

БГУИР

Кафедра ЭВМ

Отчет по лабораторной работе № 4

Тема: «Исследование характеристик аналоговых компараторов напряжения»

Выполнил:  
студент группы 950502 Киреев Ю.В.

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

Минск 2021

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является:

- ознакомление с характеристиками аналоговых компараторов напряжения;
- исследование работы однопорогового компаратора;
- исследование работы гистерезисного компаратора.

## 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В состав лабораторного стенда входят:

- базовый лабораторный стенд;
- лабораторный модуль Lab7A для исследования характеристик аналоговых компараторов напряжения (рисунок 2.1).
- макетная плата лабораторной станции NI ELVIS.

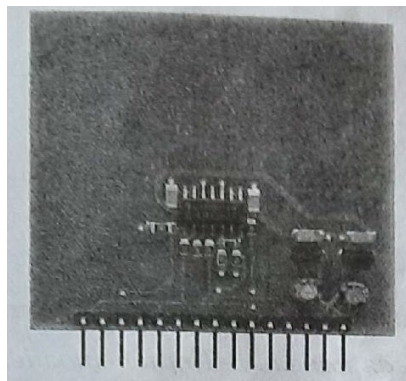


Рис 2.1 – Внешний вид модуля Lab7A для исследования характеристик аналоговых компараторов напряжения

В ходе лабораторной работы требуется выполнить следующие задания:

1. получение передаточной характеристики однопорогового компаратора;
2. исследование работы однопорогового компаратора;
3. получение передаточной характеристики гистерезисного компаратора;
4. исследование работы гистерезисного компаратора.

### 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:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \begin{cases} U_B, & \text{при } U_{\text{ВХ1}} > U_{\text{ВХ2}} \text{ или } \Delta U_{\text{ВХ}} > 0, \\ U_H, & \text{при } U_{\text{ВХ1}} < U_{\text{ВХ2}} \text{ или } \Delta U_{\text{ВХ}} < 0. \end{cases}$$

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, второй – при использовании специализированных интегральных схем. Во втором случае выходные напряжения компаратора согласованы по величине и полярности с сигналами и, используемыми в цифровой технике.

Поэтому можно сказать, что входной сигнал компаратора носит аналоговый характер, а выходной – цифровой. Вследствие этого компараторы используются в качестве элементов связи между аналоговыми и цифровыми устройствами.

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

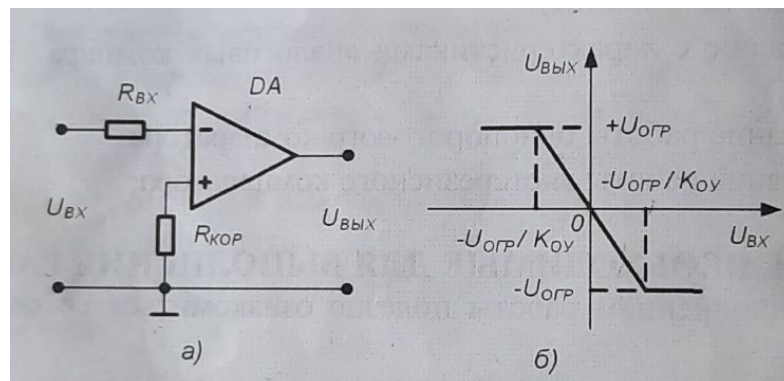


Рис 3.1. Схема инвертирующего усилителя (а) и его передаточная характеристика (б)

Пока входной сигнал удовлетворяет соотношению:

$$\frac{U_{\text{ОГР-}}}{K_{\text{ОУ}}} < U_{\text{ВХ}} < \frac{U_{\text{ОГР+}}}{K_{\text{ОУ}}}.$$

Схема работает в линейном режиме и выходной сигнал изменяется пропорциональна входному.

При нарушении данного 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:

$$|\Delta U_{\text{ВХ}}| > \frac{|U_{\text{ОГР}}|}{K_{\text{ОУ}}}.$$

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

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

$$\Delta = \frac{|U_{\text{ОГР}}|}{K_{\text{ОУ}}}.$$

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:

$$K_{\text{ПОС}} = \frac{K}{1 - K \cdot b_{\text{ОС}}}.$$

Из данного уравнения следует, что при  $b_{\text{ОС}} = 1/K$  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 её удаётся существенно снизить.

### 3.1 Однопороговый компаратор

Однопороговыми называются устройства сравнения, для которых коэффициент усиления используемого усилителя всегда остаётся 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:

$$b_{\text{ос}} \leq \frac{1}{K_{\text{оу}}}.$$

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

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

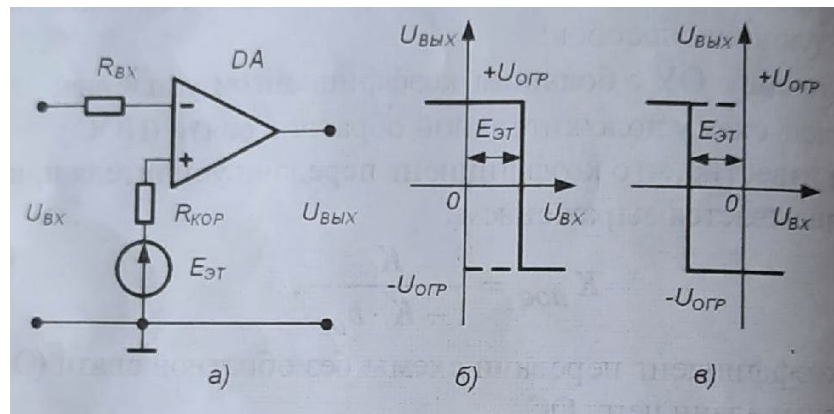


Рис 3.2. Схема однопорогового компаратора со смещенным порогом срабатывания (а) и его передаточные характеристики при  $E_{эт} > 0$  (б) и  $E_{эт} < 0$  (в)

Если в схеме на рис. 3.2а вместо источника эталонного напряжения использовать второе входное напряжения, 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 рис. 3.3.

### 3.2 Гистерезисный компаратор

Гистерезисными называют схема 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:

$$b_{ос} > \frac{1}{K_{оу}}.$$

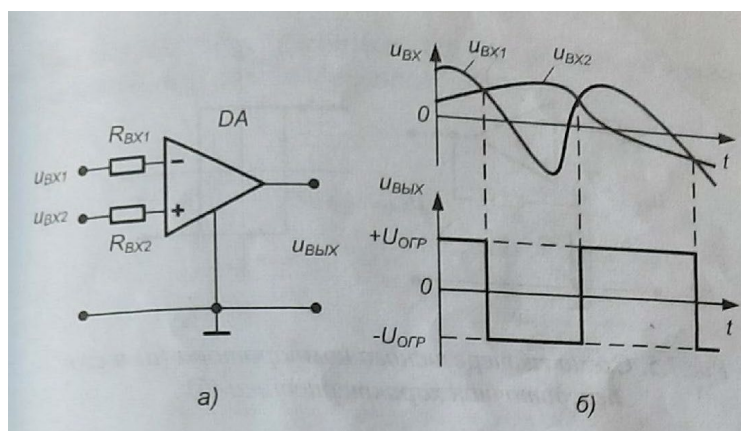


Рис 3.3. Однопороговая схема сравнения двух напряжений (а) и временные диаграммы, поясняющие её работу (б)

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

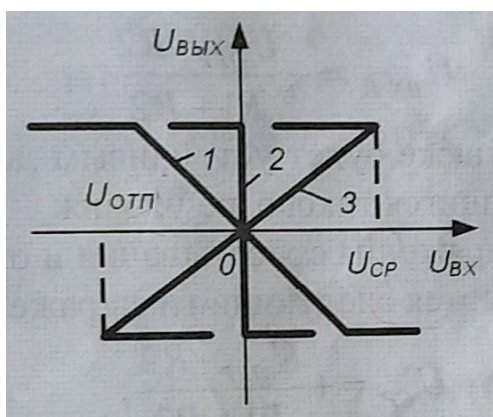


Рис 3.4 Передаточные характеристики ОУ с цепью ПОС при  $b_{OC} < 1/K_{OY}$  (1),  $b_{OC} = 1/K_{OY}$  (2) и  $b_{OC} > 1/K_{OC}$  (3)

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 её передаточная характеристика приведены на рис. 3.5.

Предположим, что в некоторый момент времени входное напряжение схемы равно нулю, а на её выходе присутствует напряжение положительной

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

$$U_{вх.н} = \frac{U_{огр} \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

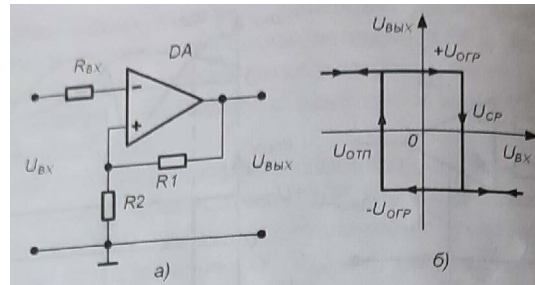


Рис 3.5 Схема гистерезисного компаратора (а) и его передаточная характеристика (б)

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 выходе ОУ установится напряжение

$$U_{вх.н} = - \frac{U_{огр} \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

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

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

$$U_{сп} = + \frac{U_{огр} \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

$$U_{отп} = - \frac{U_{огр} \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

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, коэффициентом



передачи которого зависит от полярности его входного напряжения. Пример такого устройства приведен на рис. 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 отпущения определяется, как и в схеме на рис. 3.5а. На рис. 3.6б приведена передаточная характеристика схемы сравнения. Из рисунка видно, что она несимметрична относительно начала координат.

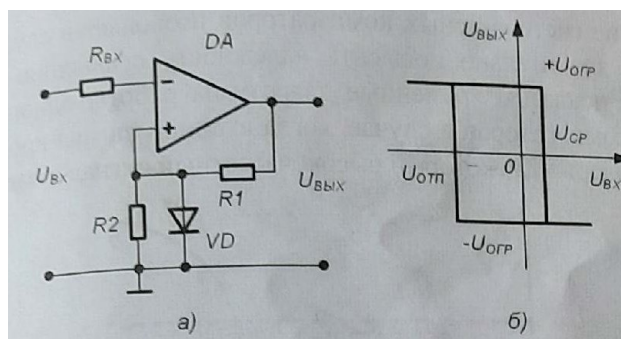


Рис 3.6. Схема гистерезисного компаратора с цепью нелинейной ПОС (а) и его передаточная характеристика (б)

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

$$U_{вх.н} = \frac{E_{см}/R_{дел} + U_{вых}/R_2}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{дел}}.$$

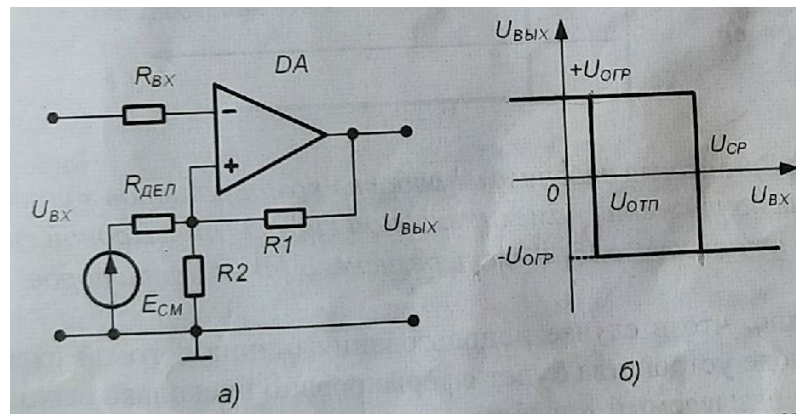


Рис 3.7. Схема гистерезисного компаратора со смещенной характеристикой (а) и его передаточная характеристика (б)

Тогда напряжения срабатывания и отпускания компаратора определяются выражениями:

$$U_{\text{CP}} = \frac{E_{\text{CM}}/R_{\text{ДЕЛ}} + U_{\text{ОГР}}/R_2}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{\text{ДЕЛ}}},$$

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

Применение гистерезисных компараторов позволяет в случае действия внешних помех значительно повысить надежность сравнения напряжения. На рис. 3.8 показаны временные диаграммы работы однопорогового гистерезисного компаратора в случае, когда входной сигнал кроме полезной составляющей содержит некоторый высокочастотный сигнал помехи.

