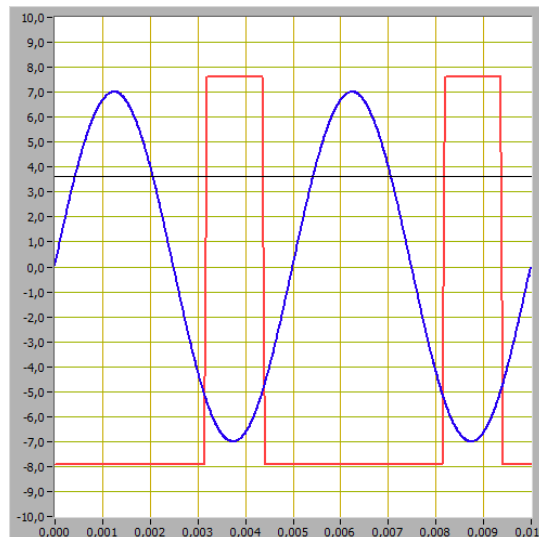


Рисунок 4.7 - График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении -5В и синусоидальной форме сигнала

График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 5В и синусоидальной форме сигнала изображён на рисунке 4.8.

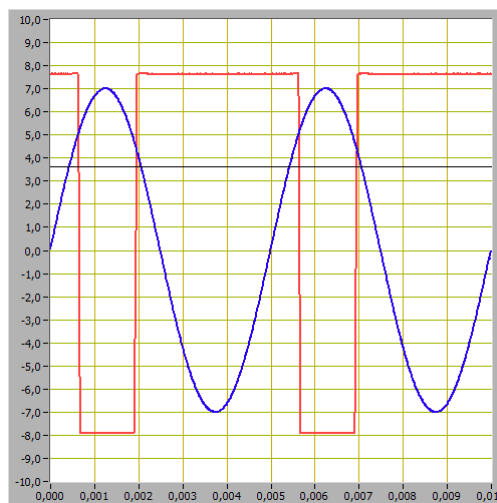


Рисунок 4.8 - График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 5В и синусоидальной форме сигнала

График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 0В и треугольной форме сигнала изображён на рисунке 4.9.

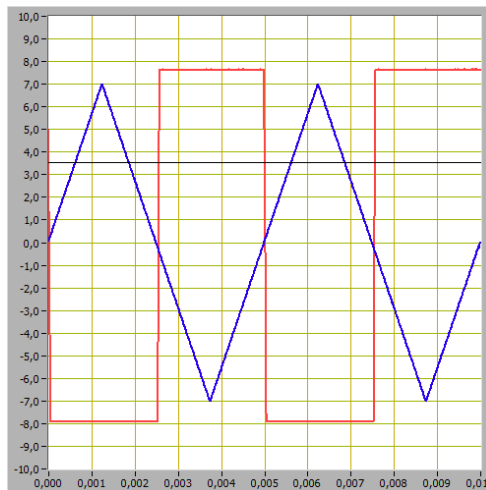


Рисунок 4.9 - График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 0В и треугольной форме сигнала

График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении -5В и треугольной форме сигнала изображён на рисунке 4.10.

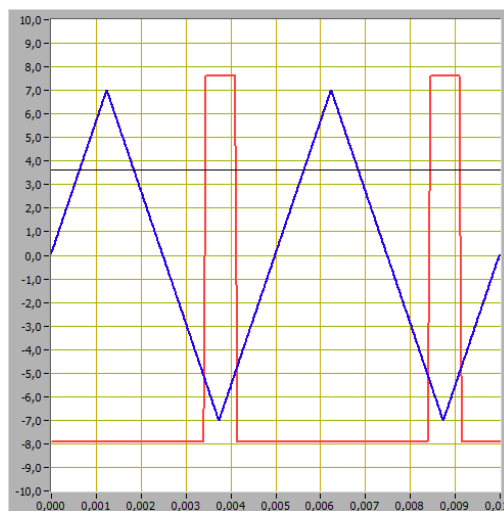


Рисунок 4.10 - График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении -5В и треугольной форме сигнала

График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 5В и треугольной форме сигнала изображён на рисунке 4.11.

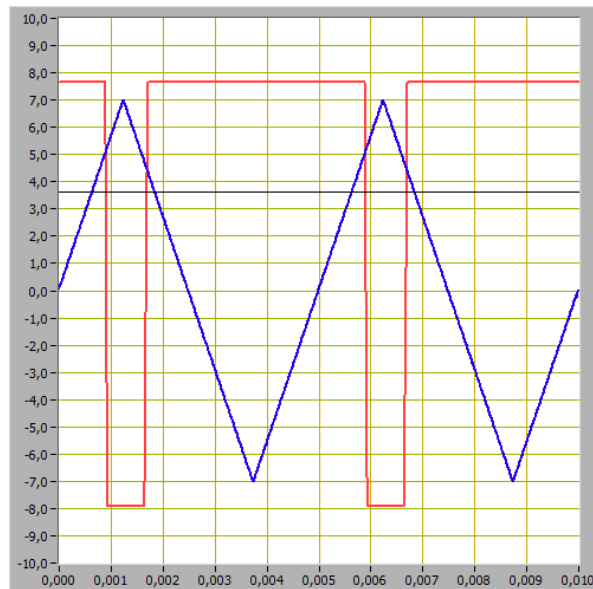


Рисунок 4.11 - График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 5В и треугольной форме сигнала

График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 0В и пилообразной форме сигнала изображён на рисунке 4.12.

