

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет компьютерных систем и сетей

Кафедра электронных вычислительных машин

Лабораторная работа №3  
«Исследование схем на основе операционного усилителя»

Выполнили

ст. группы 350503  
Губаревич А. В.  
Ганецкий В. В.

Проверил

Горченко А. С.

Минск 2025

## 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Для процесса выполнения данной лабораторной работы поставлены следующие цели:

- ознакомление с характеристиками операционного усилителя;
- ознакомление с принципами построения схем преобразования аналоговых сигналов на основе операционного усилителя;
- исследование инвертирующего и неинвертирующего усилителей на основе операционного усилителя;
- исследование схем интегрирования и дифференцирования аналоговых сигналов.

## 2 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

### 2.1 Получение передаточной характеристики инвертирующего усилителя

**2.1.1** С помощью элементов управления ВП установим диапазон изменения входного сигнала (рекомендуемые значения  $U_{\text{вх. min}} = -1,2 \text{ В}$ ,  $U_{\text{вх. max}} = 1,2 \text{ В}$ ) и пределы изменения выходного сигнала (рекомендуемые значения  $U_{\text{вых. min}} = -10 \text{ В}$ ,  $U_{\text{вых. max}} = 10 \text{ В}$ ). Нажмем кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП появится изображение передаточной характеристики инвертирующего усилителя (рисунок 2.1).

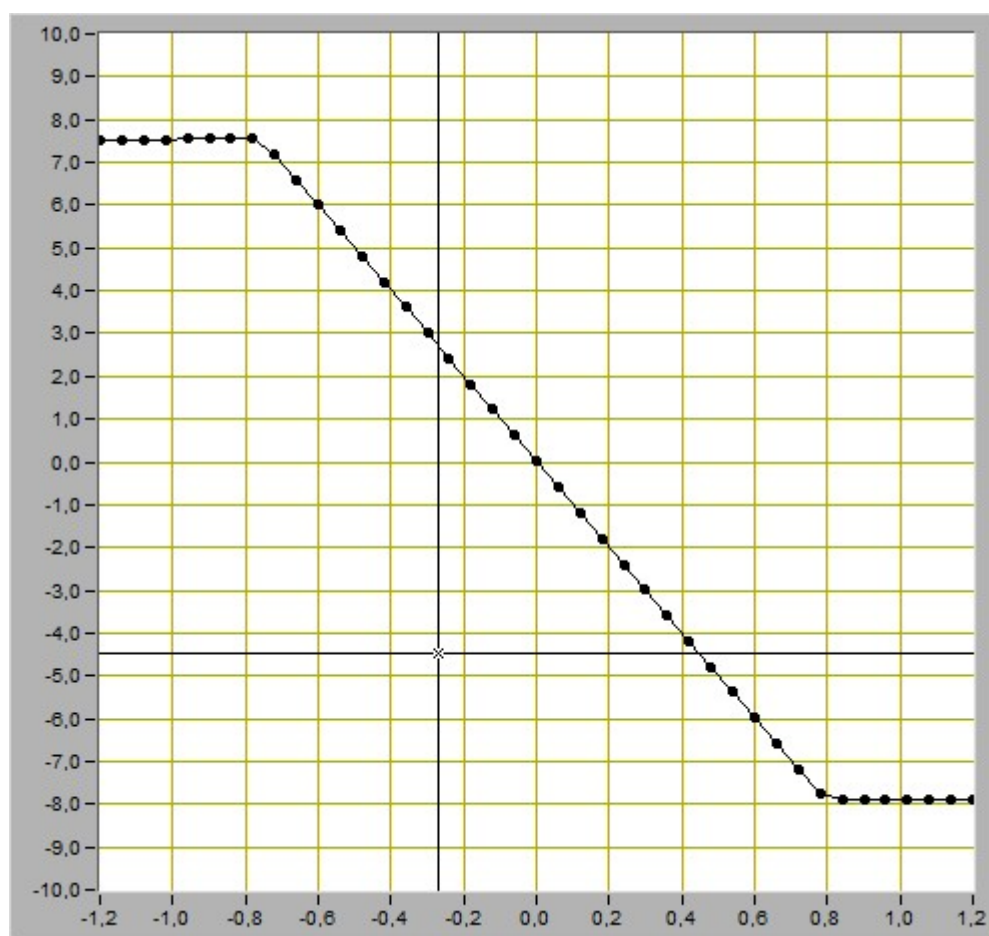


Рисунок 2.1 – График передаточной характеристики инвертирующего усилителя

**4.1.2** Определим по передаточной характеристике положительное  $U_{\text{огр}+} = 7,54 \text{ В}$  и отрицательное  $U_{\text{огр}-} = -7,91 \text{ В}$  напряжения ограничения сигнала на выходе схемы, используя для этого горизонтальную визирную линию, перемещаемую с помощью ползункового регулятора ВП.