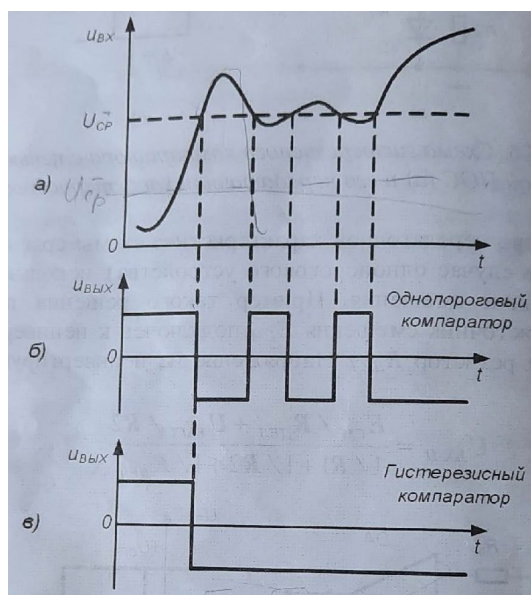


Рис 3.8. Временные диаграммы работы компараторов в условиях действия напряжения помехи: входной сигнал (а), выходной сигнал однопорогового (б) и гистерезисного (в) компараторов

Очевидно, что в случае использования однопороговой схемы сравнения на выходе устройства будет сформировано несколько выходных импульсов, затрудняющий 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

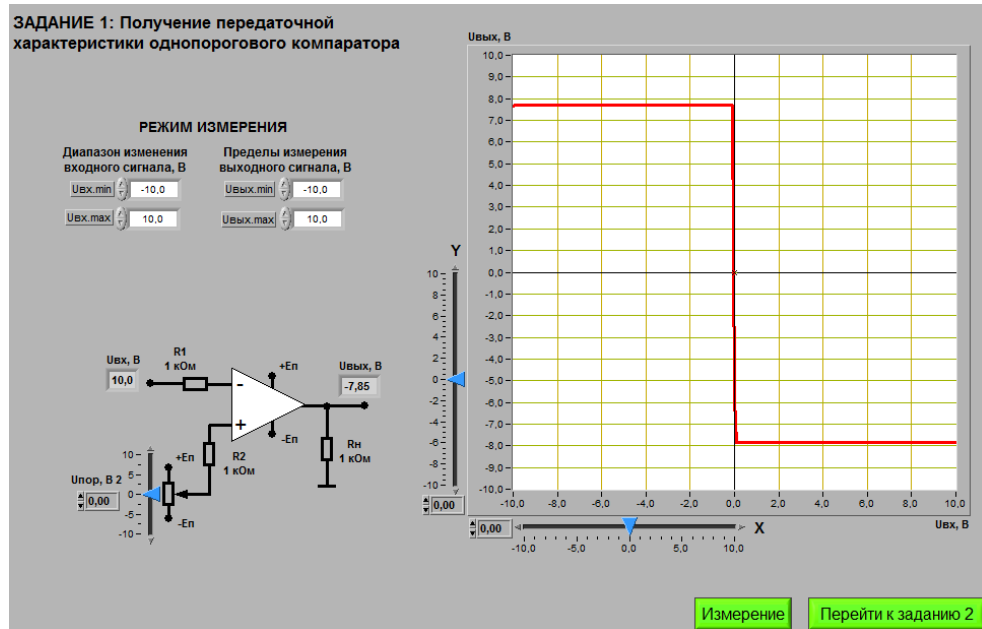


Рис. 4.1.1. Получение графика для порогового напряжения 0 В

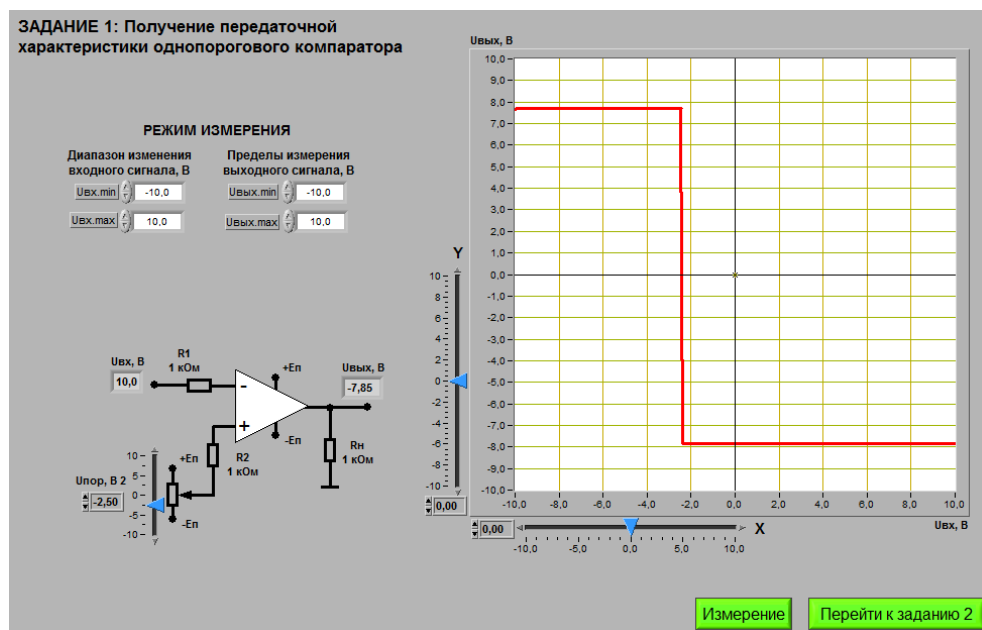


Рис. 4.1.2. Получение графика для порогового напряжения -2,5 В

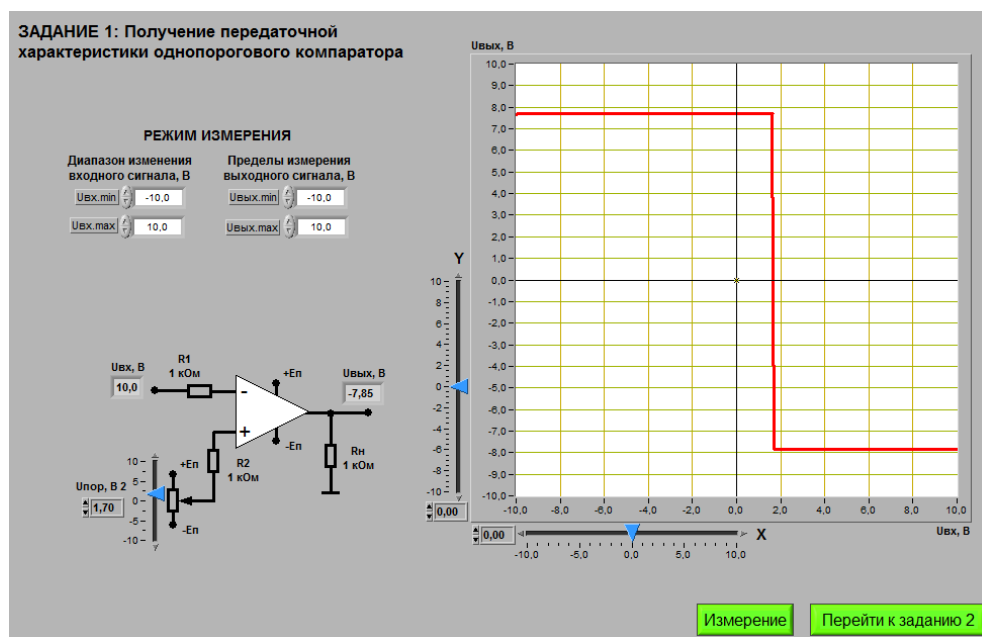


Рис. 4.1.3. Получение графика для порогового напряжения 1,7 В

На основании рис. 4.1.1-4.1.3 были получены следующие значения при различных пороговых напряжениях:

$$U_{\text{ПОР}} = 0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВЫХ}+} = 7,8 \text{ В}, \quad U_{\text{ВЫХ}-} = -7,9 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ}} = 0 \text{ В}.$$

$$U_{\text{ПОР}} = -2,5 \text{ В}, \quad U_{\text{ВЫХ}+} = 7,8 \text{ В}, \quad U_{\text{ВЫХ}-} = -7,9 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ}} = -2,5 \text{ В}.$$

$$U_{\text{ПОР}} = 1,7 \text{ В}, \quad U_{\text{ВЫХ}+} = 7,8 \text{ В}, \quad U_{\text{ВЫХ}-} = -7,9 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ}} = 1,7 \text{ В}.$$