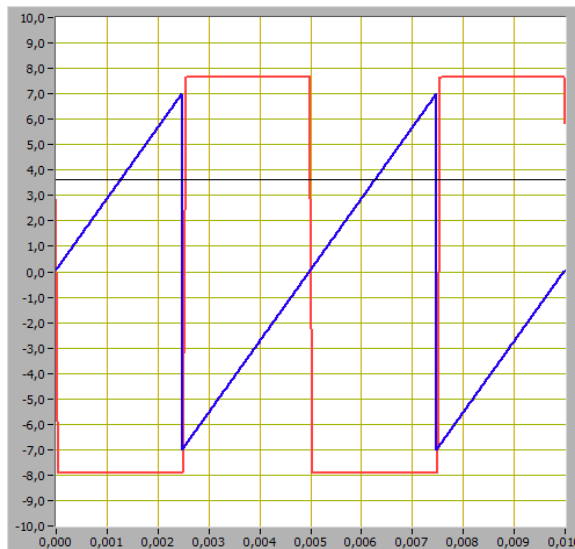


Рисунок 4.12 - График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 0В и пилообразной форме сигнала

График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении -5В и пилообразной форме сигнала изображён на рисунке 4.13.

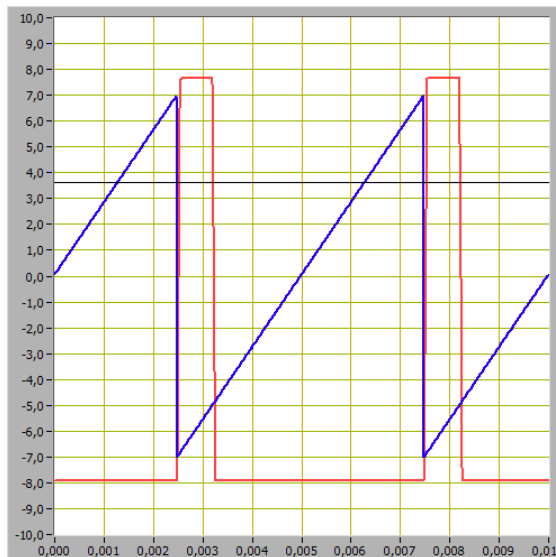


Рисунок 4.13 - График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении -5В и пилообразной форме сигнала

График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 5В и пилообразной форме сигнала изображён на рисунке 4.14.

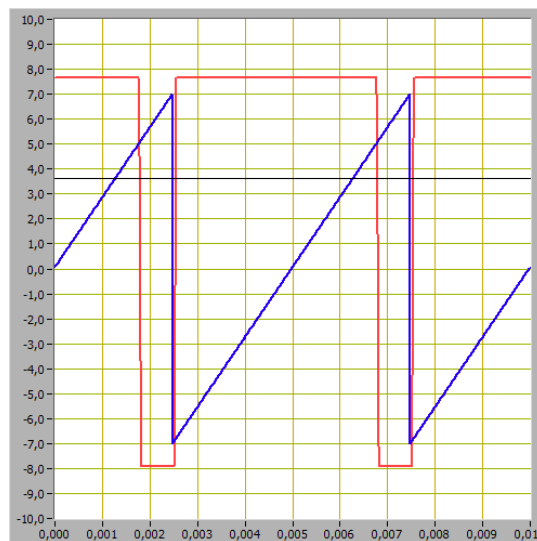


Рисунок 4.14 - График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 5В и пилообразной форме сигнала

График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 0В и прямоугольной форме сигнала изображён на рисунке 4.15.

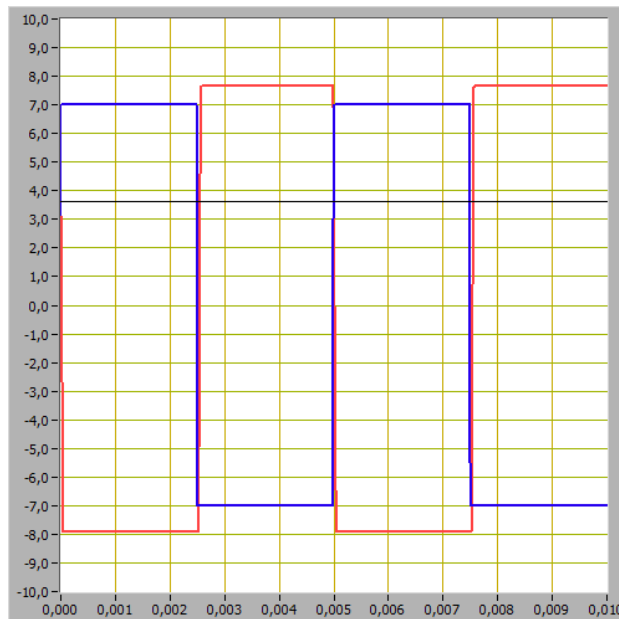


Рисунок 4.15 - График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 0В и прямоугольной форме сигнала

График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении -5В и прямоугольной форме сигнала изображён на рисунке 4.16.

