

БГУИР

Кафедра ЭВМ

Отчет по лабораторной работе № 4
Тема: «Исследование характеристик аналоговых
компараторов напряжения»

Выполнили:
студенты группы 150502
Альхимович Н.Г.
Скалозуб К.А.

Проверил:
Калютчик А.А.

Минск
2023

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить характеристики аналоговых компараторов напряжения.

2 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 ΔU положительна и, наоборот, низкий уровень $U_{\text{Н}}$, если разностное напряжение ΔU отрицательно. Эти условия записываются следующим образом:

$$U_{\text{вых}} = \begin{cases} U_{\text{В}}, \text{ при } U_{\text{ВХ1}} > U_{\text{ВХ2}} \text{ или } \Delta U > 0, \\ U_{\text{Н}}, \text{ при } U_{\text{ВХ1}} < U_{\text{ВХ2}} \text{ или } \Delta U < 0. \end{cases}$$

В общем случае напряжение $U_{\text{ВХ}}$ 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 рисунке 2.1 приведена схема инвертирующего усилителя без обратной связи и его передаточная характеристика.

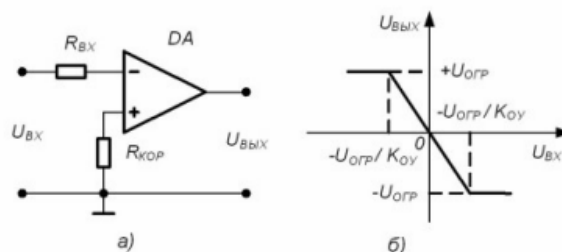


Рисунок 2.1 – Схема инвертирующего усилителя (а)
и его передаточная характеристика (б)

Пока входной сигнал удовлетворяет соотношению:

$$\frac{U_{-огр}}{K_{oy}} < U_{вх} < \frac{U_{+огр}}{K_{oy}},$$

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

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

$$|(\Delta U_{вх})| > \frac{|U_{огр}|}{K_{oy}}$$

В рассмотренной схеме (рисунок 2.1) эталонный уровень напряжения, с которым сравнивается входной сигнал, равен нулю и её часто называют детектором нуля сигнала или схемой определения прохождения напряжения через нуль. Диапазон значений входного сигнала, соответствующий условию (3.2), является зоной неопределённости компаратора и определяет его погрешность. Абсолютная величина этой погрешности равна:

$$\Delta = \frac{|U_{огр}|}{K_{oy}}$$

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

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

3 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

3.1 Получение передаточной характеристики однопорогового компаратора

Для получения передаточной характеристики необходимо подключить схему, изображённую на рисунке 4.1.

С помощью полученных данных, были вычислены следующие значения: значения положительного и отрицательного выходных напряжений компаратора.

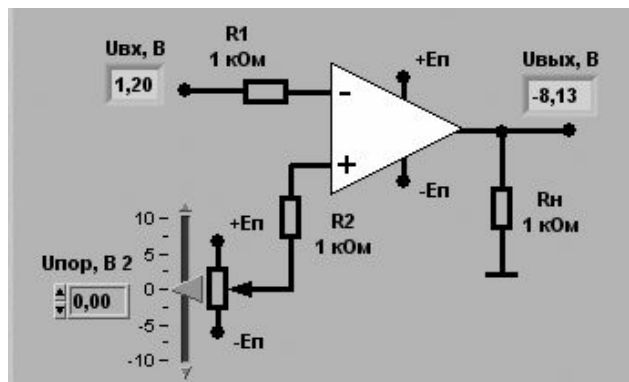


Рисунок 4.1 – Схема однопорогового компаратора

Установленное значение диапазона измерения входного сигнала $U_{вх.min} = -10 \text{ В}$, $U_{вх.max} = 10 \text{ В}$ и пределы измерения выходного сигнала $U_{вых.min} = -10 \text{ В}$, $U_{вых.max} = 10 \text{ В}$, пороговое значение срабатывания компаратора $U_{пор} = 0 \text{ В}$.