## 4.2 Исследование работы однопорогового компаратора

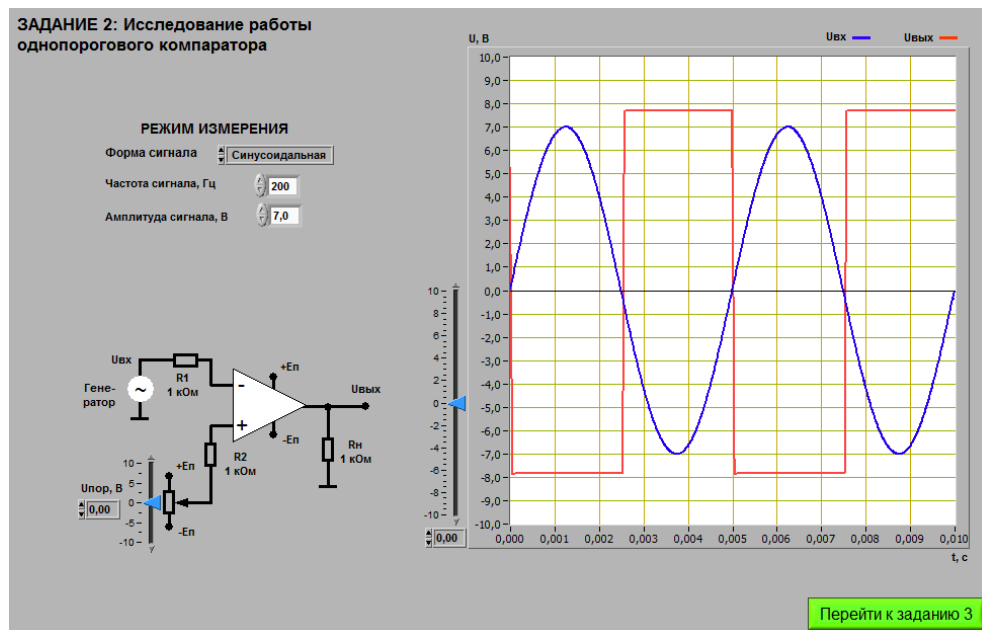


Рис 4.2.1. Получение графика синусоидальной формы и порогового напряжения 0 В

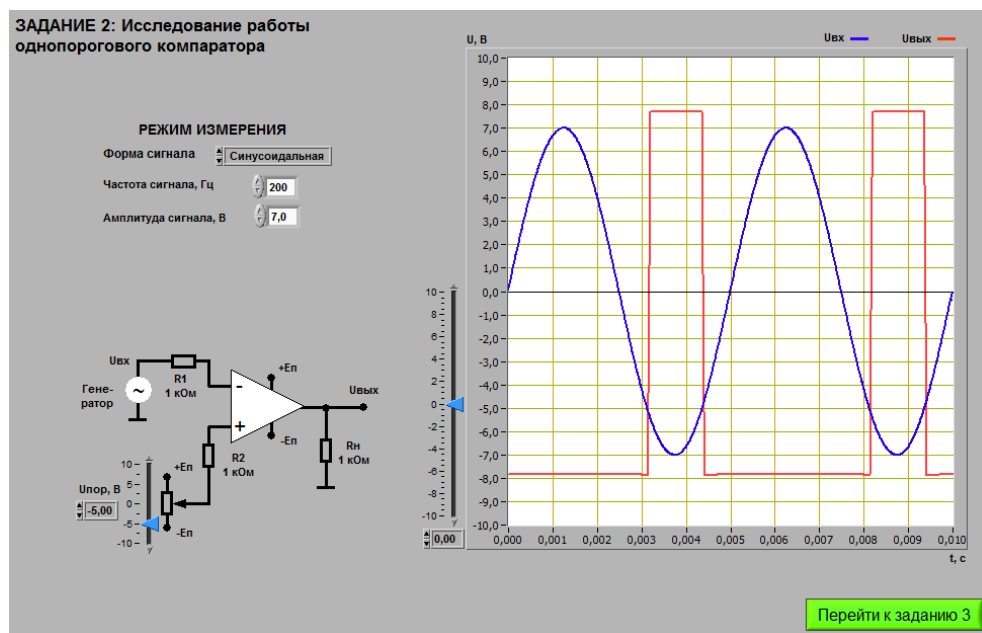


Рис 4.2.2. Получение графика синусоидальной формы и порогового напряжения -5,0 В

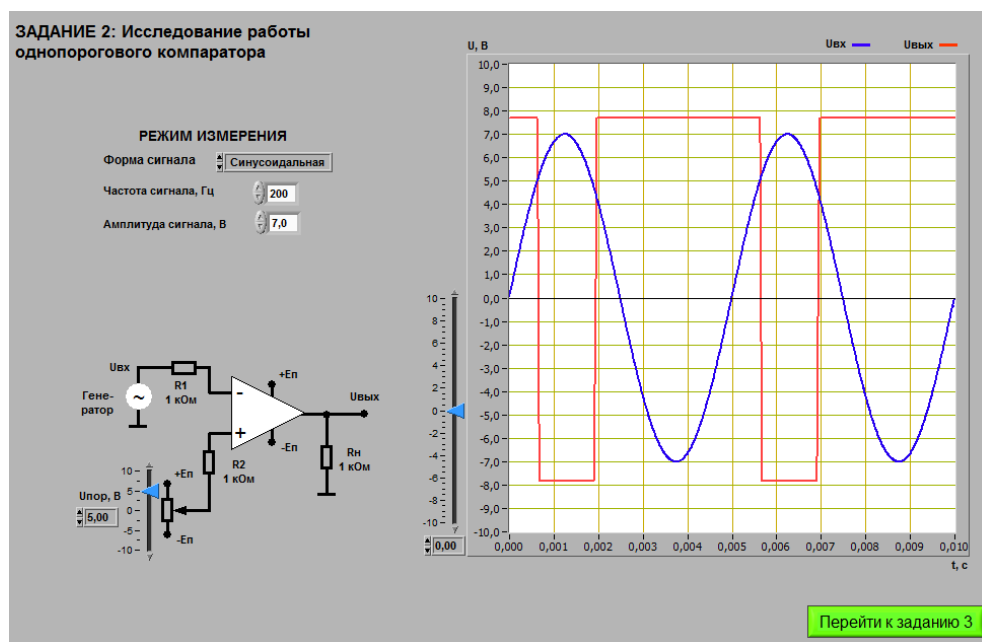


Рис 4.2.3. Получение графика синусоидальной формы и порогового напряжения 5,0 В

На основании рис. 4.2.1-4.2.3 были получены следующие значения при различных пороговых напряжениях:

$$U_{\text{ПОР}} = 0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ.ПОР}} = 0 \text{ В.}$$

$$U_{\text{ПОР}} = -5,0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ.ПОР}} = -5,0 \text{ В.}$$

$$U_{\text{ПОР}} = 5,0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ.ПОР}} = 5,0 \text{ В.}$$

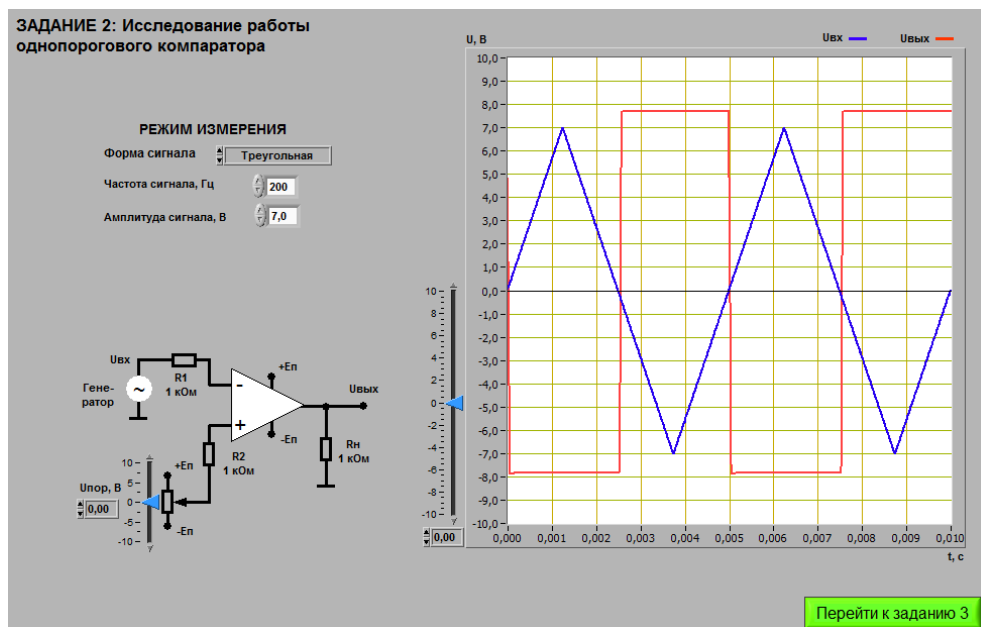


Рис. 4.2.4. Получение графика треугольной формы и порогового напряжения 0 В

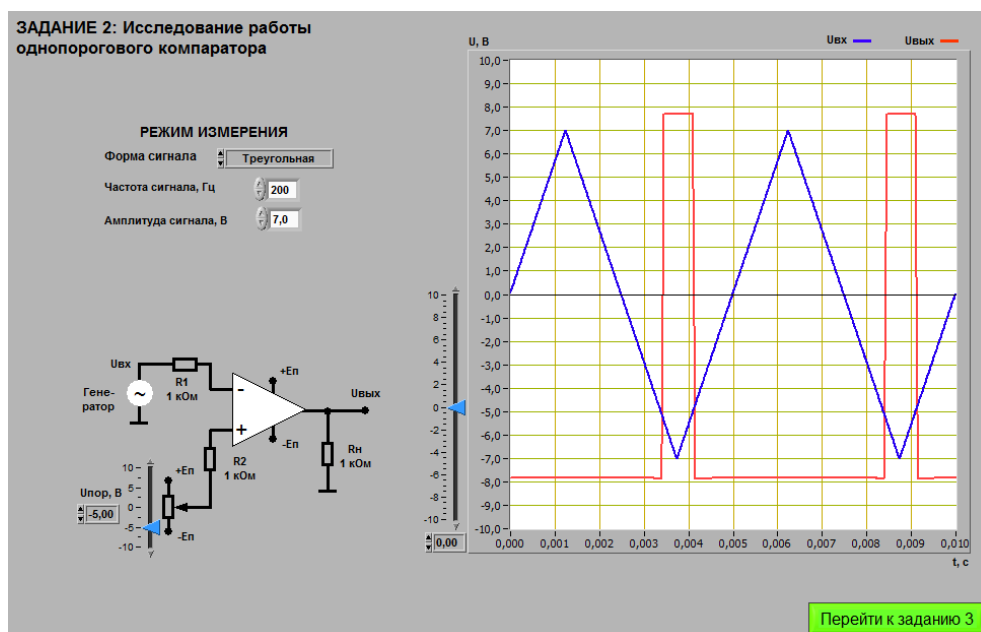


Рис. 4.2.5. Получение графика треугольной формы и порогового напряжения -5,0 В



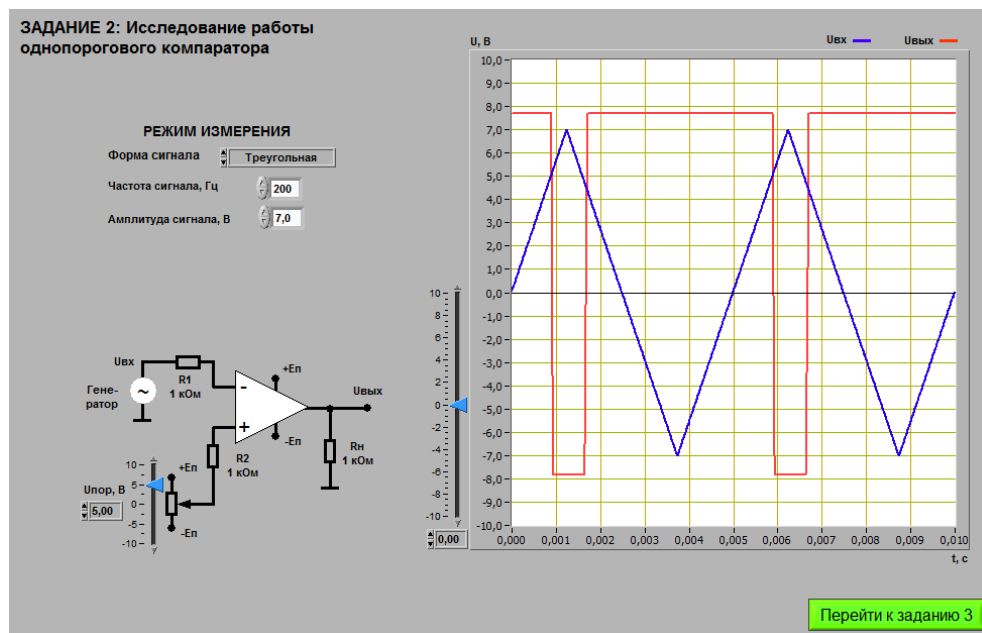


Рис. 4.2.6. Получение графика треугольной формы и порогового напряжения 5,0 В

На основании рис. 4.2.4-4.2.6 были получены следующие значения при различных пороговых напряжениях:

$$U_{\text{ПОР}} = 0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ.ПОР}} = 0 \text{ В.}$$

$$U_{\text{ПОР}} = -5,0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ.ПОР}} = -5,0 \text{ В.}$$

$$U_{\text{ПОР}} = 5,0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ.ПОР}} = 5,0 \text{ В.}$$