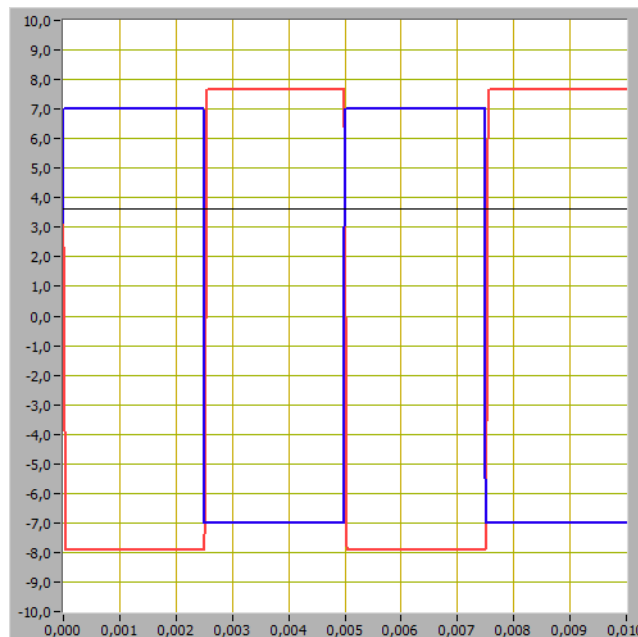


Рисунок 4.16 - График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении -5В и прямоугольной форме сигнала

График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 5В и прямоугольной форме сигнала изображён на рисунке 4.17.

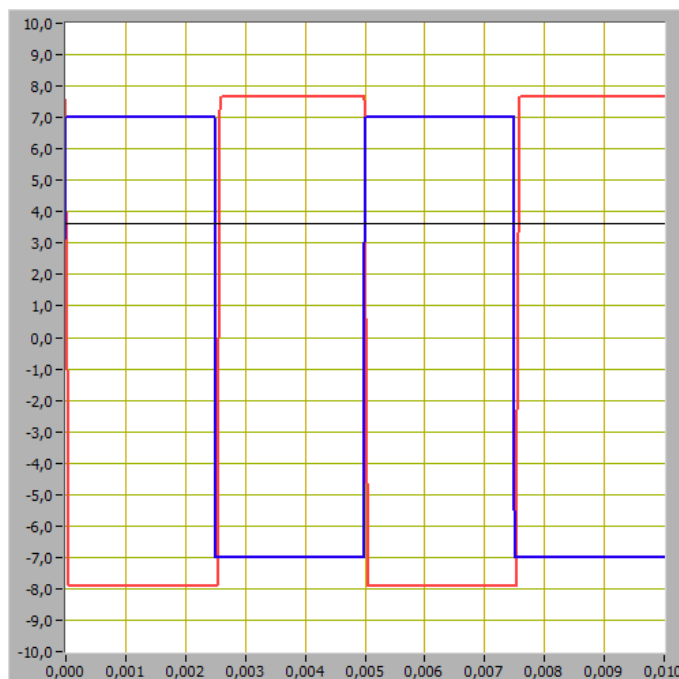


Рисунок 4.17 - График входного и выходного сигналов однопорогового компаратора при пороговом напряжении 5В и прямоугольной форме сигнала

4.3 Получение передаточной характеристики гистерезисного компаратора

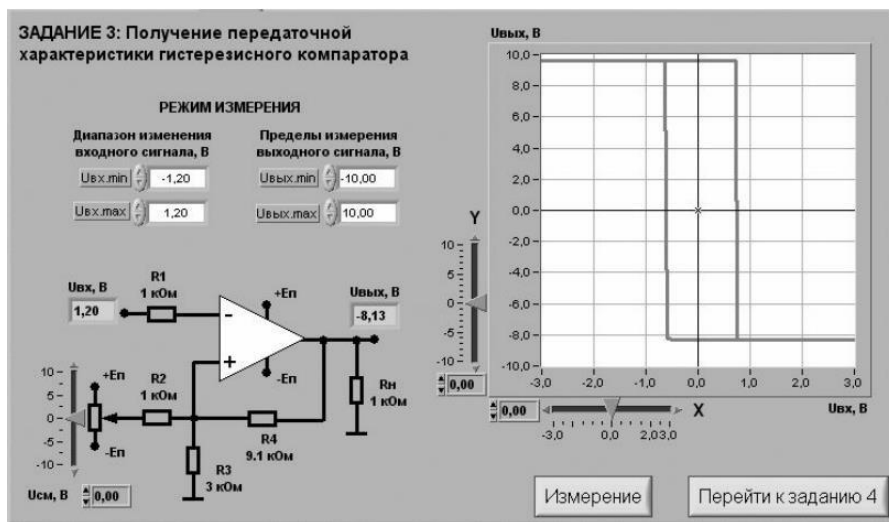


Рисунок 4.18 – Лицевая панель ВП при получении передаточной характеристики гистерезисного компаратора

График передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения 0В изображён на рисунке 4.19.

