

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных вычислительных машин

Отчёт по лабораторной работе №4

Тема: «Исследование работы аналоговых компараторов напряжения на
основе операционного усилителя»

Выполнил:
студент группы 150501 Михалович Т.В.

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

Минск 2023

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение работы аналоговых компараторов напряжения на основе операционного усилителя.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Среда выполнения:

- базовый лабораторный стенд;
- лабораторный модуль Lab7A для изучения характеристик аналоговых компараторов напряжения на основе операционного усилителя КР140УД7.

Список задач лабораторной работы:

1. Получение передаточной характеристики однопорогового компаратора на основе операционного усилителя;
2. Изучение работы однопорогового компаратора на основе операционного усилителя;
3. Получение передаточной характеристики гистерезисного компаратора на основе операционного усилителя;
4. Изучение работы гистерезисного компаратора на основе операционного усилителя.

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

$$U_{ВЫХ} = \begin{cases} U_B & \text{при } U_{ВХ1} > U_{ВХ2} \text{ или } \Delta U_{ВХ} > 0 \\ U_H & \text{при } U_{ВХ1} < U_{ВХ2} \text{ или } \Delta U_{ВХ} < 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

В общем случае напряжение $U_{ВЫХ}$ 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 рисунке 3.1 приведена схема инвертирующего усилителя без обратной связи и его передаточная характеристика.

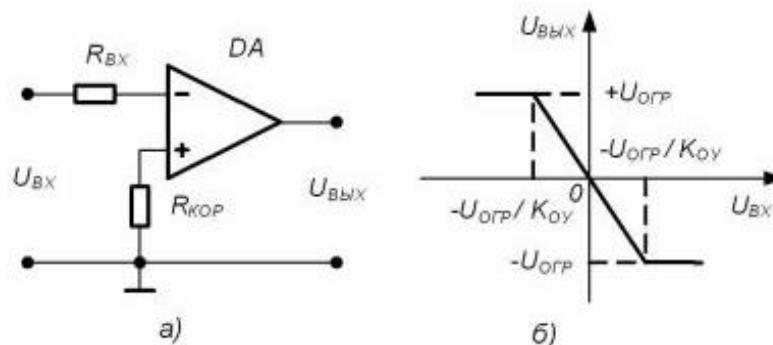


Рисунок 3.1 – Схема инвертирующего усилителя (а) и его передаточная характеристика (б)

Пока входной сигнал удовлетворяет соотношению:

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

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

При нарушении условия (3.2) ОУ переходит в режим ограничения, и выходное напряжение может принимать одно из двух предельных значений: $U_B=U_{огр+}$ или $U_H=U_{огр-}$. 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:

$$|\Delta U_{BX}| > \frac{|U_{огр}|}{K_{ОУ}}, \quad (3.3)$$

В рассмотренной схеме, изображенной на рисунке 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 (3.2), является зоной неопределенности компаратора и определяет его погрешность. Абсолютная величина этой погрешности равна:

$$\Delta = \frac{|U_{огр}|}{K_{ОУ}}. \quad (3.4)$$

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 $K_{ПОС}$ описывается выражением:

$$K_{ПОС} = \frac{K}{1 - K \cdot b_{ОС}}, \quad (3.5)$$

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

Из (3.5) следует, что при $b_{ОС}=1/K_{ОУ}$ 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.

Однопороговый компаратор.

Однопороговыми называются устройства сравнения, для которых коэффициент усиления используемого усилителя всегда остается положительным ($K_{ОУ}>0$). Из этого следует, что при работе такого устройства всегда присутствует некоторая область неопределенности входного напряжения, то есть 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:

$$b_{OC} \leq \frac{1}{K_{OY}}, \quad (3.6)$$

Анализируя схему, приведенную на рисунке 3.1а, можно сказать, что ее срабатывание происходит в момент равенства нулю напряжения между инвертирующим и не инвертирующим 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 ($R_{ВХ} \rightarrow \infty$) 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 рисунке 3.2бв показаны передаточные характеристики компаратора для случаев $E_{ЭТ} > 0$ и $E_{ЭТ} < 0$ соответственно. Напряжение $E_{ЭТ}$ называют порогом срабатывания устройства сравнения.

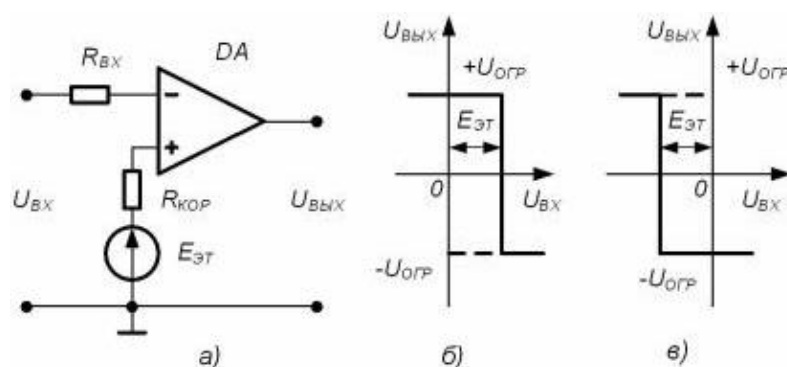


Рисунок 3.2 – Схема однопорогового компаратора со смещенным порогом срабатывания (а) и его передаточные характеристики при $E_{ЭТ} > 0$ (б) и $E_{ЭТ} < 0$ (в)

Если в схеме на рисунке 3.2а 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.