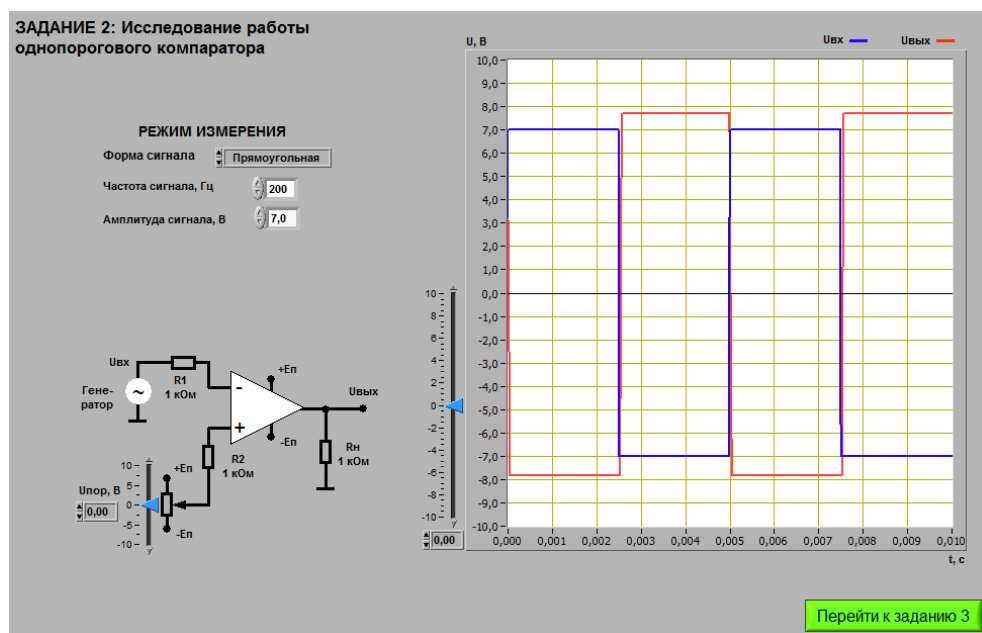


Рис. 4.2.7. Получение графика прямоугольной формы и порогового напряжения 0 В

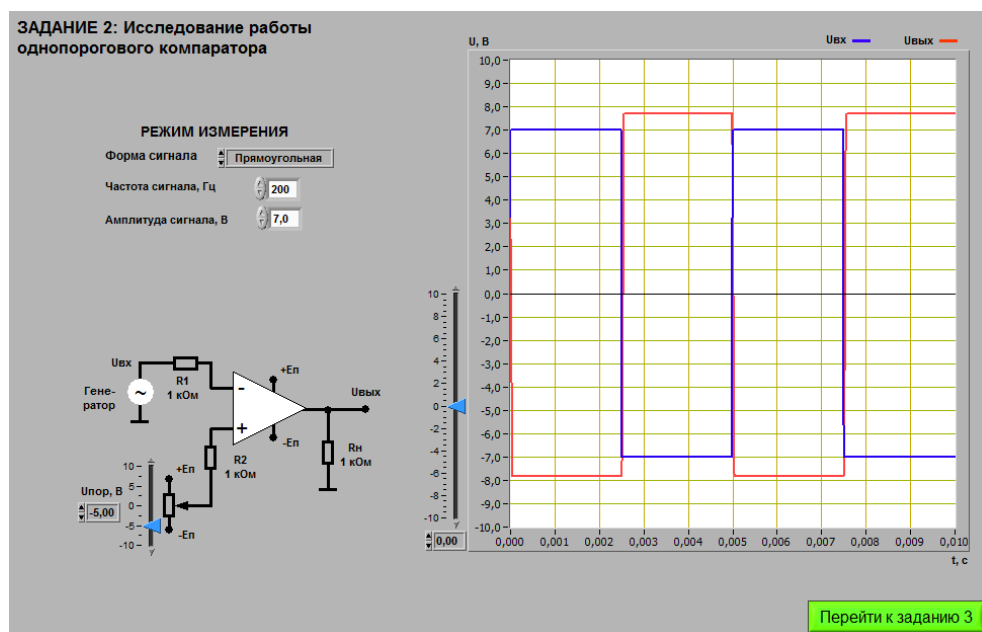


Рис. 4.2.8. Получение графика прямоугольной формы и порогового напряжения -5,0 В

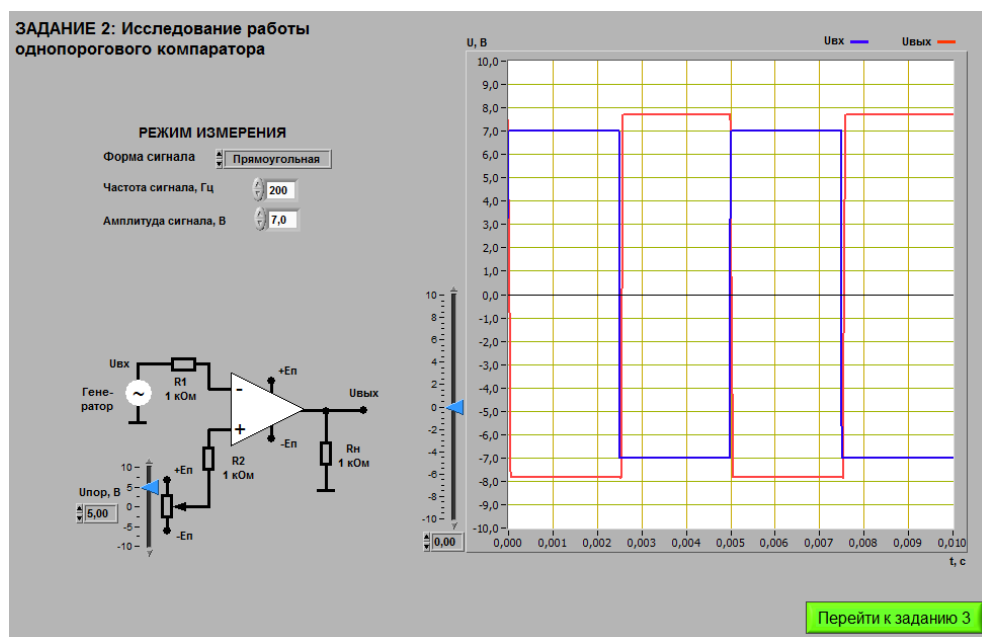


Рис. 4.2.9. Получение графика прямоугольной формы и порогового напряжения 5,0 В

На основании рис. 4.2.8-4.2.9 были получены следующие значения при различных пороговых напряжениях:

$$U_{\text{ПОР}} = 0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ.ПОР}} = 0 \text{ В.}$$

$$U_{\text{ПОР}} = -5,0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ.ПОР}} = -5,0 \text{ В.}$$

$$U_{\text{ПОР}} = 5,0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ.ПОР}} = 5,0 \text{ В.}$$