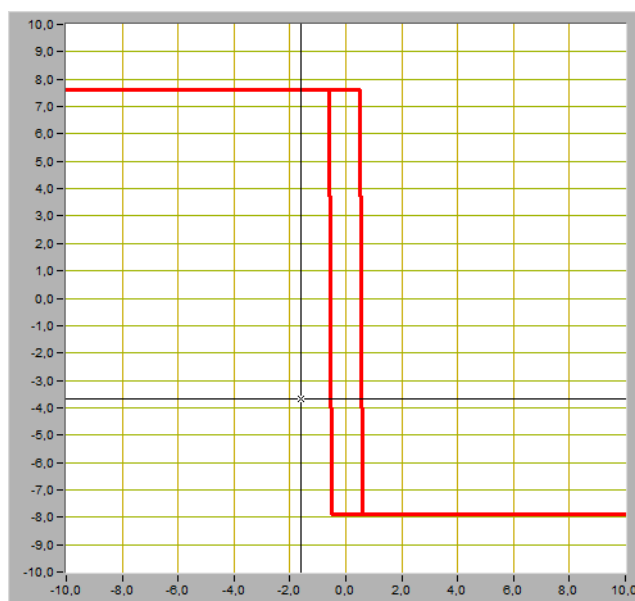


Рисунок 4.19 - График передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения 0В

График передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения -10В изображён на рисунке 4.20.

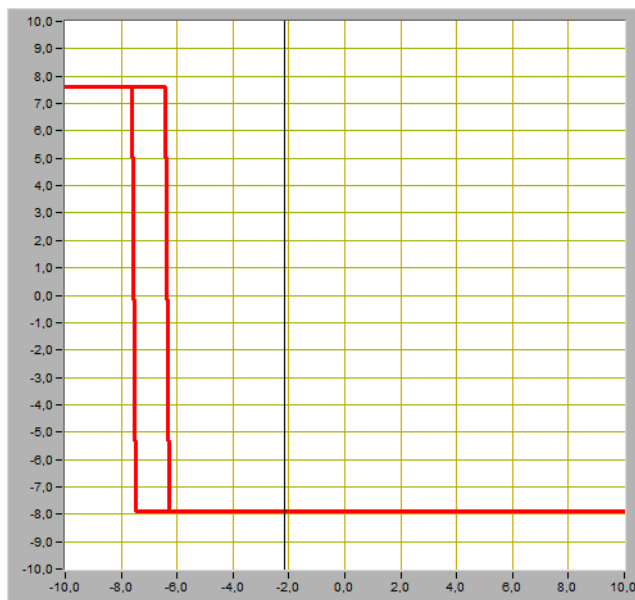


Рисунок 4.20 - График передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения -10В

График передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения -5В изображён на рисунке 4.21.

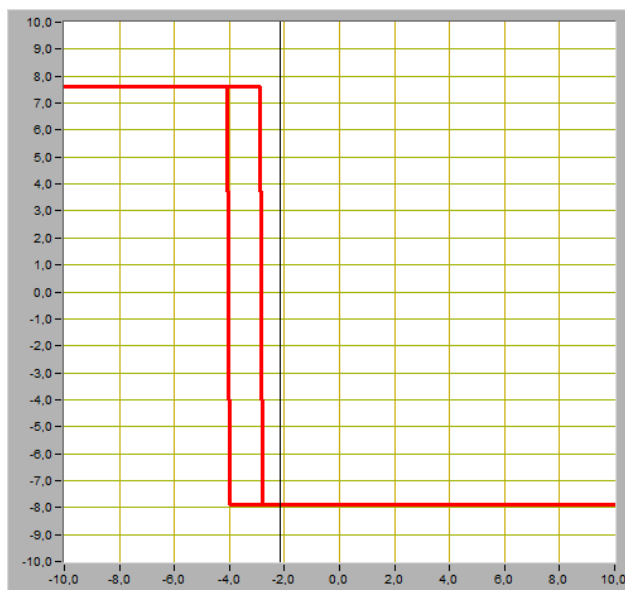


Рисунок 4.21 - График передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения -5В

График передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения 5В изображён на рисунке 4.22.