По передаточной характеристике были определены значения положительного и отрицательного выходных напряжений компаратора: $U_{вых-} = -8 \text{ В}$, $U_{вых+} = 7,6 \text{ В}$ и величина входного сигнала $U_{вх} = 0 \text{ В}$.

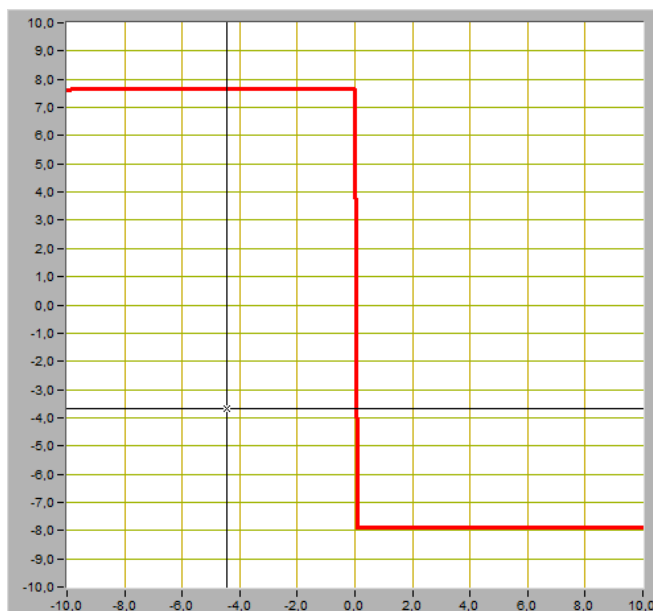


Рисунок 3.2 – Передаточная характеристика полевого транзистора

Измерения были повторены с установленными пороговыми значениями $U_{\text{пор}} = -2,5 \text{ В}$, $U_{\text{пор}} = 1,7 \text{ В}$. Результаты измерений соответственно:



Рисунок 3.3 – Передаточная характеристика компаратора при пороговом значении $U_{\text{пор}} = -2,5 \text{ В}$

$U_{\text{вых-}} = -8 \text{ В}$, $U_{\text{вых+}} = 7,6 \text{ В}$ и величина входного сигнала $U_{\text{вх}} = -2,5 \text{ В}$.

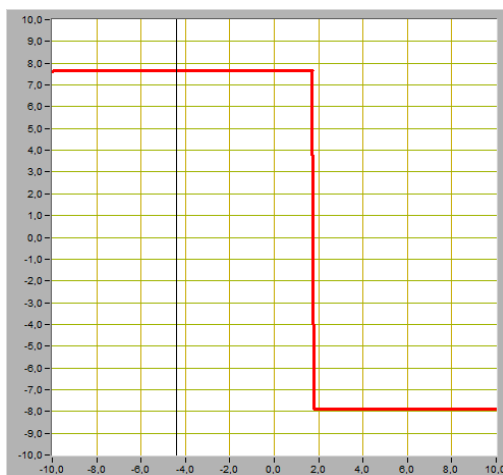


Рисунок 3.4 – Передаточная характеристика компаратора при пороговом значении $U_{\text{пор}} = 1,7 \text{ В}$

$U_{\text{вых-}} = -8 \text{ В}$, $U_{\text{вых+}} = 7,6 \text{ В}$ и величина входного сигнала $U_{\text{вх}} = 1,7 \text{ В}$.

3.2 Исследование работы однопорогового компаратора

Был установлен следующий режим измерения: форма сигнала – синусоидальная, частота сигнала – 200 Гц, амплитуда входного сигнала 7,0 В, порог срабатывания компаратора 0 В.

Полученное изображение входного и выходного сигналов представлено на рисунке 3.5.

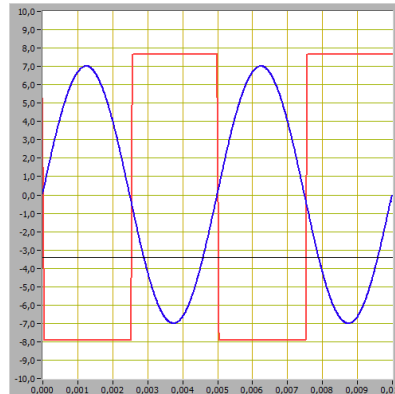


Рисунок 3.5 – Изображение входного и выходного сигналов компаратора

Пороговое значение входного напряжения $U_{\text{вх.пор}} = 7 \text{ В}$.