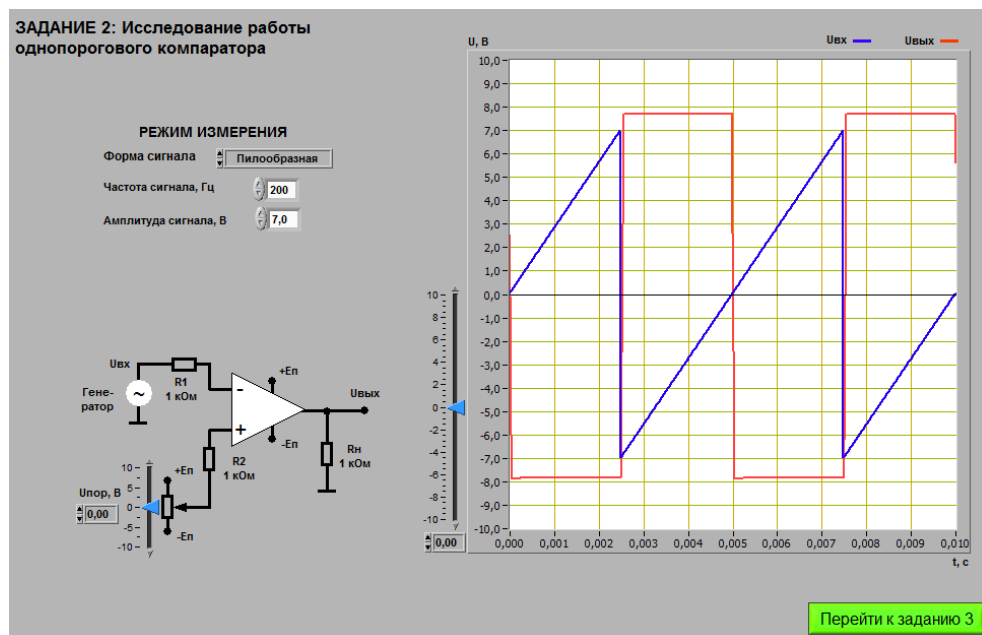


Рис. 4.2.10 Получение графика пилообразной формы и порогового напряжения 0 В

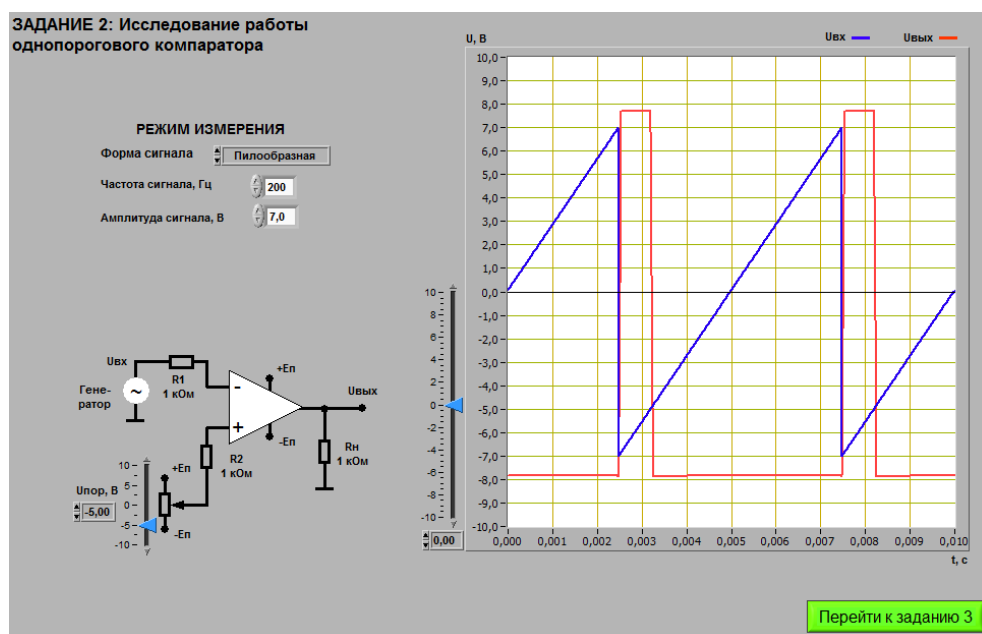


Рис. 4.2.11. Получение графика пилообразной формы и порогового напряжения -5,0 В

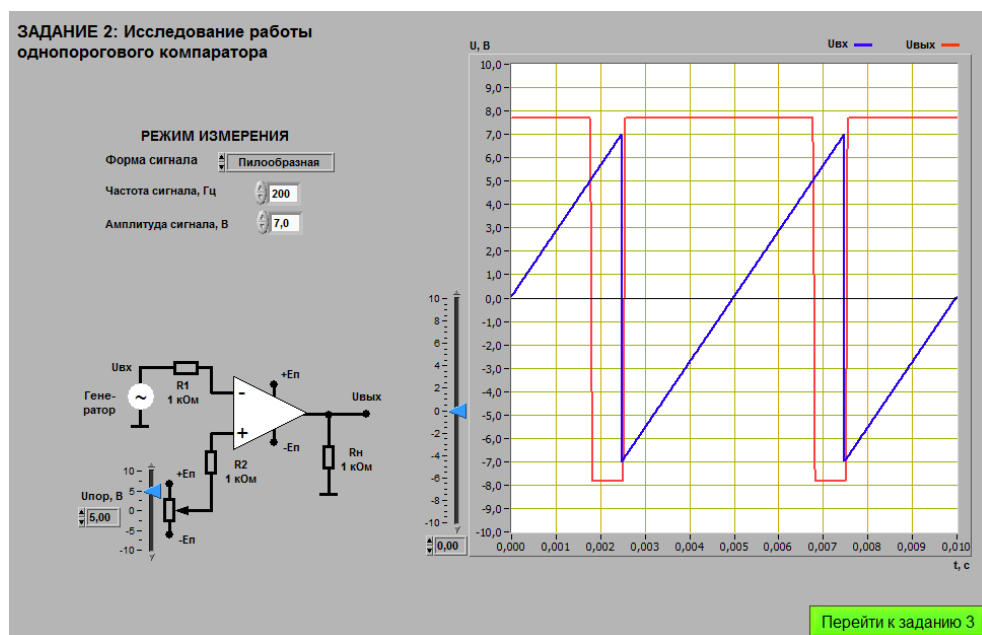


Рис. 4.2.12. Получение графика пилообразной формы и порогового напряжения 5,0 В

На основании рис. 4.2.10-4.2.12 были получены следующие значения при различных пороговых напряжениях:

$$U_{\text{ПОР}} = 0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ.ПОР}} = 0 \text{ В}.$$

$$U_{\text{ПОР}} = -5,0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ.ПОР}} = -5,0 \text{ В}.$$

$$U_{\text{ПОР}} = 5,0 \text{ В}, \quad U_{\text{ВХ.ПОР}} = 5,0 \text{ В}.$$

### 4.3 Получение передаточной характеристики гистерезисного компаратора

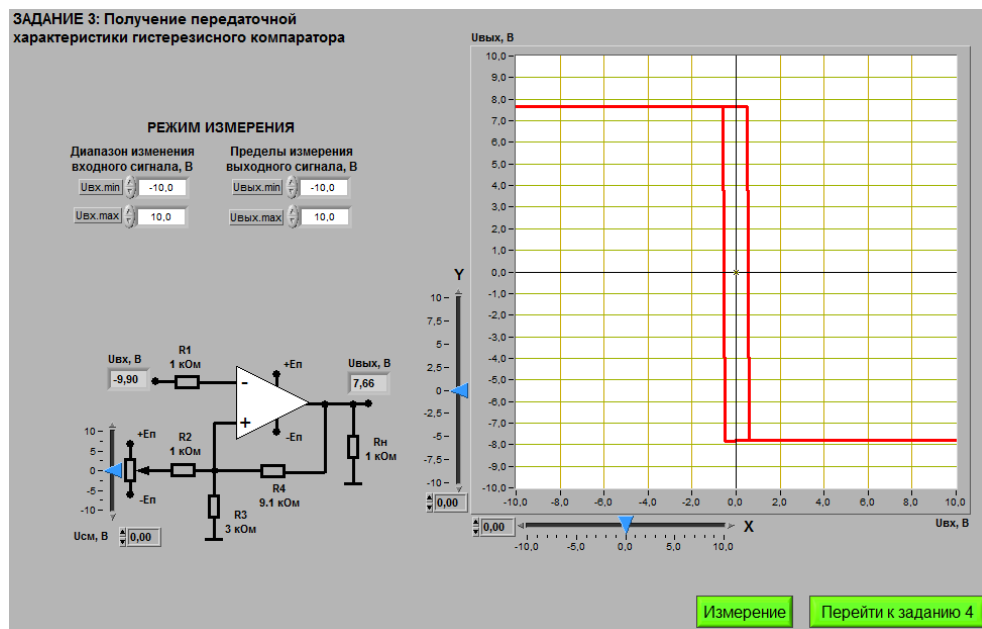


Рис 4.3.1 Получение передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения 0 В

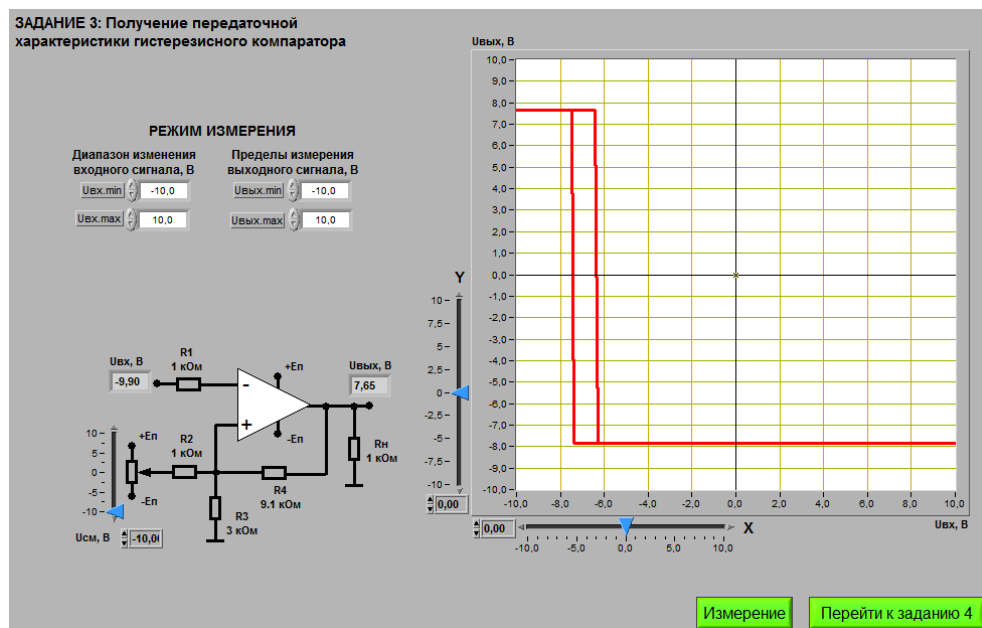


Рис 4.3.2 Получение передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения -10 В

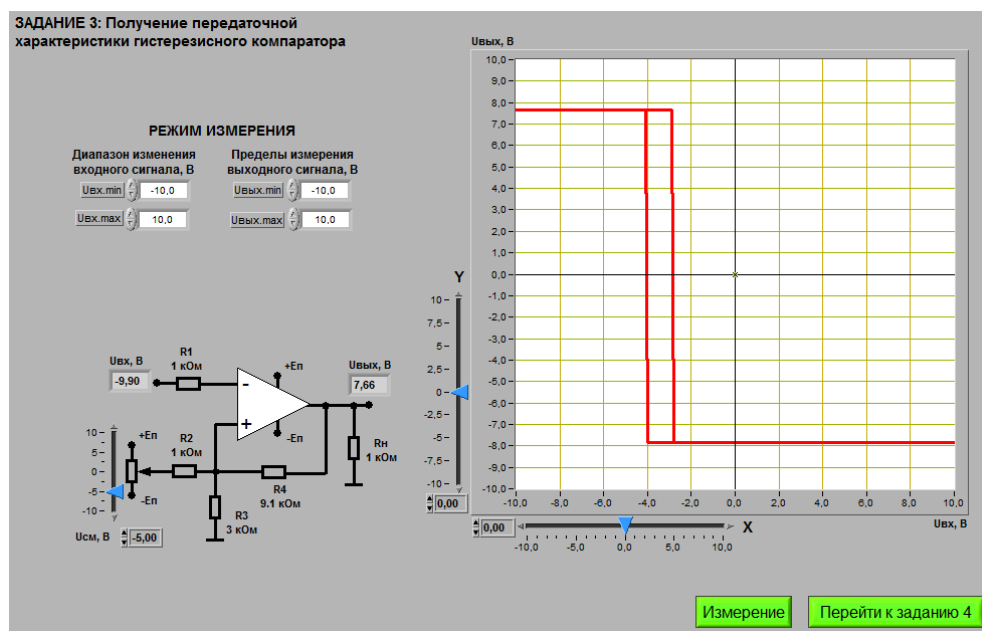


Рис 4.3.3 Получение передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения -5,0 В