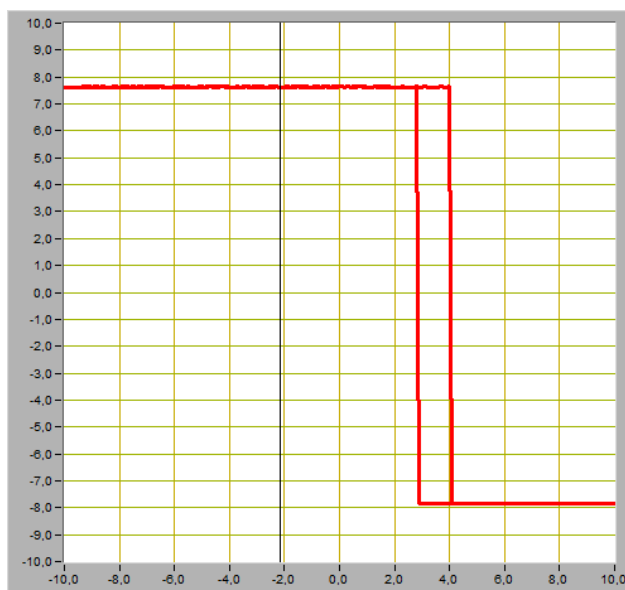


Рисунок 4.22 - График передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения 5В

График передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения 10В изображён на рисунке 4.23.

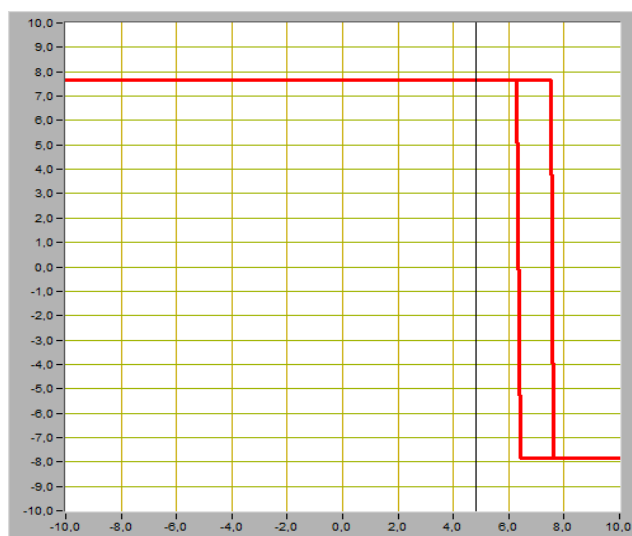


Рисунок 4.23 - График передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения 10В

4.4 Исследование работы гистерезисного компаратора

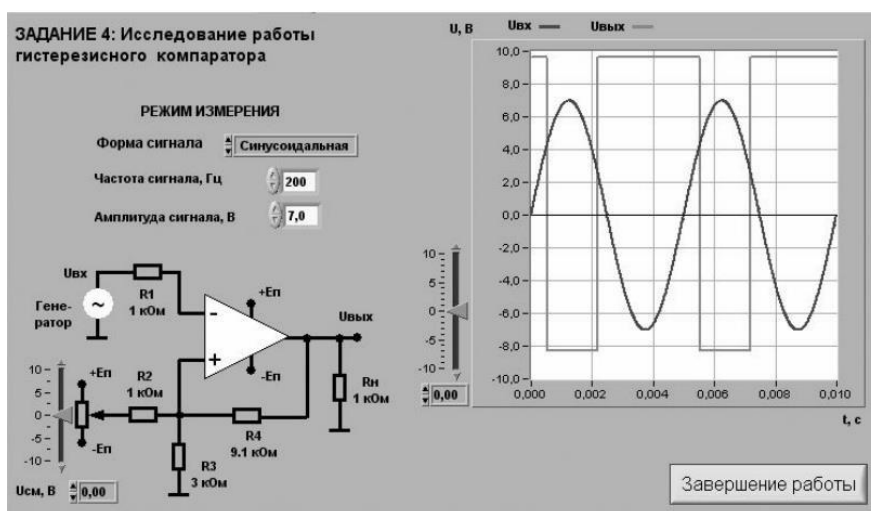


Рисунок 4.24 – Лицевая панель ВП при исследовании работы гистерезисного компаратора

График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 0В и синусоидальной форме сигнала изображён на рисунке 4.25.