При установлении порога срабатывания -5 В были получены входной и выходной сигналы, изображение которых представлено на рисунке 3.6.

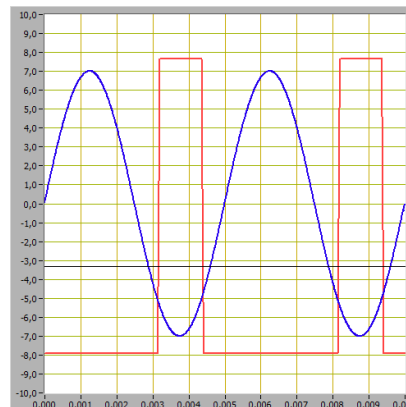


Рисунок 3.6 – Изображение входного и выходного сигналов компаратора

Пороговое значение входного напряжения $U_{\text{вх.пор}} = 7 \text{ В}$.

При установлении порога срабатывания +5 В были получены входной и выходной сигналы, изображение которых представлено на рисунке 3.7.

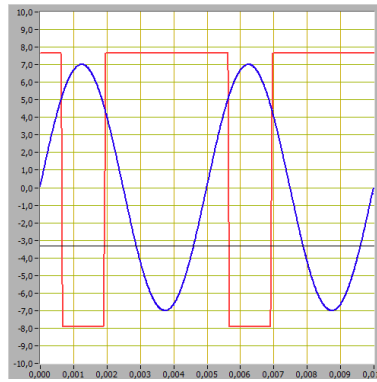


Рисунок 3.7 – Изображение входного и выходного сигналов компаратора

Пороговое значение входного напряжения $U_{\text{вх.пор}} = 7 \text{ В}$.

Изображение входного и выходного сигналов компаратора при треугольной форме входного сигнала и пороге срабатывания компаратора 0 В представлено на рисунке 3.8.

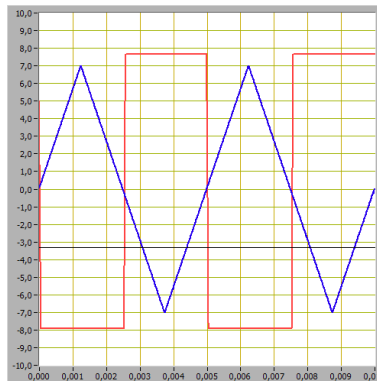


Рисунок 3.8 – Изображение входного и выходного сигналов компаратора

Изображение входного и выходного сигналов компаратора при треугольной форме входного сигнала, пороге срабатывания компаратора -5 В представлено на рисунке 3.9.

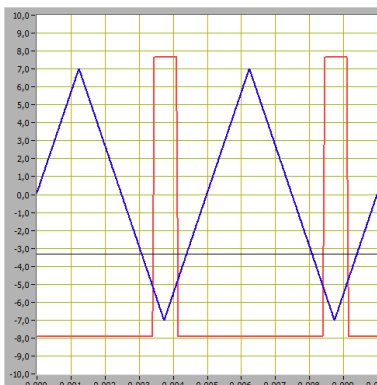


Рисунок 3.9 – Изображение входного и выходного сигналов компаратора

Изображение входного и выходного сигналов компаратора при треугольной форме входного сигнала, пороге срабатывания компаратора +5 В представлено на рисунке 3.10.

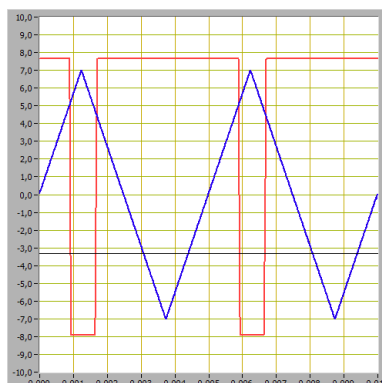


Рисунок 3.10 – Изображение входного и выходного сигналов компаратора

Изображение входного и выходного сигналов компаратора при прямоугольной форме входного сигнала, порогах срабатывания компаратора 0 В, -5 В, +5 В представлены на рисунках 3.11, 3.12 и 3.13 соответственно.