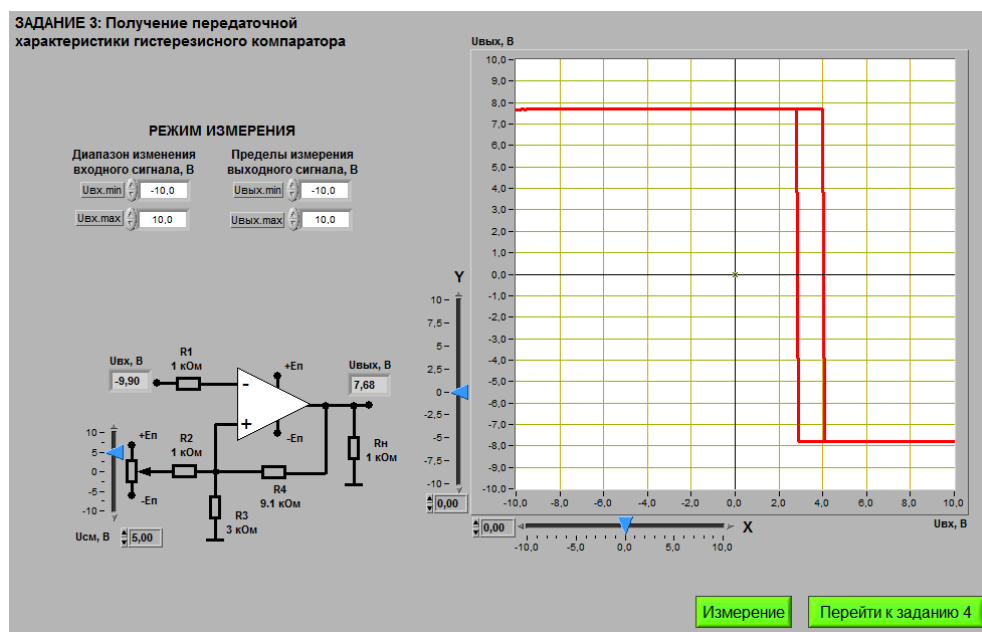


Рис 4.3.4 Получение передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения 5,0 В

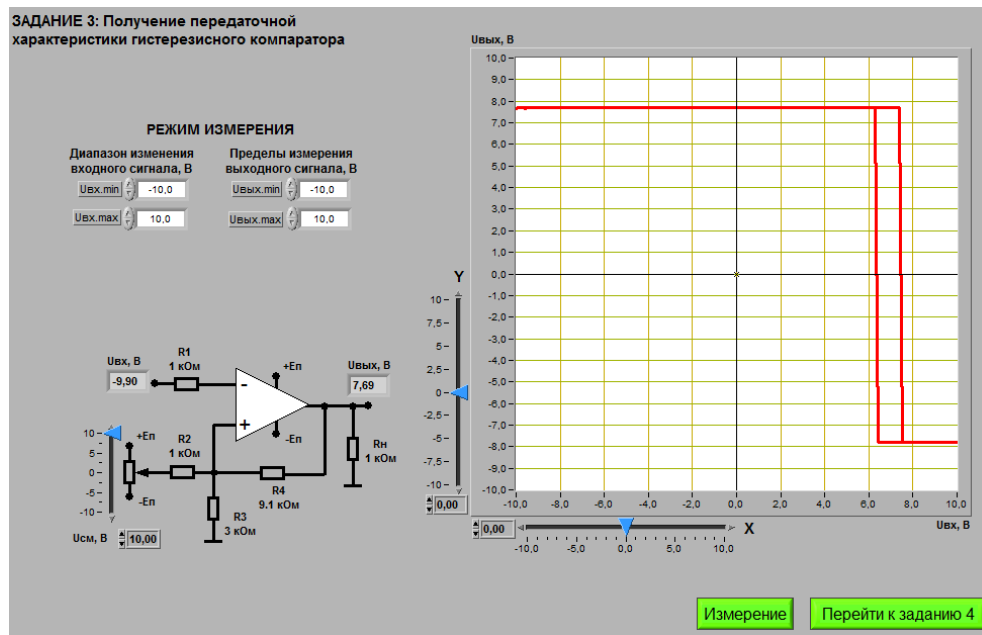


Рис 4.3.5 Получение передаточной характеристики гистерезисного компаратора при напряжении смещения 10 В

На основании рис. 4.3.1-4.3.5 были получены следующие значения:

$$U_{CP} = \frac{U_{CM}/R_2 + U_{ВЫХ+}/R_4}{1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4} = \frac{U_{CM}/1000 + U_{ВЫХ+}/9100}{1/1000 + 1/3000 + 1/9100},$$

$$U_{OT} = \frac{U_{CM}/R_2 + U_{ВЫХ-}/R_4}{1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4} = \frac{U_{CM}/1000 + U_{ВЫХ-}/9100}{1/1000 + 1/3000 + 1/9100}.$$

$U_{CM} = 0 В, U_{ВЫХ+} = 7,8 В, U_{ВЫХ-} = -7,9 В, U_{CP} = 0,59 В, U_{OT} = -0,60 В.$   
 $U_{CM} = -10 В, U_{ВЫХ+} = 7,8 В, U_{ВЫХ-} = -7,9 В, U_{CP} = -6,33 В, U_{OT} = -7,53 В,$   
 $U_{CM} = -5 В, U_{ВЫХ+} = 7,8 В, U_{ВЫХ-} = -7,9 В, U_{CP} = -2,87 В, U_{OT} = -4,05 В.$   
 $U_{CM} = 5 В, U_{ВЫХ+} = 7,8 В, U_{ВЫХ-} = -7,9 В, U_{CP} = 4,05 В, U_{OT} = 2,86 В.$   
 $U_{CM} = 10 В, U_{ВЫХ+} = 7,8 В, U_{ВЫХ-} = -7,9 В, U_{CP} = 7,52 В, U_{OT} = 6,32 В.$



## 4.4 Исследование работы гистерезисного компаратора

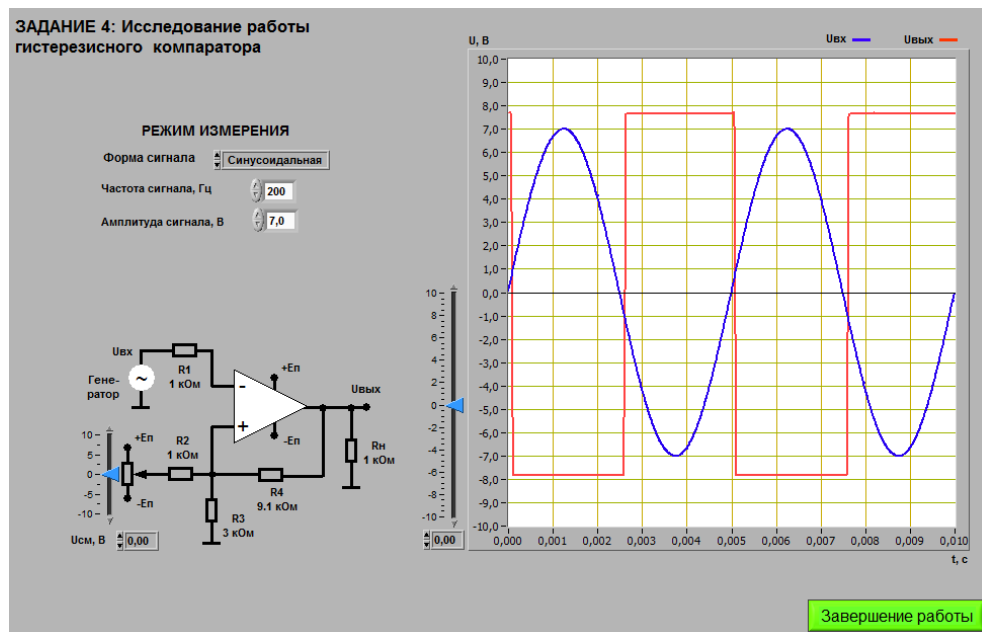


Рис. 4.4.1. Получение графика с синусоидальной формой сигнала и напряжением смещения 0 В

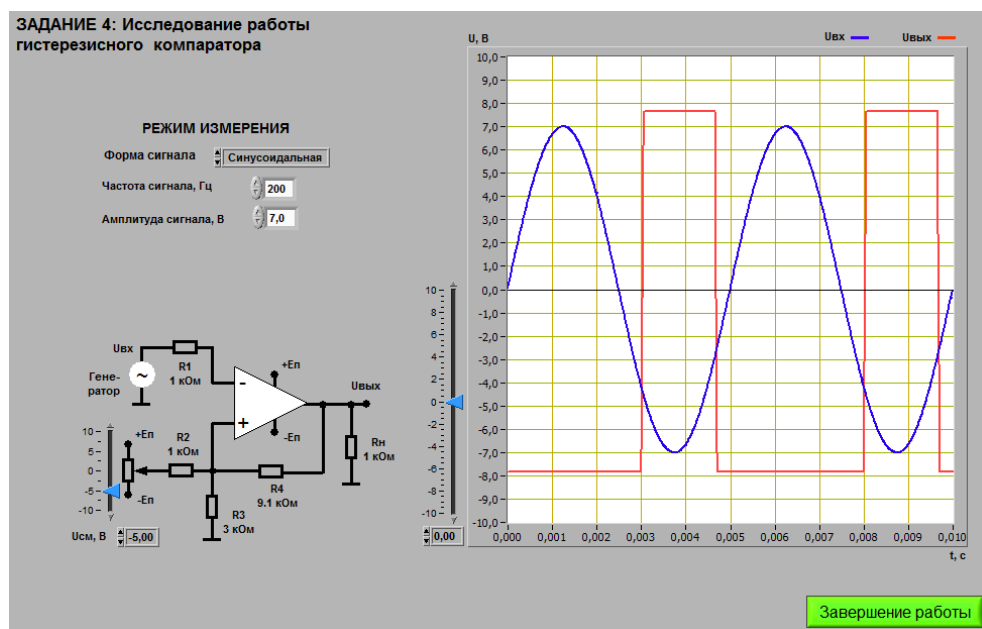


Рис. 4.4.2. Получение графика с синусоидальной формой сигнала и напряжением смещения -5,0 В

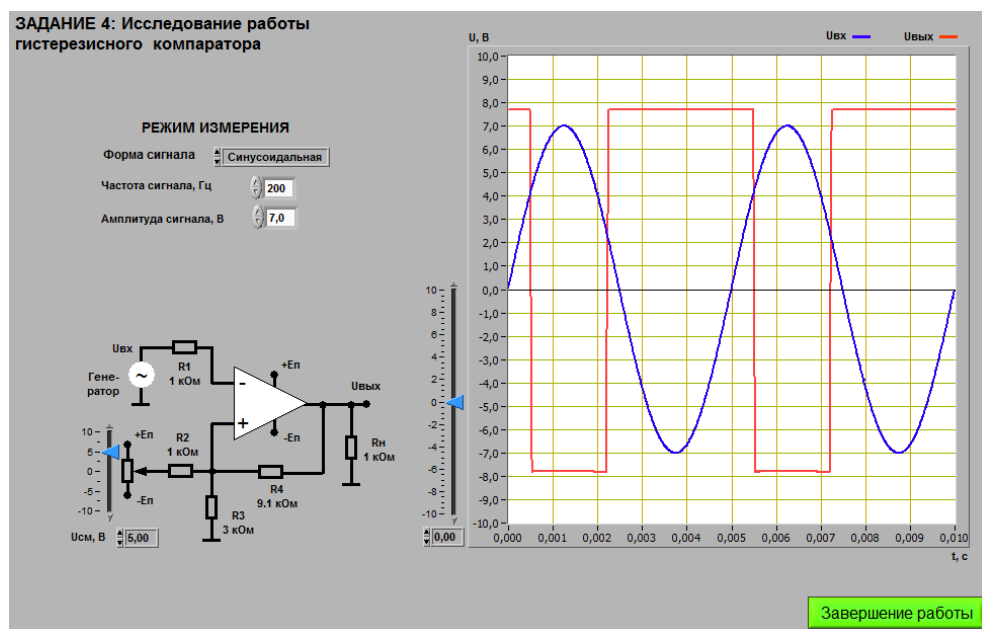


Рис. 4.4.3. Получение графика с синусоидальной формой сигнала и напряжением смещения 5,0 В