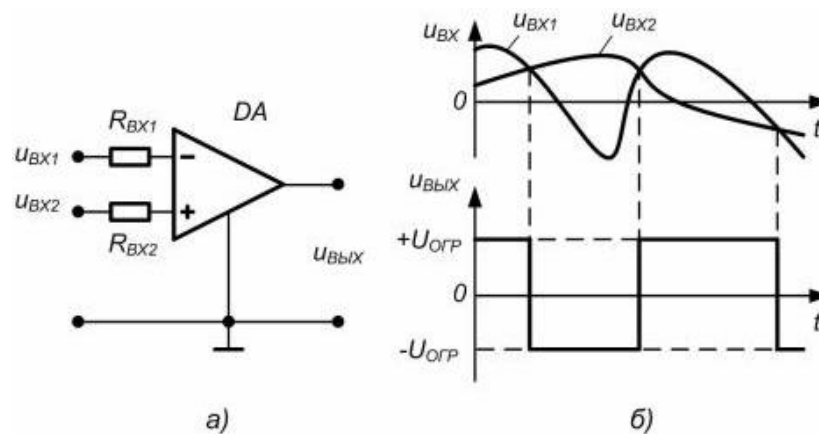


Рисунок 3.3 – Однопороговая схема сравнения двух напряжений (а) и временные диаграммы, поясняющие ее работу (б)

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 с коэффициентом передачи, удовлетворяющим условию:

$$b_{OC} > \frac{1}{K_{OY}}. \quad (3.7)$$

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

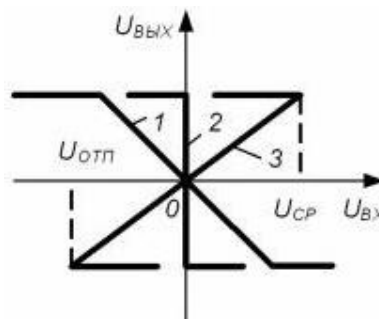


Рисунок 3.4 – Передаточные характеристики ОУ с цепью ПОС при $b_{OC} < 1/K_{OY}$ (1), $b_{OC} = 1/K_{OY}$ (2), и $b_{OC} > 1/K_{OY}$ (3)

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.

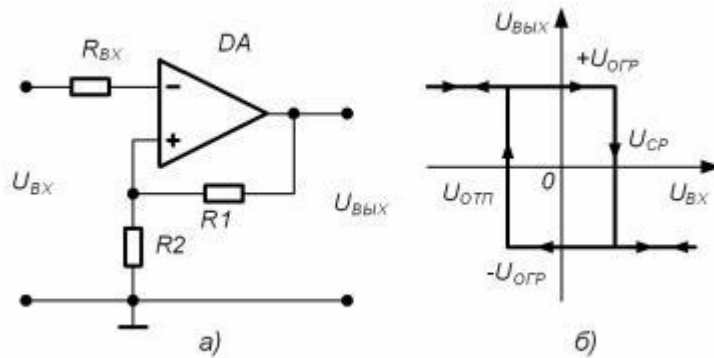


Рисунок 3.5 – Схема гистерезисного компаратора (а) и его передаточная характеристика (б)

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

$$U_{BXH} = \frac{U_{OГР} R_2}{R_1 + R_2}. \quad (3.8)$$

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

$$U_{BXH} = -\frac{U_{OГР} R_2}{R_1 + R_2}. \quad (3.8)$$

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

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

$$U_{ОТП} = -\frac{U_{OГР} R_2}{R_1 + R_2}, \quad (3.9)$$

$$U_{ОП} = \frac{U_{OГР} R_2}{R_1 + R_2}. \quad (3.10)$$

Из приведенных выражений видно, что при равенстве абсолютных значений напряжения ограничения на выходе ОУ пороговые напряжения равны по величине, но противоположны по знаку, то есть 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,

то есть выражением (3.10). На рисунке 3.6б приведена передаточная характеристика данной схемы сравнения. Из рисунка видно, что она несимметрична относительно начала координат.

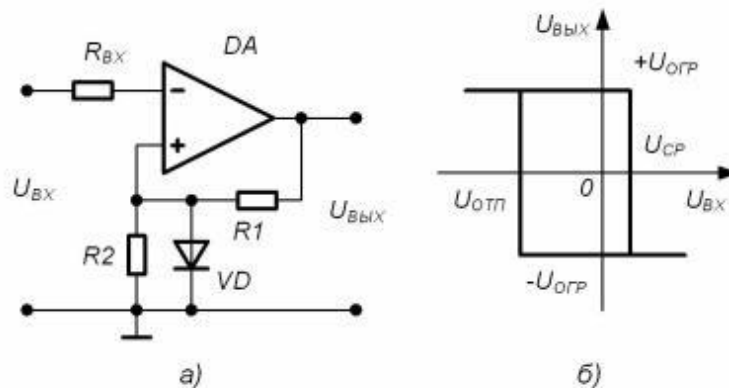


Рисунок 3.6 – Схема гистерезисного компаратора с цепью нелинейной ПОС (а) и его передаточная характеристика (б)

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.

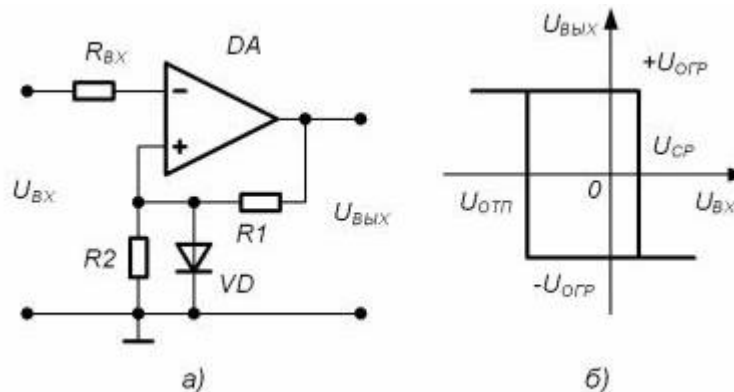


Рисунок 3.7 – Схема гистерезисного компаратора со смещенной характеристикой (а) и его передаточная характеристика (б)

Здесь источник смещения $E_{СМ}$ подключен к неинвертирующему входу ОУ через резистор $R_{ДЕЛ}$. Напряжение на неинвертирующем входе равно

$$U_{ВХН} = \frac{\frac{E_{СМ}}{R_{ДЕЛ}} + \frac{U_{ВЫХ}}{R_2}}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{ДЕЛ}}, \quad (3.11)$$

Тогда напряжения срабатывания и отпускания компаратора определяются выражениями:

$$U_{CP} = \frac{\frac{E_{CM}}{R_{ДЕЛ}} + \frac{U_{ОГР}}{R_2}}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{ДЕЛ}}, \quad (3.12)$$

$$U_{ОТП} = \frac{\frac{E_{CM}}{R_{ДЕЛ}} - \frac{U_{ОГР}}{R_2}}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{ДЕЛ}}. \quad (3.13)$$

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.