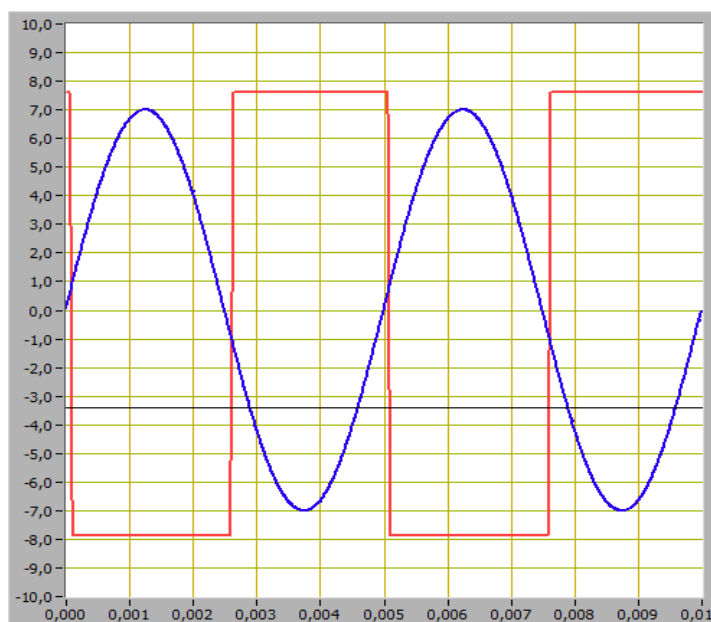


Рисунок 4.25 - График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 0В и синусоидальной форме сигнала

График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения -5В и синусоидальной форме сигнала изображён на рисунке 4.26.

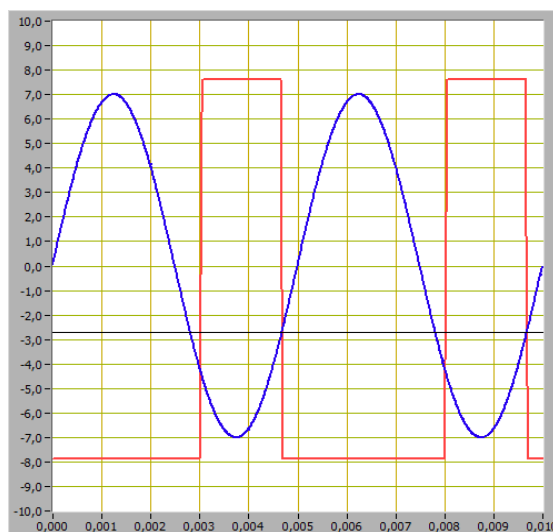


Рисунок 4.26 - График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения -5В и синусоидальной форме сигнала

График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 5В и синусоидальной форме сигнала изображён на рисунке 4.27.

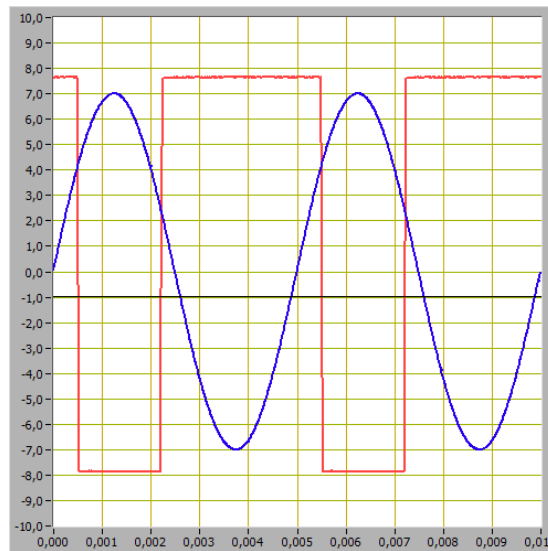


Рисунок 4.27 - График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 5В и синусоидальной форме сигнала

График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 0В и прямоугольной форме сигнала изображён на рисунке 4.28.

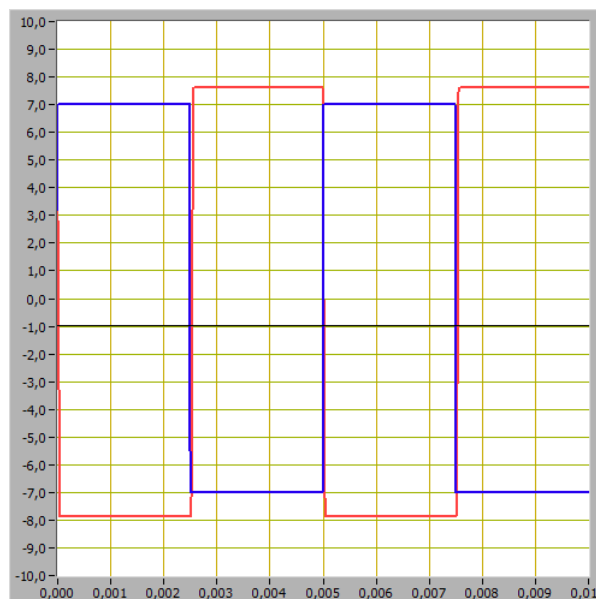


Рисунок 4.28 - График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 0В и прямоугольной форме сигнала

График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения -5В и прямоугольной форме сигнала изображён на рисунке 4.29.