**4.1.3** Определим коэффициент усиления инвертирующего усилителя. Для этого на передаточной характеристике определим координаты двух произвольных точек на наклонном участке характеристики. Возьмем первую

точку с координатами  $U_{\text{вых.1}} = 0 \text{ В}$  и  $U_{\text{вх.1}} = 0 \text{ В}$  и вторую точку с координатами  $U_{\text{вых.2}} = 6 \text{ В}$  и  $U_{\text{вх.2}} = -0,6 \text{ В}$ .

$$K_y = \frac{6 - 0}{-0,6 - 0} = -10$$

## 2.2 Исследование работы инвертирующего усилителя

**2.2.1** С помощью элементов управления ВП установим следующий режим измерения: форма сигнала – синусоидальная, частота сигнала – 200 Гц. Амплитуда входного сигнала выбирается такой величины, при которой выходной сигнал, наблюдаемый на графическом индикаторе ВП, не имеет искажений. Получим изображение выходного сигнала (рисунок 2.2).

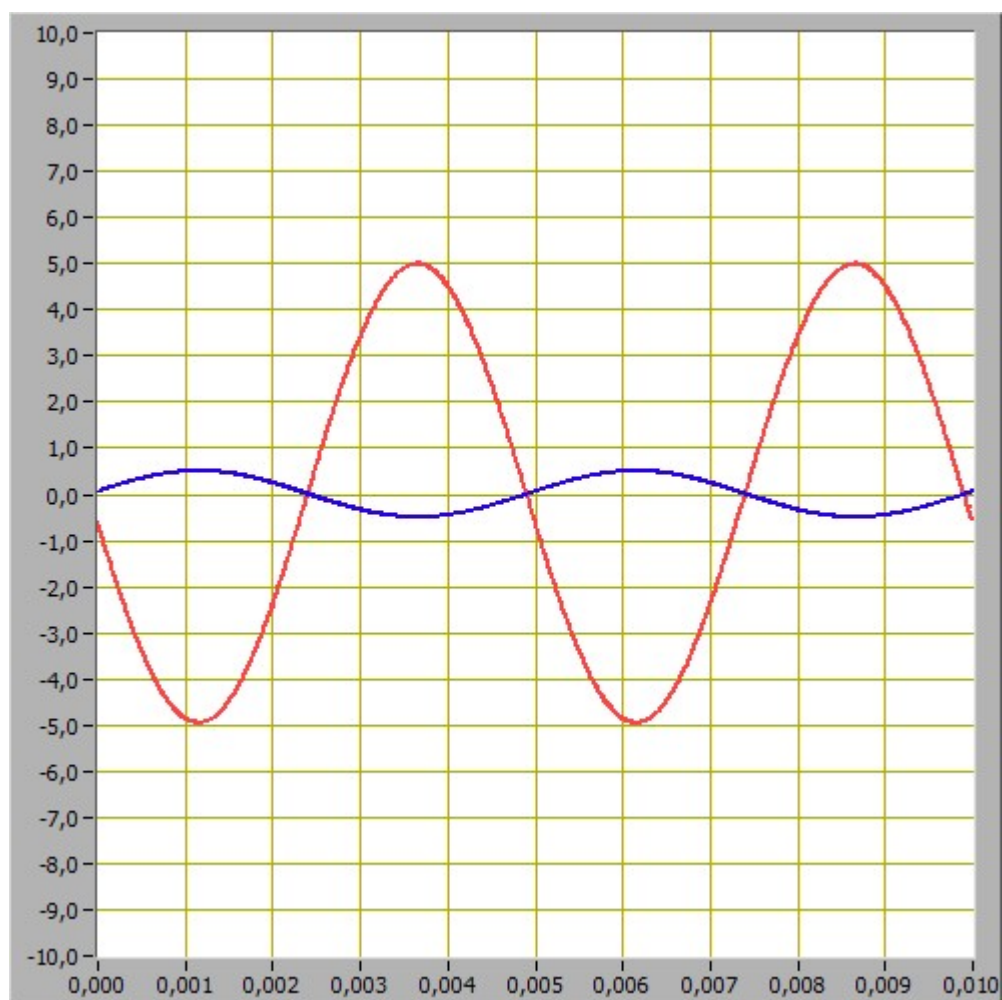


Рисунок 2.2 – Изображение входного и выходного сигналов

**2.2.2** Используя изображение входного и выходного сигналов, определим амплитуды входного  $U_{\text{вх.м}}$  и выходного  $U_{\text{вых.м}}$  сигналов. С помощью полученных данных вычислим коэффициент усиления инвертирующего усилителя по формуле  $K = U_{\text{вых.м}} / U_{\text{вх.м}}$ :

$$U_{\text{вх.т}} = \frac{0.5 + 0.5}{2} = 0.5 \text{ В}$$

$$U_{\text{вых.т}} = \frac{5 + 5}{2} = 5 \text{ В}$$

$$K_y = \frac{5}{0.5} = 10$$

**2.2.3** Рассчитаем теоретическое значение коэффициента усиления инвертирующего усилителя. Для расчетов воспользуемся соотношением  $K = R_{\text{OC}} / R_1$ .