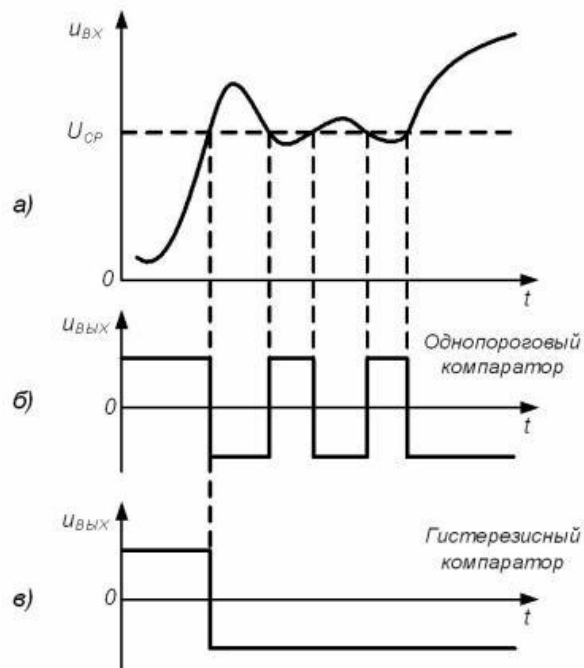


Рисунок 3.8 – Временные диаграммы работы компараторов в условиях действия напряжения помехи: входной сигнал (а) выходной сигнал однопорогового (б) и гистерезисного (в) компараторов

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 на основе операционного усилителя

Для изучения характеристик однопорогового компаратора необходимо подключить схему, изображенную на рисунке 4.1.

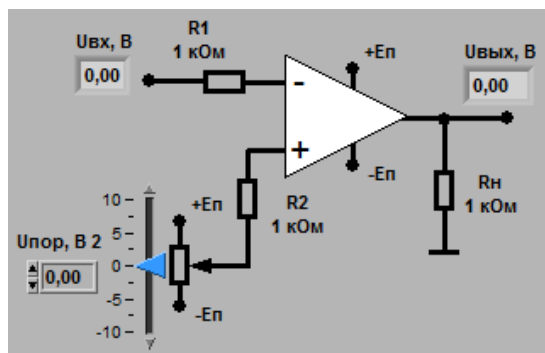


Рисунок 4.1 – Схема подключения для получения передаточной характеристики однопорогового компаратора на основе ОУ

С помощью элементов управления ВП нужно установить диапазон изменения входного сигнала $U_{ВХmin} = -10В$ и $U_{ВХmax} = 10В$ и пределы изменения выходного сигнала $U_{ВЫХmin} = -10В$ и $U_{ВЫХmax} = 10В$.

Для первого случая с помощью ползункового регулятора необходимо установить $U_{ПОР} = 0В$. Далее нажать кнопку «Измерение» и скопировать полученный график передаточной характеристики однопорогового компаратора. Полученный график приведен на рисунке 4.2.

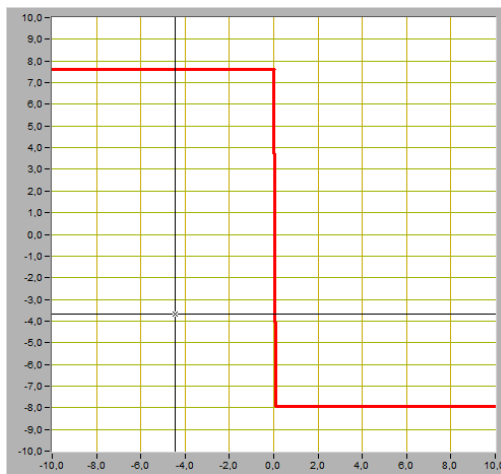


Рисунок 4.2 – Передаточная характеристика однопорогового компаратора при $U_{ПОР} = 0В$

По полученной передаточной характеристике необходимо определить значения положительного $U_{ВЫХ}^+$ и отрицательного $U_{ВЫХ}^-$ выходных напряжений компаратора, используя горизонтальную визирную линию, перемещаемую с помощью ползункового регулятора «Y». Определенные значения:

$$U_{ВЫХ}^+ = 7,6В$$

$$U_{\text{ВЫХ}}^- = -8\text{В}$$

Далее нужно определить величину входного сигнала $U_{\text{ВХ}}$, при котором происходит переключение компаратора, используя вертикальную визирную линию, перемещаемую с помощью ползункового регулятора «Х». Определенное значение:

$$U_{\text{ВХ}} = 0,05\text{В}$$

Сравнив это значение с установленным порогом было выявлено, что полученное значение отличается от $U_{\text{ПОР}}$ на 5%.

Для второго случая было установлено $U_{\text{ПОР}} = -2,5\text{В}$. Полученный график передаточной характеристики однопорогового компаратора приведен на рисунке 4.3.

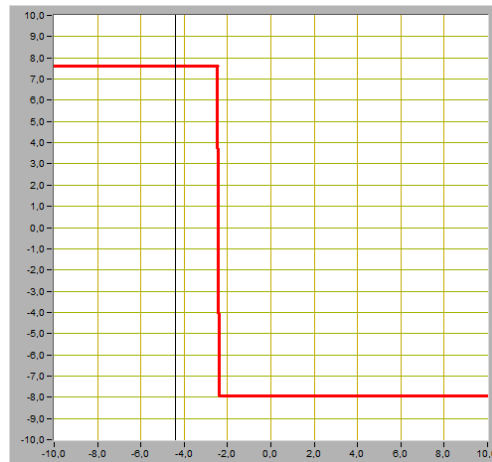


Рисунок 4.3 – Передаточная характеристика однопорогового компаратора при $U_{\text{ПОР}} = -2,5\text{ В}$

По полученной передаточной характеристике необходимо определить значения положительного $U_{\text{ВЫХ}}^+$ и отрицательного $U_{\text{ВЫХ}}^-$ выходных напряжений компаратора, используя горизонтальную визирную линию, перемещаемую с помощью ползункового регулятора «Y». Определенные значения:

$$U_{\text{ВЫХ}}^+ = 7,6\text{В}$$

$$U_{\text{ВЫХ}}^- = -8\text{В}$$

Далее нужно определить величину входного сигнала $U_{\text{ВХ}}$, при котором происходит переключение компаратора, используя вертикальную визирную линию, перемещаемую с помощью ползункового регулятора «Х». Определенное значение:

$$U_{\text{ВХ}} = -2,45\text{В}$$

Сравнив это значение с установленным порогом было выявлено, что полученное значение отличается от $U_{\text{ПОР}}$ на 5%.