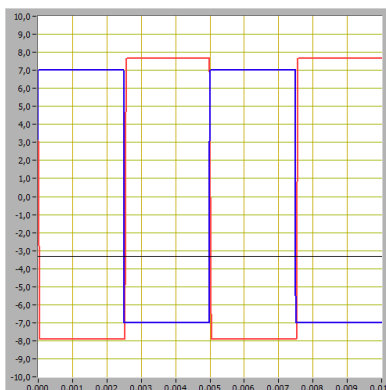


Рисунок 3.11 – Изображение входного и выходного сигналов компаратора

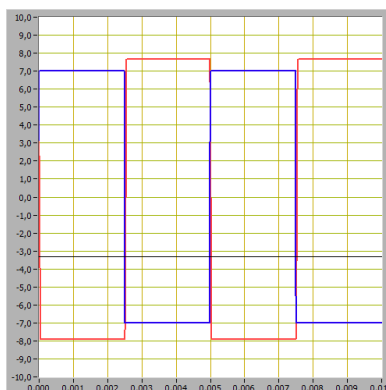


Рисунок 3.12 – Изображение входного и выходного сигналов компаратора

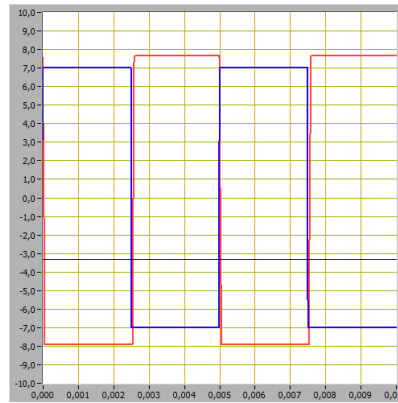


Рисунок 3.12 – Изображение входного и выходного сигналов компаратора

3.3 Получение передаточной характеристики гистерезисного компаратора

Для исследования характеристик гистерезисного компаратора используется схема, изображенная на рисунке 3.13.

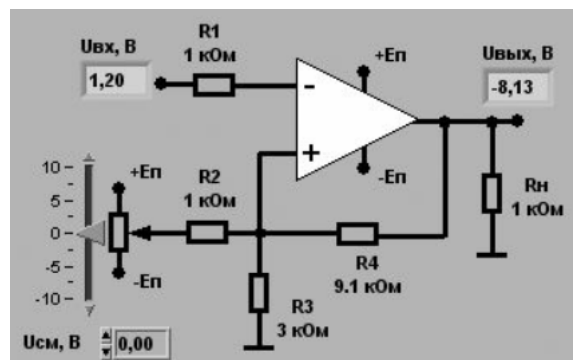


Рисунок 3.13 – Схема для исследования характеристик гистерезисного компаратора

С помощью элементов управления ВП установлен диапазон изменения входного сигнала: $U_{вх.min} = -10\text{ В}$, $U_{вх.max} = 10\text{ В}$, пределы изменения выходного сигнала: $U_{вых.min} = -10\text{ В}$, $U_{вых.max} = 10\text{ В}$, а также с помощью ползункового регулятора установлено напряжение источника смещения передаточной характеристики $U_{см} = 0\text{ В}$.

Полученный график передаточной характеристики компаратора приведен на рисунке 3.14.

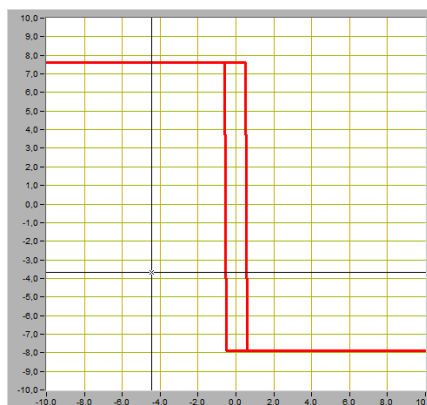


Рисунок 3.14 – Передаточная характеристика гистерезисного компаратора

По графику определены значения положительного и отрицательного выходных напряжений компаратора, а также уровни переключения компаратора: $U_{\text{вых}+} = 7,6 \text{ В}$, $U_{\text{вых}-} = -8 \text{ В}$, $U_{\text{ср}} = 0,56 \text{ В}$ и $U_{\text{от}} = -0,56 \text{ В}$.