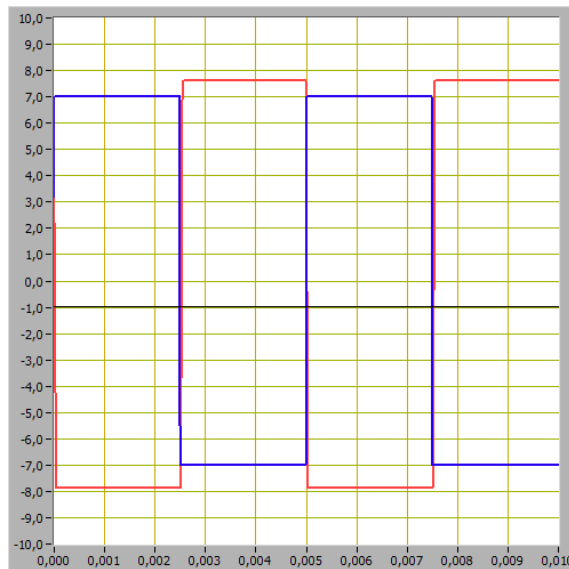


Рисунок 4.29 - График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения -5В и прямоугольной форме сигнала

График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 5В и прямоугольной форме сигнала изображён на рисунке 4.30.

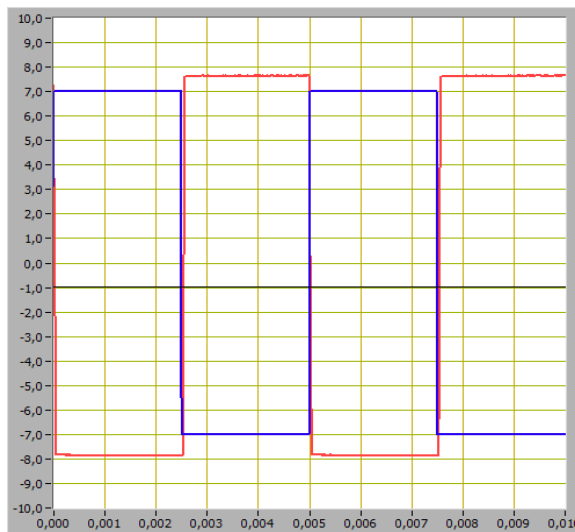


Рисунок 4.30 - График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 5В и прямоугольной форме сигнала

График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 0В и треугольной форме сигнала изображён на рисунке 4.31.

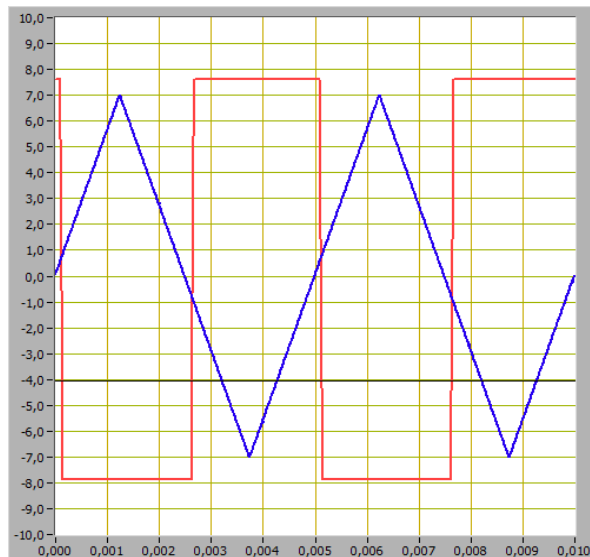


Рисунок 4.31 - График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 0В и треугольной форме сигнала

График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения -5В и треугольной форме сигнала изображён на рисунке 4.32.

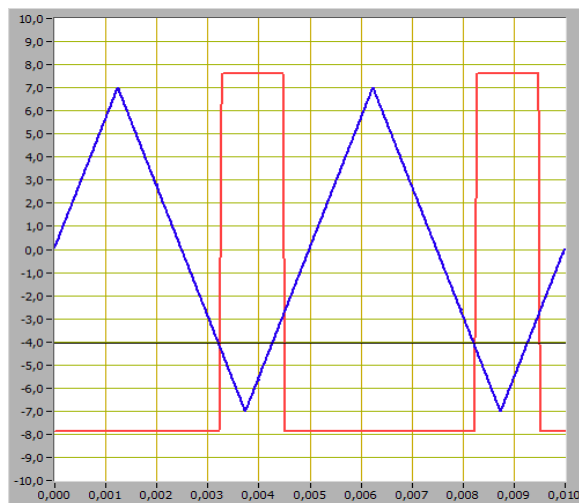


Рисунок 4.32 - График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения -5В и треугольной форме сигнала

График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 5В и треугольной форме сигнала изображён на рисунке 4.33.