Для третьего случая было установлено $U_{\text{ПОР}} = 1,7\text{ В}$. Полученный график передаточной характеристики однопорогового компаратора приведен на рисунке 4.4.

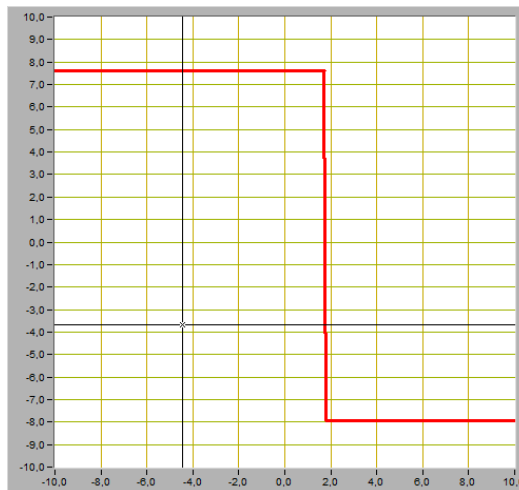


Рисунок 4.4 – Передаточная характеристика однопорогового компаратора при $U_{ПОР} = 1,7 \text{ В}$

По полученной передаточной характеристике необходимо определить значения положительного $U_{ВЫХ}^+$ и отрицательного $U_{ВЫХ}^-$ выходных напряжений компаратора, используя горизонтальную визирную линию, перемещаемую с помощью ползункового регулятора «Y». Определенные значения:

$$U_{ВЫХ}^+ = 7,6 \text{ В}$$

$$U_{ВЫХ}^- = -8 \text{ В}$$

Далее нужно определить величину входного сигнала $U_{ВХ}$, при котором происходит переключение компаратора, используя вертикальную визирную линию, перемещаемую с помощью ползункового регулятора «X». Определенное значение:

$$U_{ВХ} = 1,74 \text{ В}$$

Сравнив это значение с установленным порогом было выявлено, что полученное значение отличается от $U_{ПОР}$ на 4%.

4.2 Изучение работы однопорогового компаратора на основе операционного усилителя

Для изучения работы однопорогового компаратора необходимо подключить схему, изображенную на рисунке 4.5. С помощью элементов управления ВП нужно установить следующий режим измерения: форма сигнала – синусоидальная, амплитуда входного сигнала – 7 В.

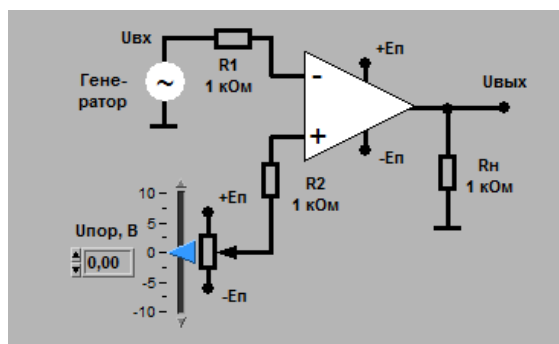


Рисунок 4.5 – Схема для изучения работы однопорогового компаратора

С помощью ползункового регулятора необходимо установить порог срабатывания компаратора $U_{ПОР}=0V$ и скопировать изображение входного и выходного сигналов компаратора. Полученное изображение представлено на рисунке 4.6.

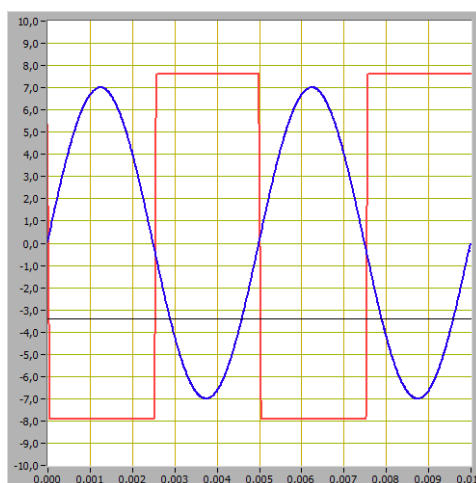


Рисунок 4.6 – Входной и выходной сигналы однопорогового компаратора при $U_{ПОР} = 0V$

Используя изображение входного сигнала, нужно определить с помощью горизонтальной визирной линии ВП пороговое значение входного напряжения $U_{ВХ. ПОР}$. Определенное значение:

$$U_{ВХ ПОР} = 0V$$

Далее с помощью ползункового регулятора необходимо установить порог срабатывания компаратора $U_{ПОР}=5V$ и скопировать изображение входного и выходного сигналов компаратора. Полученное изображение представлено на рисунке 4.7.

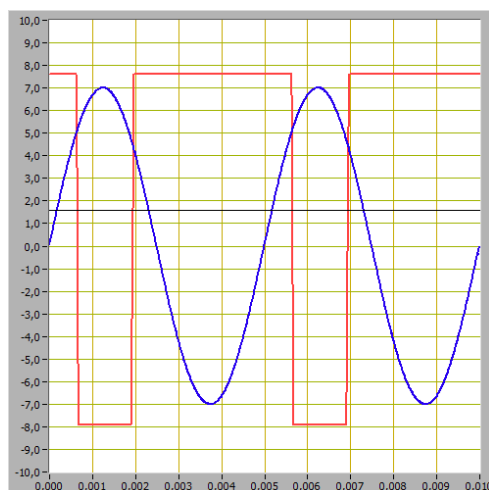


Рисунок 4.7 – Входной и выходной сигналы однопорогового компаратора при $U_{ПОР} = 5В$

Используя изображение входного сигнала, нужно определить с помощью горизонтальной визирной линии ВП пороговое значение входного напряжения $U_{ВХ.ПОР}$. Определенное значение:

$$U_{ВХ ПОР} = 5В$$

Далее с помощью ползункового регулятора необходимо установить порог срабатывания компаратора $U_{ПОР} = -5В$ и скопировать изображение входного и выходного сигналов компаратора. Полученное изображение представлено на рисунке 4.8.