Вычислены напряжения срабатывания и отпускания компаратора:

$$U_{\text{ср}} = \frac{\frac{U_{\text{см}}}{R2} + \frac{U_{\text{вых}+}}{R4}}{\frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4}} = \frac{\frac{0}{1000} + \frac{7,6}{9100}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{9100}} \approx 0,58 \text{ В}$$

$$U_{\text{от}} = \frac{\frac{U_{\text{см}}}{R2} + \frac{U_{\text{вых}-}}{R4}}{\frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4}} = \frac{\frac{0}{1000} + \frac{-8}{9100}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{9100}} \approx -0,6 \text{ В}$$

Рассчитанные значения приближенно равны экспериментальным.

Таблица 3.1 – Экспериментальные значения напряжений компаратора

$U_{\text{см}}, \text{ В}$	$U_{\text{вых}+}, \text{ В}$	$U_{\text{вых}-}, \text{ В}$	$U_{\text{ср}}, \text{ В}$	$U_{\text{от}}, \text{ В}$	$U_{\text{ср}}, \text{ В}$	$U_{\text{от}}, \text{ В}$
-10	7,6	-8	-6,41	-7,54	-6,35	-7,54
-5	7,6	-8	-2,82	-4,15	-2,88	-4,07
5	7,6	-8	4,05	2,82	4,04	2,85
10	7,6	-8	7,64	6,31	7,5	6,31

Графики передаточной характеристики компаратора для значений напряжения смещения, представленных в таблице 3.1, изображены на рисунках 3.15-3.18.

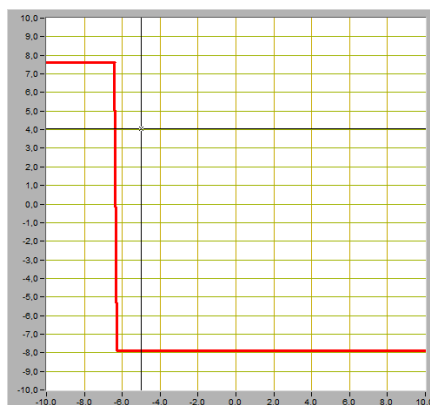


Рисунок 3.15 – Передаточная характеристика гистерезисного компаратора ($U_{cm} = -10\text{ В}$)

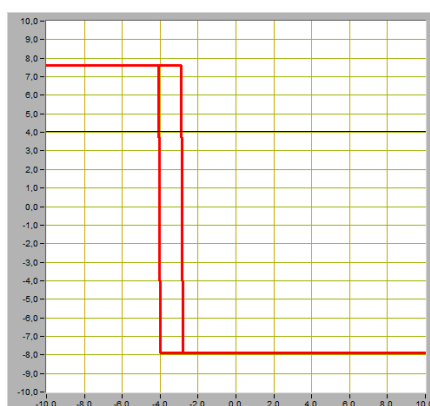


Рисунок 3.16 – Передаточная характеристика гистерезисного компаратора ($U_{cm} = -5\text{ В}$)

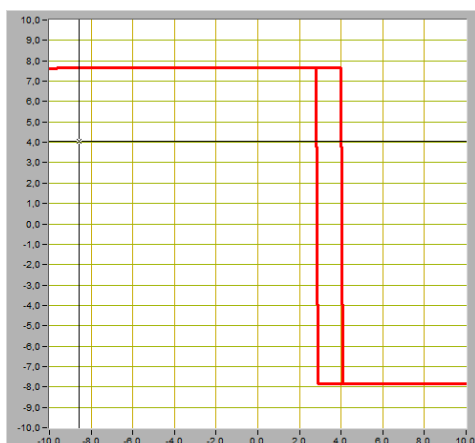


Рисунок 3.17 – Передаточная характеристика гистерезисного компаратора ($U_{cm} = 5\text{ В}$)