На основании рис. 4.4.1-4.4.3 были получены следующие значения:

$$U_{CM} = 0 \text{ В}, \quad U_{CP} = 0,8 \text{ В}, \quad U_{OT} = -1,0 \text{ В}.$$

$$U_{CM} = -5,0 \text{ В}, \quad U_{CP} = -2,3 \text{ В}, \quad U_{OT} = -4,1 \text{ В}.$$

$$U_{CM} = 5,0 \text{ В}, \quad U_{CP} = 4,1 \text{ В}, \quad U_{OT} = 2,3 \text{ В}.$$

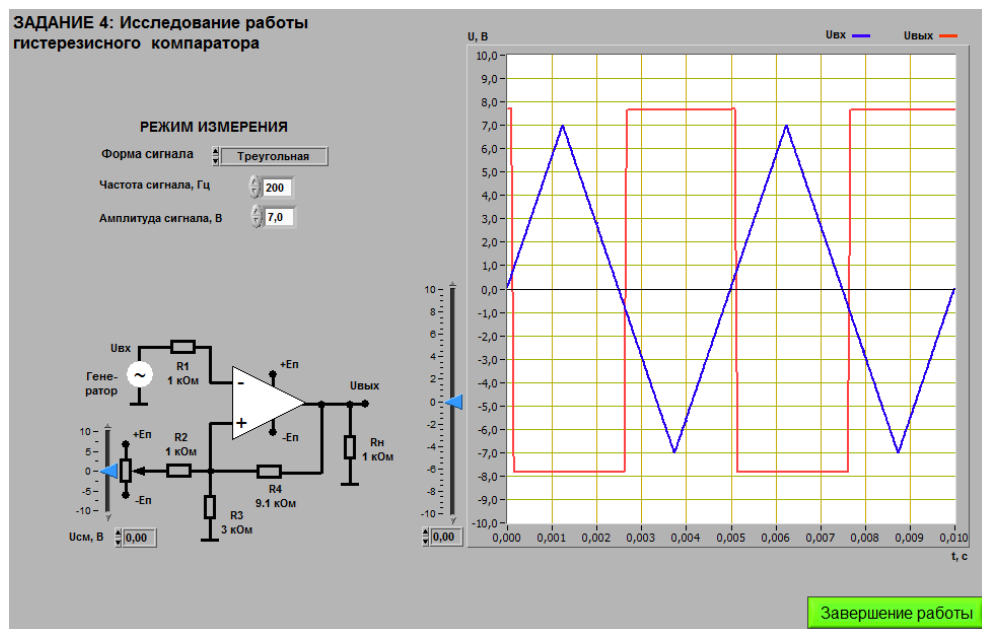


Рис. 4.4.4. Получение графика с треугольной формой сигнала и напряжением смещения 0 В

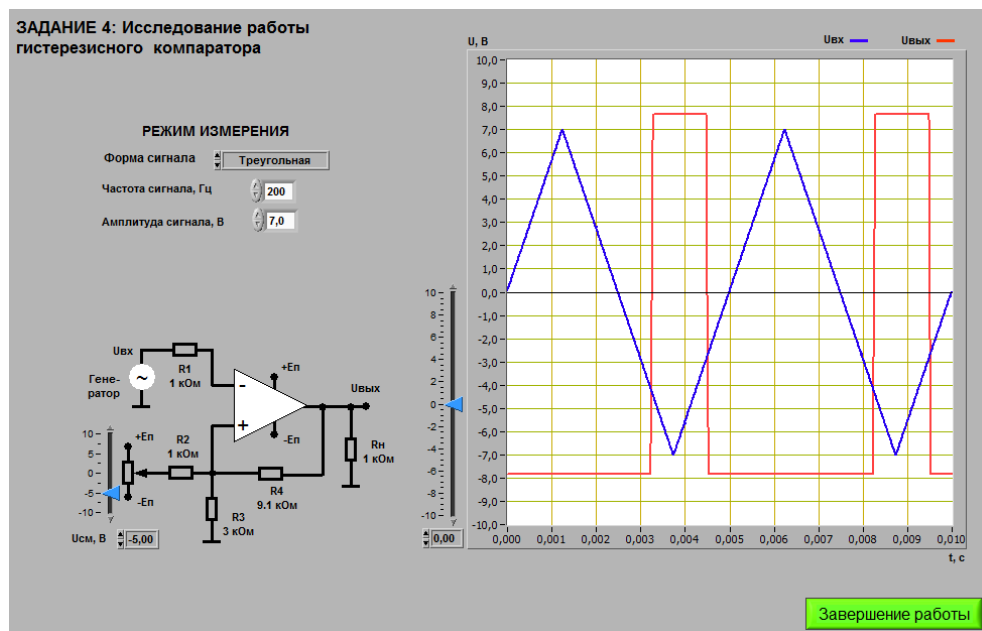


Рис. 4.4.5. Получение графика с треугольной формой сигнала и напряжением смещения -5,0 В

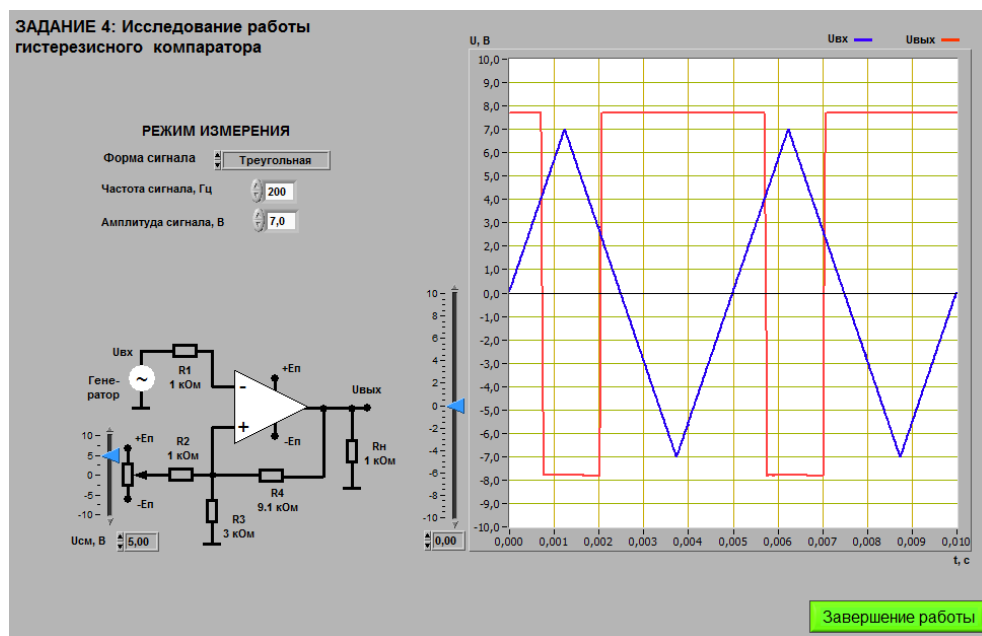


Рис. 4.4.6. Получение графика с треугольной формой сигнала и напряжением смещения 5,0 В

На основании рис. 4.4.4-4.4.6 были получены следующие значения:

$$U_{CM} = 0 \text{ В}, \quad U_{CP} = 0,8 \text{ В}, \quad U_{OT} = -1,0 \text{ В}.$$

$$U_{CM} = -5,0 \text{ В}, \quad U_{CP} = -2,3 \text{ В}, \quad U_{OT} = -4,1 \text{ В}.$$

$$U_{CM} = 5,0 \text{ В}, \quad U_{CP} = 4,1 \text{ В}, \quad U_{OT} = 2,3 \text{ В}.$$

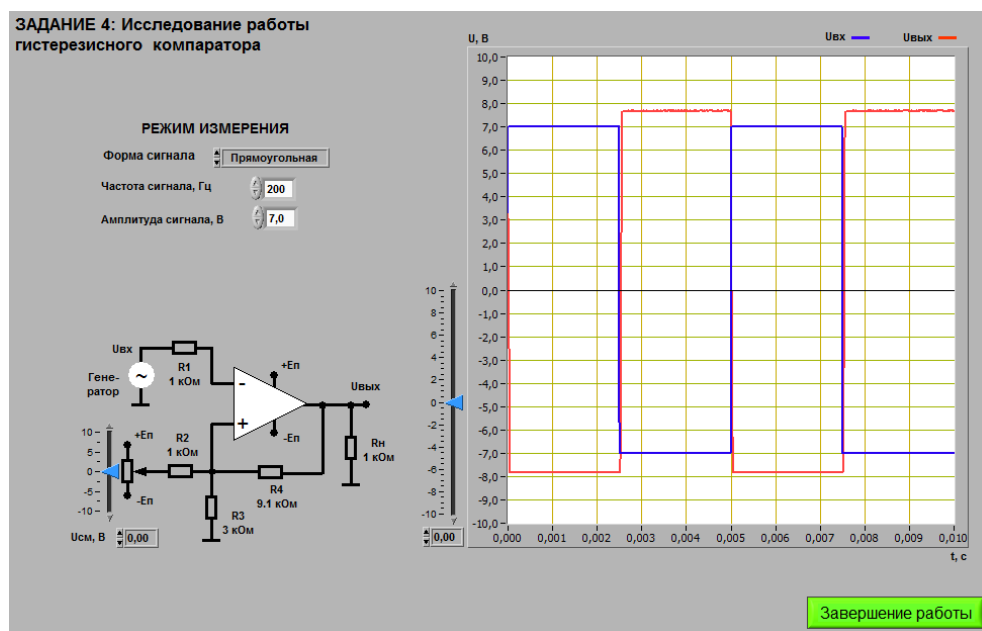


Рис. 4.4.7. Получение графика с прямоугольной формой сигнала и напряжением смещения 0 В