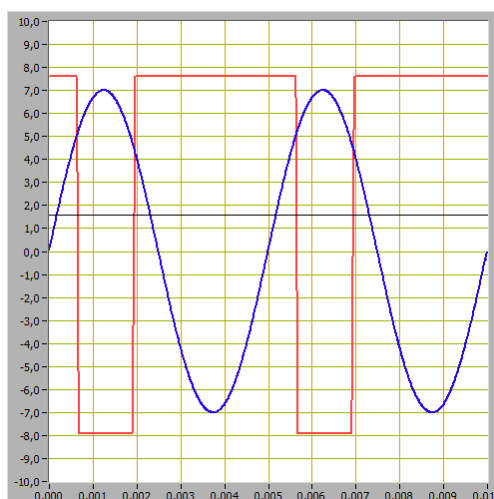


Рисунок 4.8 – Входной и выходной сигналы однопорогового компаратора при $U_{ПОР} = -5В$

Используя изображение входного сигнала, нужно определить с помощью горизонтальной визирной линии ВП пороговое значение входного напряжения $U_{ВХ.ПОР}$. Определенное значение:

$$U_{ВХ ПОР} = -5 В$$

На рисунках 4.9-4.11 представлены полученные изображения пиловидной, треугольной и прямоугольной форм сигнала однопорогового компаратора.

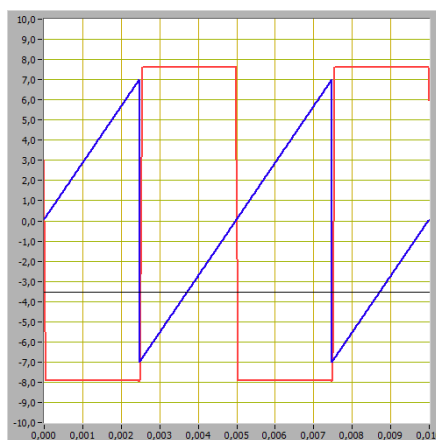


Рисунок 4.9 – Пиловидная форма сигнала

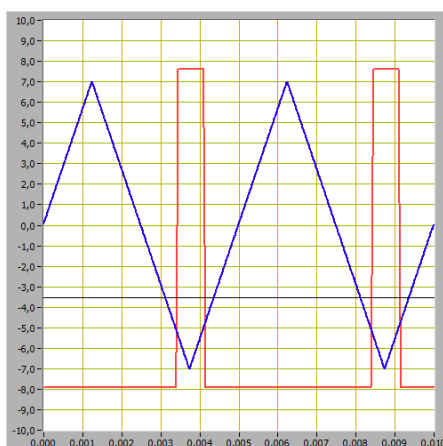


Рисунок 4.10 – Треугольная форма сигнала

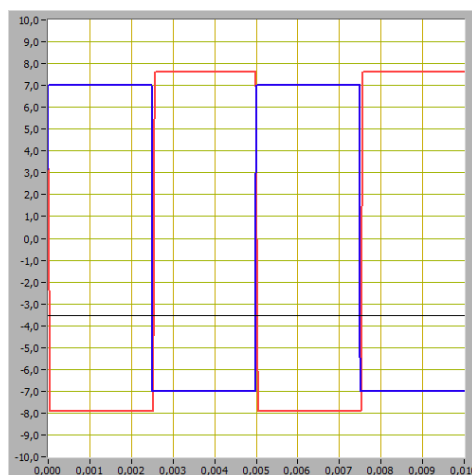


Рисунок 4.11 – Прямоугольная форма сигнала

4.3 Получение передаточной характеристики гистерезисного компаратора на основе операционного усилителя

Для получения передаточной характеристики гистерезисного компаратора необходимо подключить схему, изображенную на рисунке 4.12.

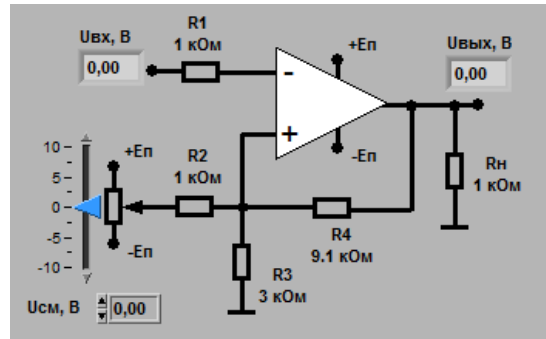


Рисунок 4.12— Схема подключения для получения передаточной характеристики гистерезисного компаратора на основе ОУ

С помощью элементов управления ВП нужно установить диапазон изменения входного сигнала $U_{ВХmin} = -10\text{В}$ и $U_{ВХmax} = 10\text{В}$ и пределы изменения выходного сигнала $U_{ВЫХmin} = -10\text{В}$ и $U_{ВЫХmax} = 10\text{В}$.

Для первого случая с помощью ползункового регулятора необходимо установить напряжение источника смещения передаточной характеристики $U_{СМ} = 0\text{В}$. Далее нажать кнопку «Измерение» и скопировать полученный график передаточной характеристики гистерезисного компаратора. В отличие от однопорогового компаратора гистерезисный имеет два уровня переключения: напряжение срабатывания при монотонном увеличении входного сигнала $U_{СР}$ и напряжение отпускания при монотонном уменьшении входного сигнала $U_{ОТ}$. Полученный график приведен на рисунке 4.13.

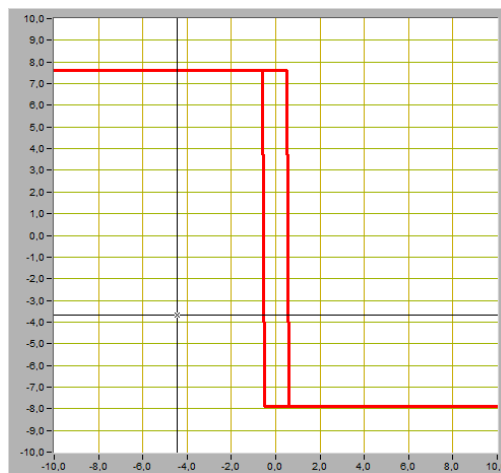


Рисунок 4.13 – Передаточная характеристика гистерезисного компаратора при $U_{СМ}=0\text{ В}$