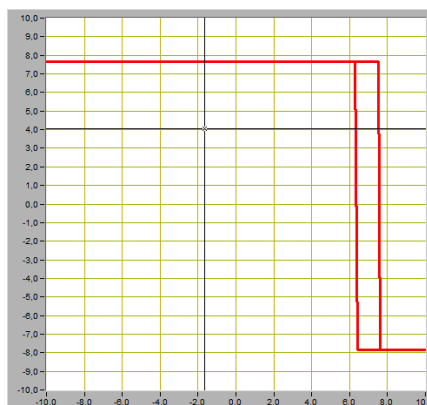


Рисунок 3.18 – Передаточная характеристика гистерезисного компаратора ($U_{см} = 10 \text{ В}$)

Таким образом, смещение уровней срабатывания компаратора происходит на величину $U_{см}$. Величина гистерезиса изменяется в зависимости от $U_{см}$.

3.4 Исследование работы гистерезисного компаратора

С помощью элементов управления ВП установлен следующий режим измерения: форма сигнала – синусоидальная, частота сигнала – 200 Гц, амплитуда входного сигнала 7,0 В. Также установлено напряжение источника смещения передаточной характеристики $U_{см} = 0 \text{ В}$.

Полученные изображения входного и выходного сигналов компаратора представлены на рисунке 3.19.

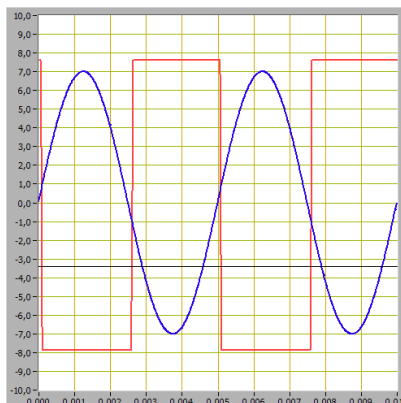


Рисунок 3.19 – Входной и выходной сигналы компаратора ($U_{см} = 0 \text{ В}$)

Используя изображение входного сигнала, можно определить напряжения срабатывания и отпускания компаратора: $U_{ср} = 0,8 \text{ В}$ и $U_{от} = -1 \text{ В}$.

Таблица 3.2 – Значения напряжений срабатывания и отпускания компаратора

$U_{см}, В$	$U_{ср}, В$	$U_{от}, В$
-5	-2,2	-4,1
5	4,1	2,2

Полученные изображения входного и выходного сигналов компаратора для значений напряжения смещения, представленных в таблице 3.2, изображены на рисунках 3.20 и 3.21.

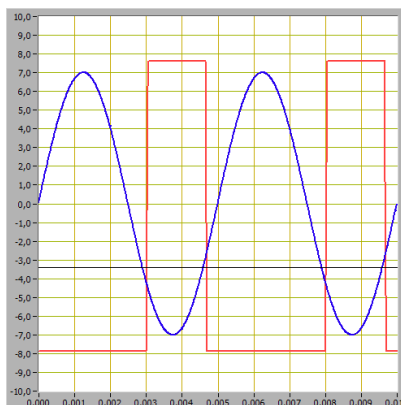


Рисунок 3.20 – Входной и выходной сигналы компаратора ($U_{см} = -5 В$)

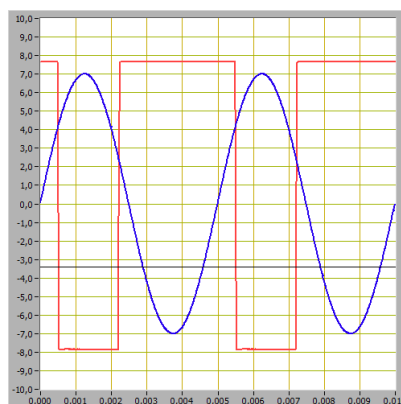


Рисунок 3.21 – Входной и выходной сигналы компаратора ($U_{см} = 5 В$)

Аналогичные исследования работы однопорогового компаратора проведены при треугольной форме входного сигнала. Полученные изображения входного и выходного сигналов компаратора для значений напряжения смещения $U_{см}$, равных 0 В, -5 В и 5 В, изображены на рисунках 3.22-3.24 соответственно.