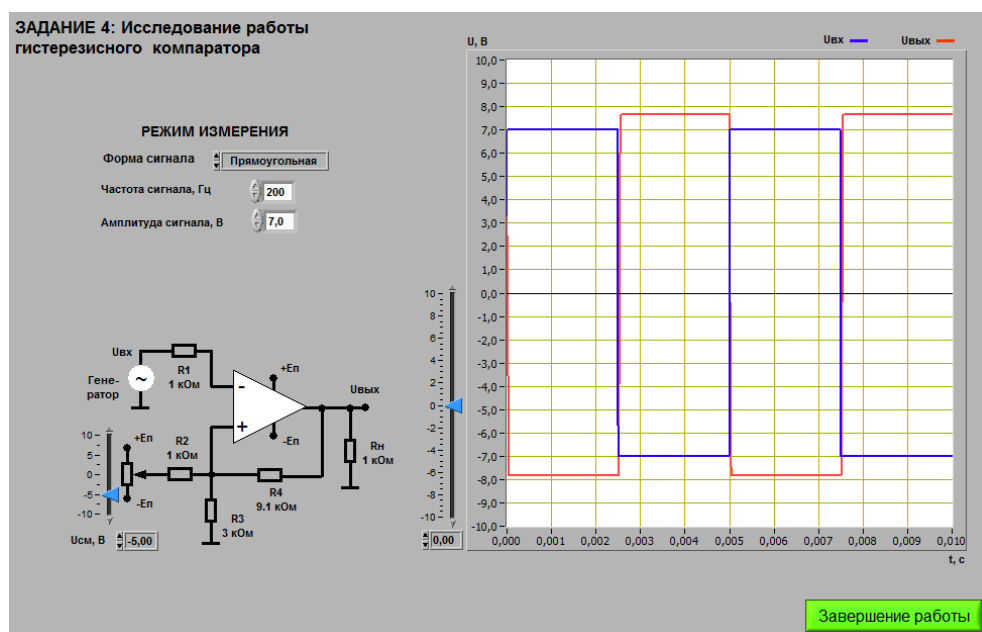


Рис. 4.4.8. Получение графика с прямоугольной формой сигнала и напряжением смещения -5,0 В

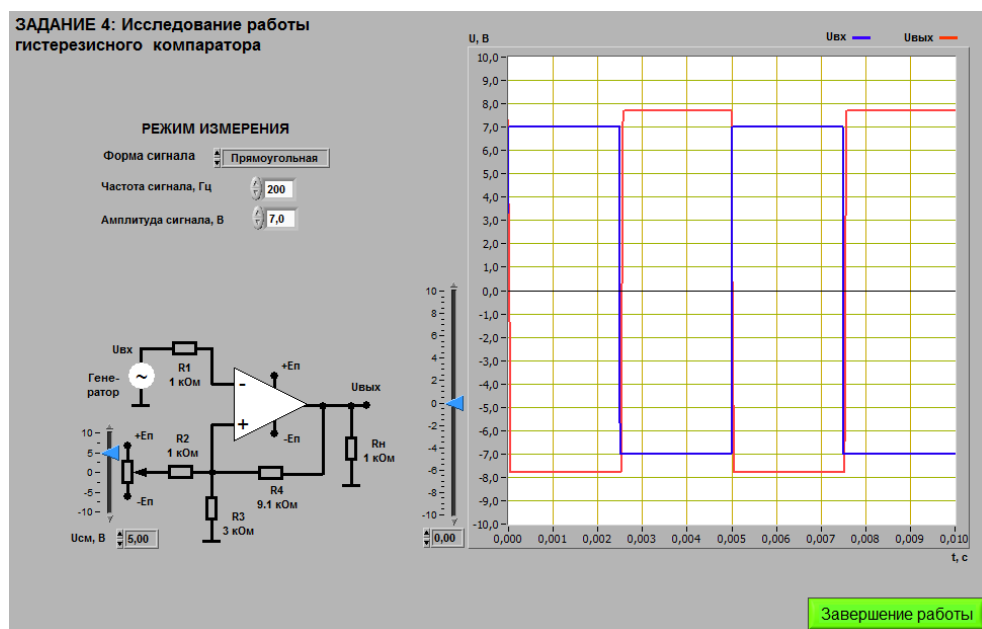


Рис. 4.4.9. Получение графика с прямоугольной формой сигнала и напряжением смещения 5,0 В

На основании рис. 4.4.7-4.4.9 были получены следующие значения:

$$U_{CM} = 0 \text{ В}, \quad U_{CP} = 0,8 \text{ В}, \quad U_{OT} = -1,0 \text{ В}.$$

$$U_{CM} = -5,0 \text{ В}, \quad U_{CP} = -2,3 \text{ В}, \quad U_{OT} = -4,1 \text{ В}.$$

$$U_{CM} = 5,0 \text{ В}, \quad U_{CP} = 4,1 \text{ В}, \quad U_{OT} = 2,3 \text{ В}.$$

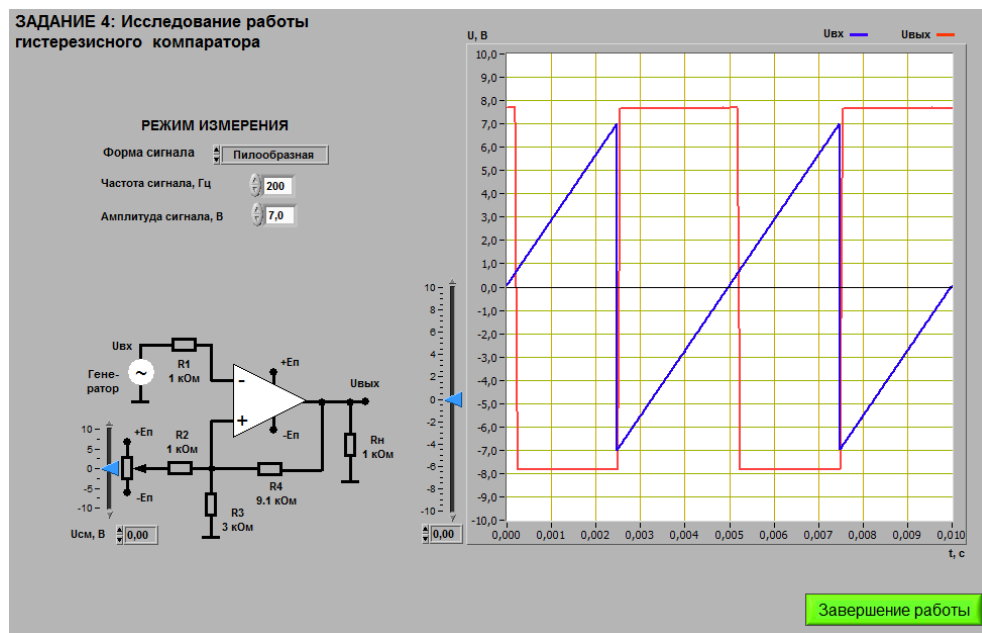


Рис. 4.4.10. Получение графика с пилообразной формой сигнала и напряжением смещения 0 В

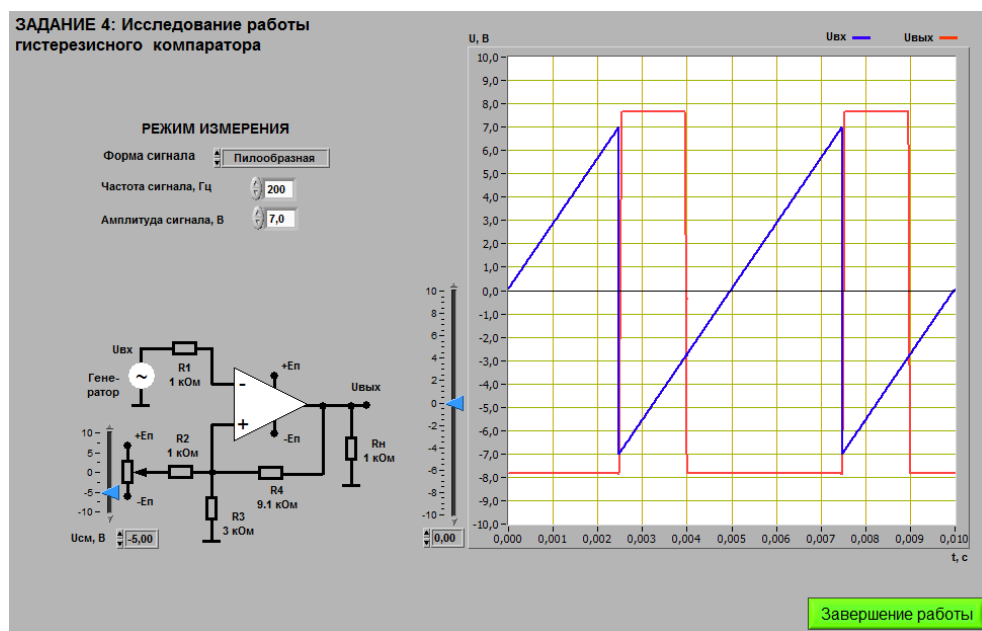


Рис. 4.4.11. Получение графика с пилообразной формой сигнала и напряжением смещения -5,0 В

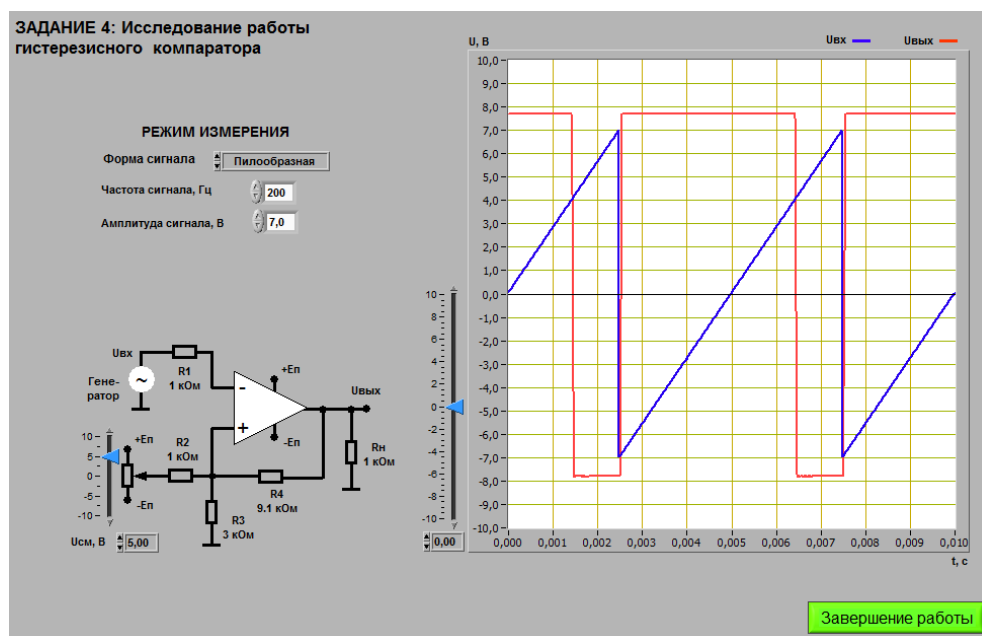


Рис. 4.4.12. Получение графика с пилообразной формой сигнала и напряжением смещения 5,0 В

На основании рис. 4.4.10-4.4.12 были получены следующие значения:

$U_{CM} = 0 \text{ В}, U_{CP} = 0,8 \text{ В}, U_{OT} = -1,0 \text{ В}.$

$U_{CM} = -5,0 \text{ В}, U_{CP} = -2,3 \text{ В}, U_{OT} = -4,1 \text{ В}.$

$U_{CM} = 5,0 \text{ В}, U_{CP} = 4,1 \text{ В}, U_{OT} = 2,3 \text{ В}$

## **5. ВЫВОДЫ**

В ходе выполнения лабораторной работы были получены характеристики аналогового компаратора напряжения. Исследована работа однопорогового компаратора. Исследована работы гистерезисного компаратора.