Далее нужно определить по передаточной характеристике значения положительного $U_{ВЫХ+}$ и отрицательного $U_{ВЫХ-}$ выходных напряжений компаратора, а также уровни переключения компаратора $U_{СР}$ и $U_{ОТ}$.
Определенные значения:

$$\begin{aligned} U_{ВЫХ}^+ &= 7,65 \text{ В}, \\ U_{ВЫХ}^- &= -8 \text{ В} \\ U_{СР} &= 0,55 \text{ В}, \\ U_{ОТ} &= -0,62 \text{ В}. \end{aligned}$$

Напряжения срабатывания и отпускания компаратора были вычислены по следующим формулам:

$$U_{СР} = \frac{\frac{U_{СМ}}{R_2} + \frac{U_{ВЫХ}^+}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{0 + \frac{7,65}{9100}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{9100}} = 0,58 \text{ В}$$

$$U_{ОТ} = \frac{\frac{U_{СМ}}{R_2} + \frac{U_{ВЫХ}^-}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{0 + \frac{-8}{9100}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{9100}} = -0,609 \text{ В}$$

Сравнив полученные значения напряжения срабатывания и напряжения отпускания, было выявлено, что они отличаются от полученных по передаточной характеристике на 1,05% и 1,01% соответственно.

Для второго случая с помощью ползункового регулятора необходимо установить напряжение источника смещения передаточной характеристики $U_{СМ} = -10 \text{ В}$. Далее нажать кнопку «Измерение» и скопировать полученный график передаточной характеристики гистерезисного компаратора. Полученный график приведен на рисунке 4.14.



Рисунок 4.14 – Передаточная характеристика гистерезисного компаратора при $U_{СМ} = -10 \text{ В}$

Далее нужно определить по передаточной характеристике значения положительного $U_{ВЫХ+}$ и отрицательного $U_{ВЫХ-}$ выходных напряжений компаратора, а также уровни переключения компаратора $U_{СР}$ и $U_{ОТ}$.
Определенные значения:

$$U_{ВЫХ+} = 7,65 \text{ В},$$

$$U_{ВЫХ-} = -8 \text{ В},$$

$$U_{СР} = -6,4 \text{ В},$$

$$U_{ОТ} = -7,48 \text{ В}.$$

Напряжения срабатывания и отпускания компаратора были вычислены по следующим формулам:

$$U_{СР} = \frac{\frac{U_{СМ}}{R_2} + \frac{U_{ВЫХ+}}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{-\frac{10}{1000} + \frac{7,65}{9100}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{9100}} = -6,34 \text{ В}$$

$$U_{ОТ} = \frac{\frac{U_{СМ}}{R_2} + \frac{U_{ВЫХ-}}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{-\frac{10}{1000} + \frac{-8}{9100}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{9100}} = -7,54 \text{ В}$$

Сравнив полученные значения напряжения срабатывания и напряжения отпускания, было выявлено, что они отличаются от полученных по передаточной характеристике на 1,009% и 1,008% соответственно.

Для третьего случая с помощью ползункового регулятора необходимо установить напряжение источника смещения передаточной характеристики $U_{СМ} = -5 \text{ В}$. Далее нажать кнопку «Измерение» и скопировать полученный график передаточной характеристики гистерезисного компаратора. Полученный график приведен на рисунке 4.15.

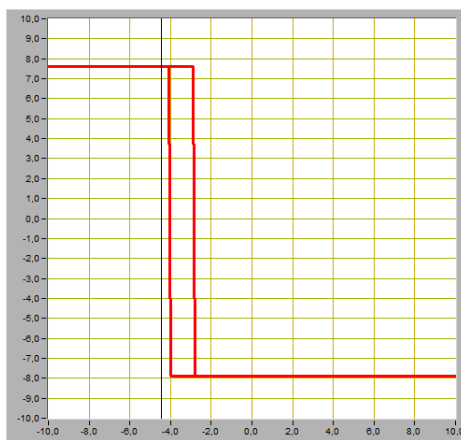


Рисунок 4.15 – Передаточная характеристика гистерезисного компаратора при $U_{СМ} = -5 \text{ В}$

Далее нужно определить по передаточной характеристике значения положительного $U_{ВЫХ+}$ и отрицательного $U_{ВЫХ-}$ выходных напряжений компаратора, а также уровни переключения компаратора $U_{СР}$ и $U_{ОТ}$.

Определенные значения:

$$U_{ВЫХ+} = 7,65 \text{ В},$$

$$U_{ВЫХ-} = -8 \text{ В},$$

$$U_{СР} = -2,8 \text{ В},$$

$$U_{ОТ} = -4 \text{ В}.$$

Напряжения срабатывания и отпускания компаратора были вычислены по следующим формулам:

$$U_{СР} = \frac{\frac{U_{СМ}}{R_2} + \frac{U_{ВЫХ+}}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{-\frac{5}{1000} + \frac{7,65}{9100}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{9100}} = -2,88 \text{ В}$$

$$U_{ОТ} = \frac{\frac{U_{СМ}}{R_2} + \frac{U_{ВЫХ-}}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{\frac{-5}{1000} + \frac{-8}{9100}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{9100}} = -4,07 \text{ В}$$

Сравнив полученные значения напряжения срабатывания и напряжения отпускания, было выявлено, что они отличаются от полученных по передаточной характеристике на 1,02% и 1,01% соответственно.

Для четвертого случая с помощью ползункового регулятора необходимо установить напряжение источника смещения передаточной характеристики $U_{СМ} = 5 \text{ В}$. Далее нажать кнопку «Измерение» и скопировать полученный график передаточной характеристики гистерезисного компаратора. Полученный график приведен на рисунке 4.16.