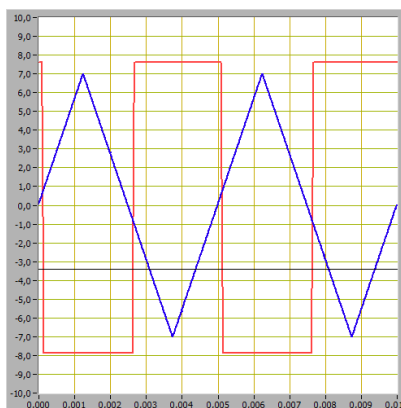


Рисунок 3.22 – Входной и выходной сигналы компаратора ($U_{см} = 0 \text{ В}$)

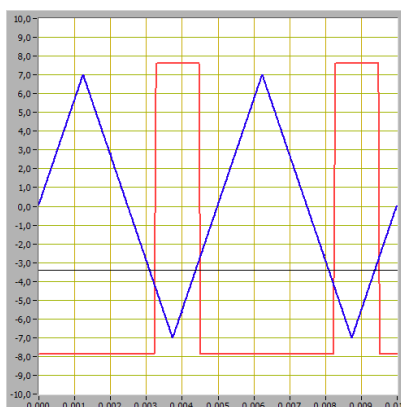


Рисунок 3.23 – Входной и выходной сигналы компаратора ($U_{см} = -5 \text{ В}$)

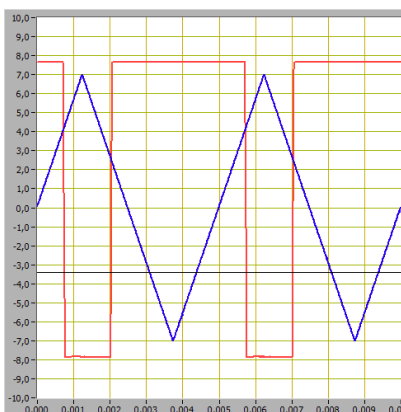


Рисунок 3.24 – Входной и выходной сигналы компаратора ($U_{см} = 5 \text{ В}$)

Используя изображение входного сигнала, можно определить напряжения срабатывания и отпускания компаратора (см. таблицу 3.3).

Таблица 3.3 – Значения напряжений срабатывания и отпускания компаратора

$U_{см}, В$	$U_{ср}, В$	$U_{от}, В$
0	0,8	-0,8
-5	-2,6	-4,2
5	4,2	2,6

Аналогичные исследования работы однопорогового компаратора проведены при прямоугольной форме входного сигнала. Полученные изображения входного и выходного сигналов компаратора для значений напряжения смещения $U_{см}$, равных 0 В, -5 В и 5 В, изображены на рисунках 3.25-3.27 соответственно.

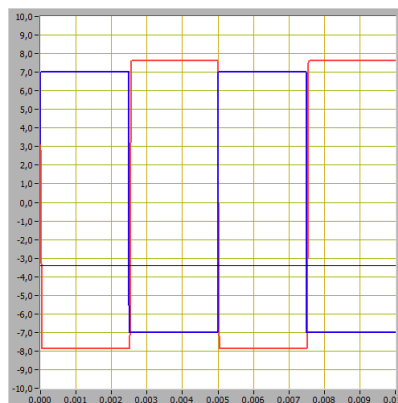


Рисунок 3.25 – Входной и выходной сигналы компаратора ($U_{см} = 0 В$)

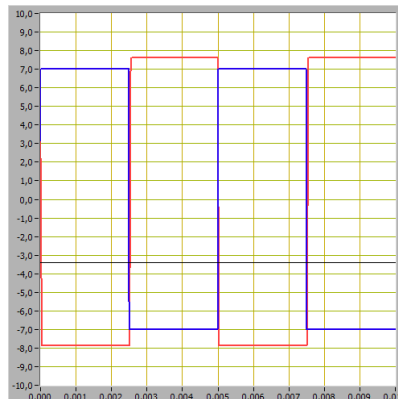


Рисунок 3.26 – Входной и выходной сигналы компаратора ($U_{см} = -5 В$)