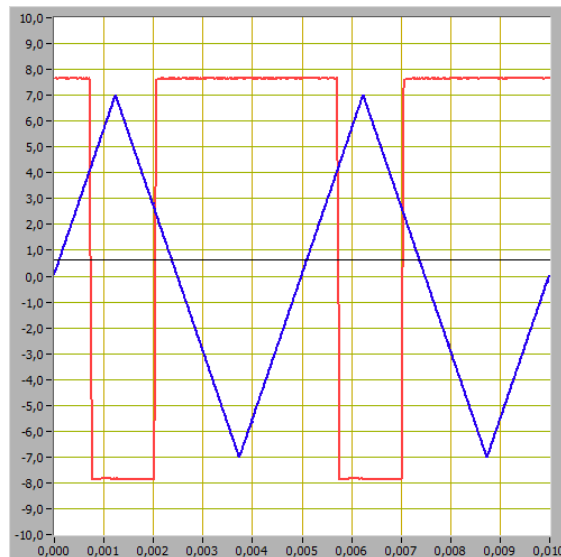


Рисунок 4.33 - График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 5В и треугольной форме сигнала

График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 0В и пилообразной форме сигнала изображён на рисунке 4.34.

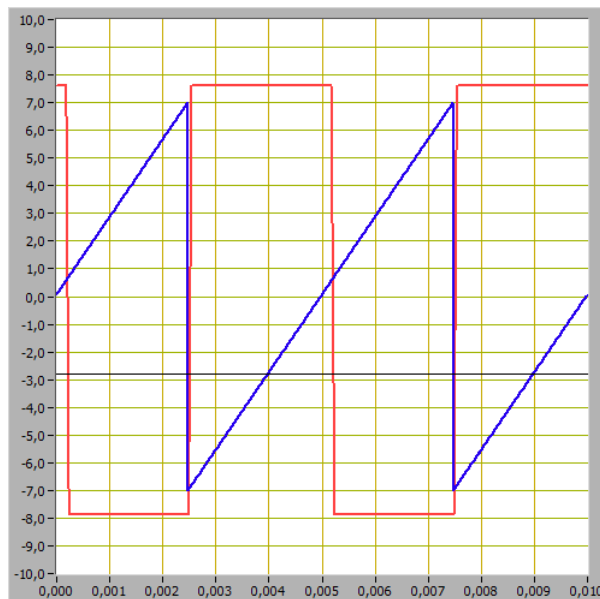


Рисунок 4.34 - График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 0В и пилообразной форме сигнала

График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения -5В и пилообразной форме сигнала изображён на рисунке 4.35.

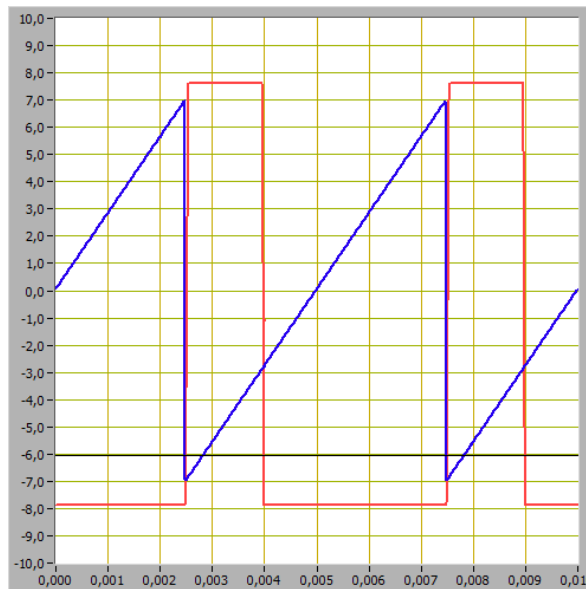


Рисунок 4.35 - График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения -5В и пилообразной форме сигнала

График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 5В и пилообразной форме сигнала изображён на рисунке 4.36.

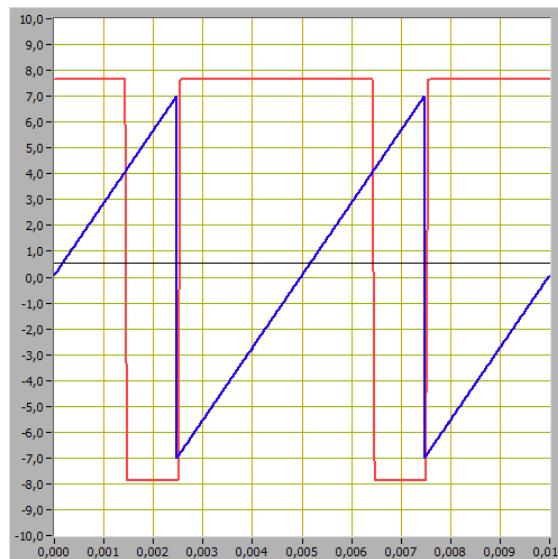


Рисунок 4.36 - График входных и выходных сигналов гистерезисного компаратора при напряжении смещения 5В и пилообразной форме сигнала

5 ВЫВОД

В ходе лабораторной работы я изучил работу аналоговых компараторов напряжения с помощью лабораторного модуля dLab7A, выполнил

поставленные задачи, получил передаточные характеристики и графики входных и выходных сигналов однопорогового и гистерезисного компараторов.