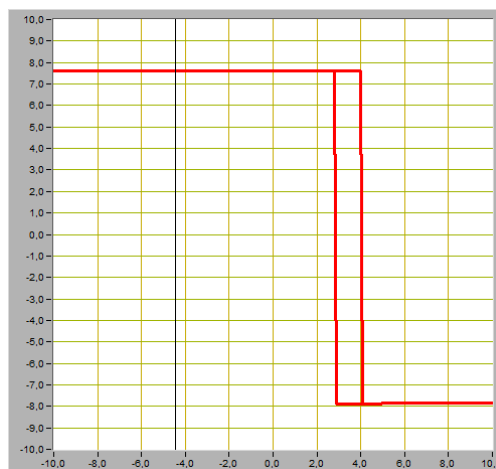


Рисунок 4.16 – Передаточная характеристика гистерезисного компаратора при $U_{СМ}=5 \text{ В}$

Далее нужно определить по передаточной характеристике значения положительного $U_{ВЫХ+}$ и отрицательного $U_{ВЫХ-}$ выходных напряжений компаратора, а также уровни переключения компаратора $U_{СР}$ и $U_{ОТ}$.
Определенные значения:

$$\begin{aligned} U_{ВЫХ}^+ &= 7,65 \text{ В}, \\ U_{ВЫХ}^- &= -8 \text{ В}, \\ U_{СР} &= 2,8 \text{ В}, \\ U_{ОТ} &= 4 \text{ В}. \end{aligned}$$

Напряжения срабатывания и отпускания компаратора были вычислены по следующим формулам:

$$U_{СР} = \frac{\frac{U_{СМ}}{R_2} + \frac{U_{ВЫХ}^+}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{-\frac{5}{1000} + \frac{7,65}{9100}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{9100}} = 2,85 \text{ В}$$

$$U_{ОТ} = \frac{\frac{U_{СМ}}{R_2} + \frac{U_{ВЫХ}^-}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{\frac{-5}{1000} + \frac{-8}{9100}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{9100}} = 4,04 \text{ В}$$

Сравнив полученные значения напряжения срабатывания и напряжения отпускания, было выявлено, что они отличаются от полученных по передаточной характеристике на 1,017% и 1,01% соответственно.

Для четвертого случая с помощью ползункового регулятора необходимо установить напряжение источника смещения передаточной характеристики $U_{СМ}=10\text{В}$. Далее нажать кнопку «Измерение» и скопировать полученный график передаточной характеристики гистерезисного компаратора. Полученный график приведен на рисунке 4.17.

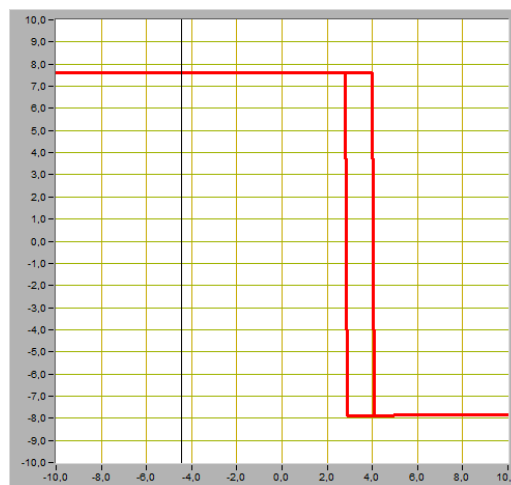


Рисунок 4.17 – Передаточная характеристика гистерезисного компаратора при $U_{СМ}=10 \text{ В}$

Далее нужно определить по передаточной характеристике значения положительного $U_{ВЫХ+}$ и отрицательного $U_{ВЫХ-}$ выходных напряжений компаратора, а также уровни переключения компаратора $U_{СР}$ и $U_{ОТ}$.
Определенные значения:

$$\begin{aligned} U_{ВЫХ+} &= 7,65 \text{ В}, \\ U_{ВЫХ-} &= -8 \text{ В}, \\ U_{СР} &= 7,5 \text{ В}, \\ U_{ОТ} &= 6,2 \text{ В}. \end{aligned}$$

Напряжения срабатывания и отпускания компаратора были вычислены по следующим формулам

$$U_{СР} = \frac{\frac{U_{СМ}}{R_2} + \frac{U_{ВЫХ+}}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{-\frac{5}{1000} + \frac{7,65}{9100}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{9100}} = 7,51 \text{ В}$$

$$U_{ОТ} = \frac{\frac{U_{СМ}}{R_2} + \frac{U_{ВЫХ-}}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{-\frac{5}{1000} + \frac{-8}{9100}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{9100}} = 6,32 \text{ В},$$

Сравнив полученные значения напряжения срабатывания и напряжения отпускания, было выявлено, что они отличаются от полученных по передаточной характеристике на 1,013% и 1,019% соответственно.

4.4 Изучение работы гистерезисного компаратора на основе операционного усилителя

Для изучения работы гистерезисного компаратора необходимо подключить схему, изображенную на рисунке 4.18.

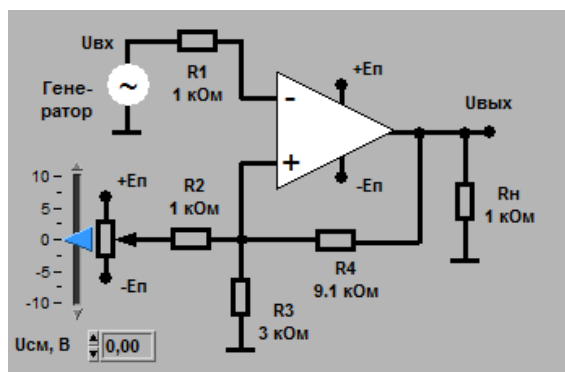


Рисунок 4.18 – Схема для изучения работы гистерезисного компаратора

С помощью элементов управления ВП необходимо установить следующий режим измерения: форма сигнала – синусоидальная, частота сигнала – 200 Гц, амплитуда входного сигнала 7 В.

С помощью ползункового регулятора нужно установить напряжение источника смещения передаточной характеристики $U_{CM} = 0$ В и скопировать изображение входного и выходного сигналов компаратора. Полученное изображение представлено на рисунке 4.19.

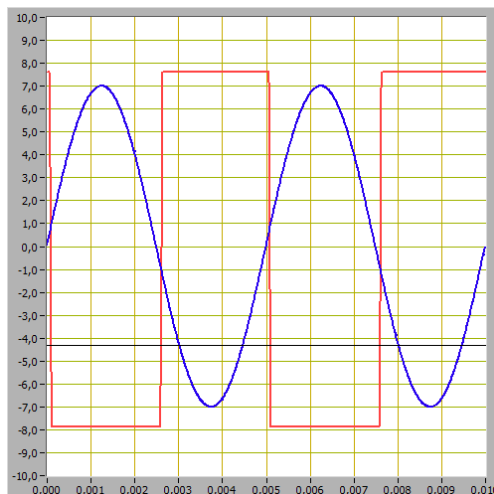


Рисунок 4.19 Входной и выходной сигнал компаратора при $U_{CM}=0$ В

Используя изображение входного сигнала нужно определить напряжения срабатывания и отпускания компаратора. Определенные значения:

$$U_{CP} = 0,58 \text{ В},$$

$$U_{OT} = -0,62 \text{ В}.$$

Далее с помощью ползункового регулятора необходимо установить напряжение источника смещения передаточной характеристики $U_{CM} = -5$ В и скопировать изображение входного и выходного сигналов компаратора. Полученное изображение представлено на рисунке 4.20.