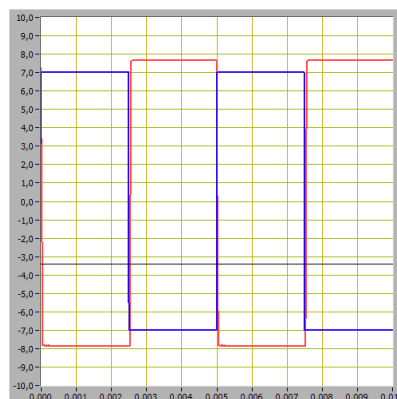


Рисунок 3.27 – Входной и выходной сигналы компаратора ($U_{см} = 5 \text{ В}$)

Используя изображение входного сигнала, можно определить напряжения срабатывания и отпускания компаратора (см. таблицу 3.4).

Таблица 3.4 – Значения напряжений срабатывания и отпускания компаратора

$U_{см}, \text{ В}$	$U_{ср}, \text{ В}$	$U_{от}, \text{ В}$
0	?	?
-5	?	?
5	?	?

Аналогичные исследования работы однопорогового компаратора проведены при пилообразной форме входного сигнала. Полученные изображения входного и выходного сигналов компаратора для значений напряжения смещения $U_{см}$, равных 0 В, -5 В и 5 В, изображены на рисунках 3.28-3.30 соответственно.

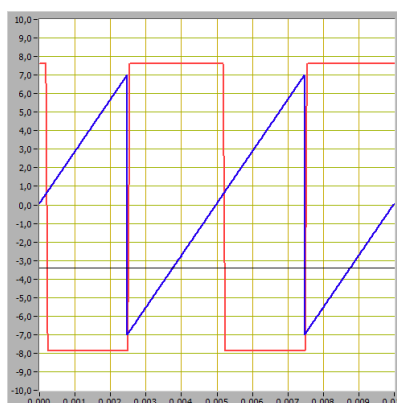


Рисунок 3.28 – Входной и выходной сигналы компаратора ($U_{см} = 0 \text{ В}$)

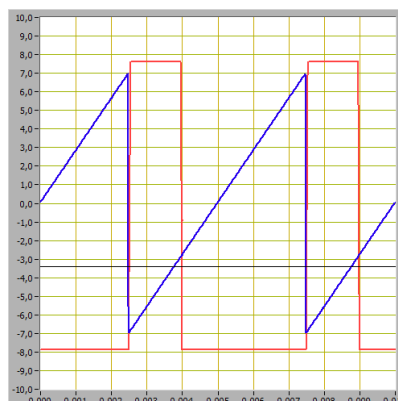


Рисунок 3.29 – Входной и выходной сигналы компаратора ($U_{см} = -5 \text{ В}$)

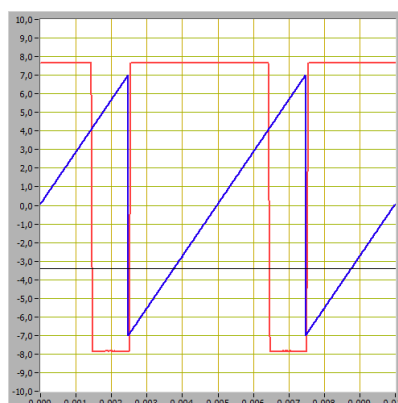


Рисунок 3.30 – Входной и выходной сигналы компаратора ($U_{см} = 5 \text{ В}$)

Используя изображение входного сигнала, можно определить напряжения срабатывания и отпускания компаратора (см. таблицу 3.5).

Таблица 3.5 – Значения напряжений срабатывания и отпускания компаратора

$U_{см}, \text{В}$	$U_{ср}, \text{В}$	$U_{от}, \text{В}$
0	0,75	?
-5	-2,9	?
5	4	?

4 ВЫВОДЫ

В ходе выполнения лабораторной работы были получены передаточные характеристики однопорогового и гистерезисного компараторов, исследована работа однопорогового компаратора при разных формах сигналов.