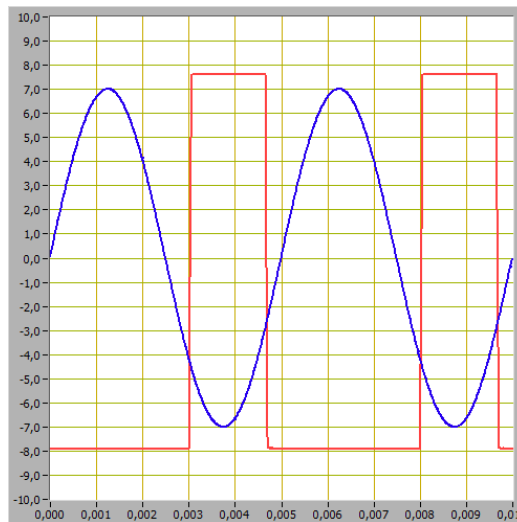


Рисунок 4.20 Входной и выходной сигнал компаратора при $U_{CM} = -5$ В

Используя изображение входного сигнала нужно определить напряжения срабатывания и отпускания компаратора:

$$U_{CP} = 2,8 \text{ В},$$

$$U_{OT} = -4,07 \text{ В}.$$

Далее необходимо с помощью ползункового регулятора установить напряжение источника смещения передаточной характеристики $U_{CM} = 5$ В и скопировать изображение входного и выходного сигналов компаратора. Полученное изображение представлено на рисунке 4.21.

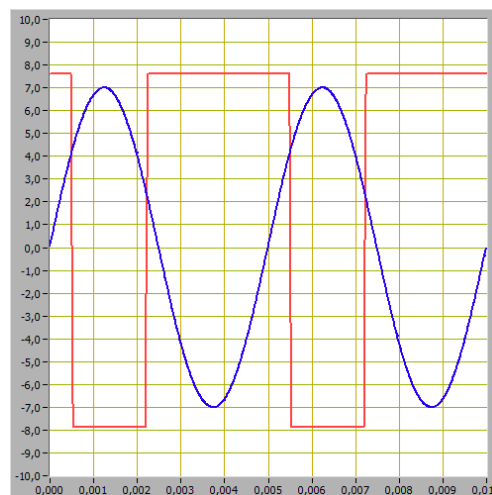


Рисунок 4.21 Входной и выходной сигнал компаратора при $U_{CM} = 5$ В

Используя изображение входного сигнала нужно определить напряжения срабатывания и отпускания компаратора:

$$U_{CP} = 4,04 \text{ В},$$

$$U_{OT} = 2,85 \text{ В}.$$

На рисунках 4.22-4.24 представлены полученные изображения пиловидной, треугольной и прямоугольной форм сигнала для гистерезисного компаратора.

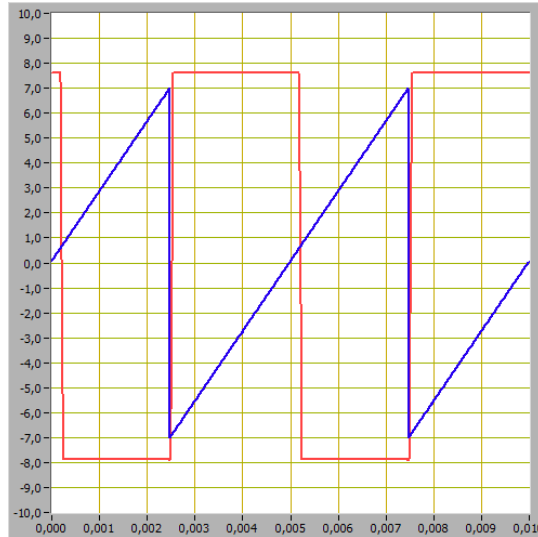


Рисунок 4.22 – Пиловидная форма сигнала

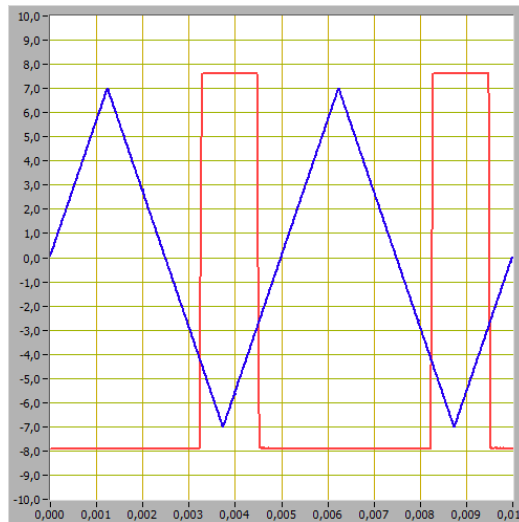


Рисунок 4.23 – Треугольная форма сигнала

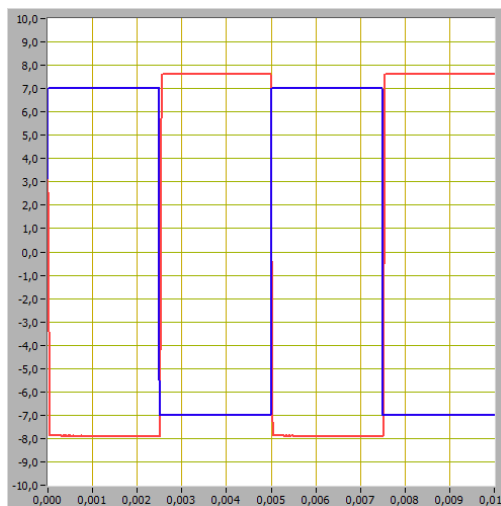


Рисунок 4.24 – Прямоугольная форма сигнала

5 ВЫВОДЫ

В ходе выполнения лабораторной работы была изучена работа аналоговых компараторов на основе операционного усилителя, получены передаточные характеристики однопорогового и гистерезисного компаратора напряжения, а также изучена работа компараторов при других формах входного сигнала.