$$K_y = \frac{100 \text{ кОм}}{10 \text{ кОм}} = 10$$

## **2.3 Получение передаточной характеристики неинвертирующего усилителя**

**2.3.1** С помощью элементов управления ВП установим диапазон изменения входного сигнала (рекомендуемые значения составляют примерно  $U_{\text{вх.мин}} = -1,2 \text{ В}$ ,  $U_{\text{вх.мак}} = 1,2 \text{ В}$ ) и пределы изменения выходного сигнала (рекомендуемые значения составляют примерно  $U_{\text{вых.мин}} = -10 \text{ В}$ ,  $U_{\text{вых.мак}} = 10 \text{ В}$ ). На графическом индикаторе ВП появится изображение передаточной характеристики неинвертирующего усилителя (рисунок 2.3).

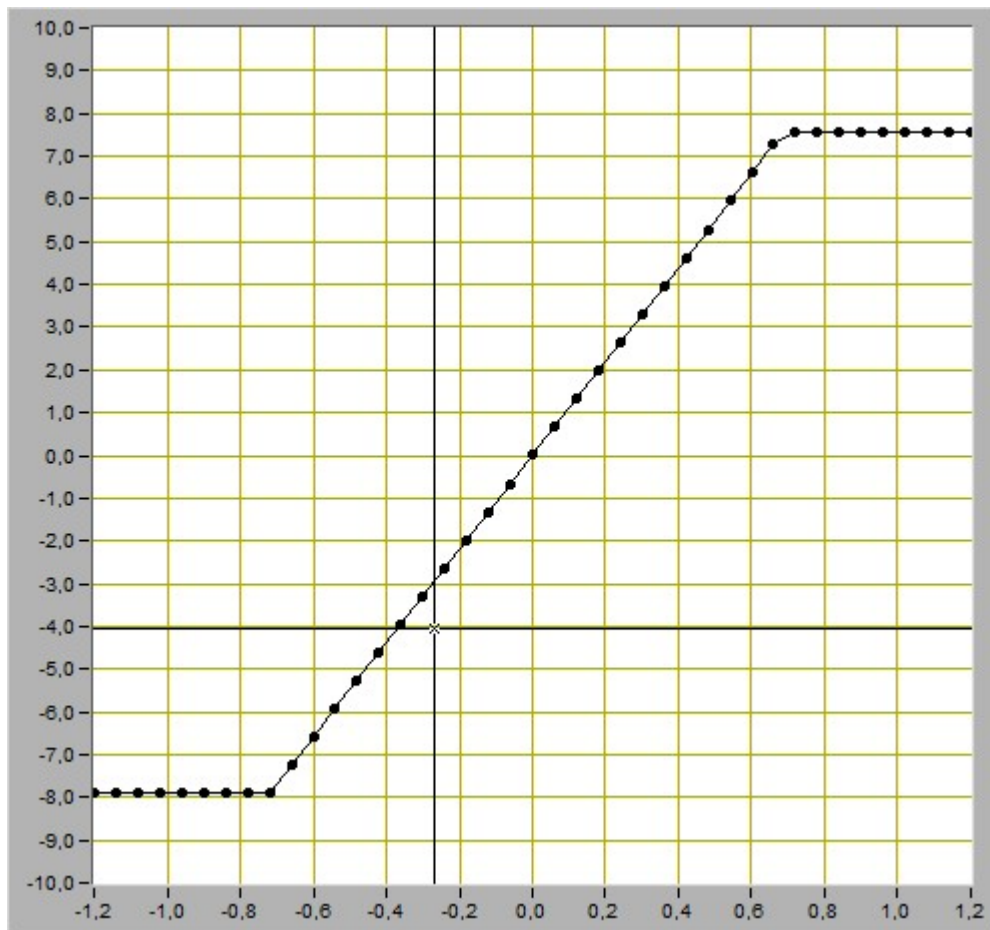


Рисунок 2.3 – Передаточная характеристика неинвертирующего усилителя

**2.3.2** Определим по передаточной характеристике положительное  $U_{огр+} = 7,68$  В и отрицательное  $U_{огр-} = -7,95$  В напряжения ограничения сигнала на выходе схемы.

Возьмем первую точку с координатами  $U_{вых.1} = 0$  В и  $U_{вх.1} = 0$  В и вторую точку с координатами  $U_{вых.2} = 2$  В и  $U_{вх.2} = 0,18$  В.

$$K_y = \frac{2 - 0}{0.18 - 0} = 11.1$$

## 2.4 Исследование работы неинвертирующего усилителя

**2.4.1** С помощью элементов управления ВП установим следующий режим измерения: форма сигнала – синусоидальная, частота сигнала – 200 Гц. Получим изображение выходного сигнала (рисунок 2.4).

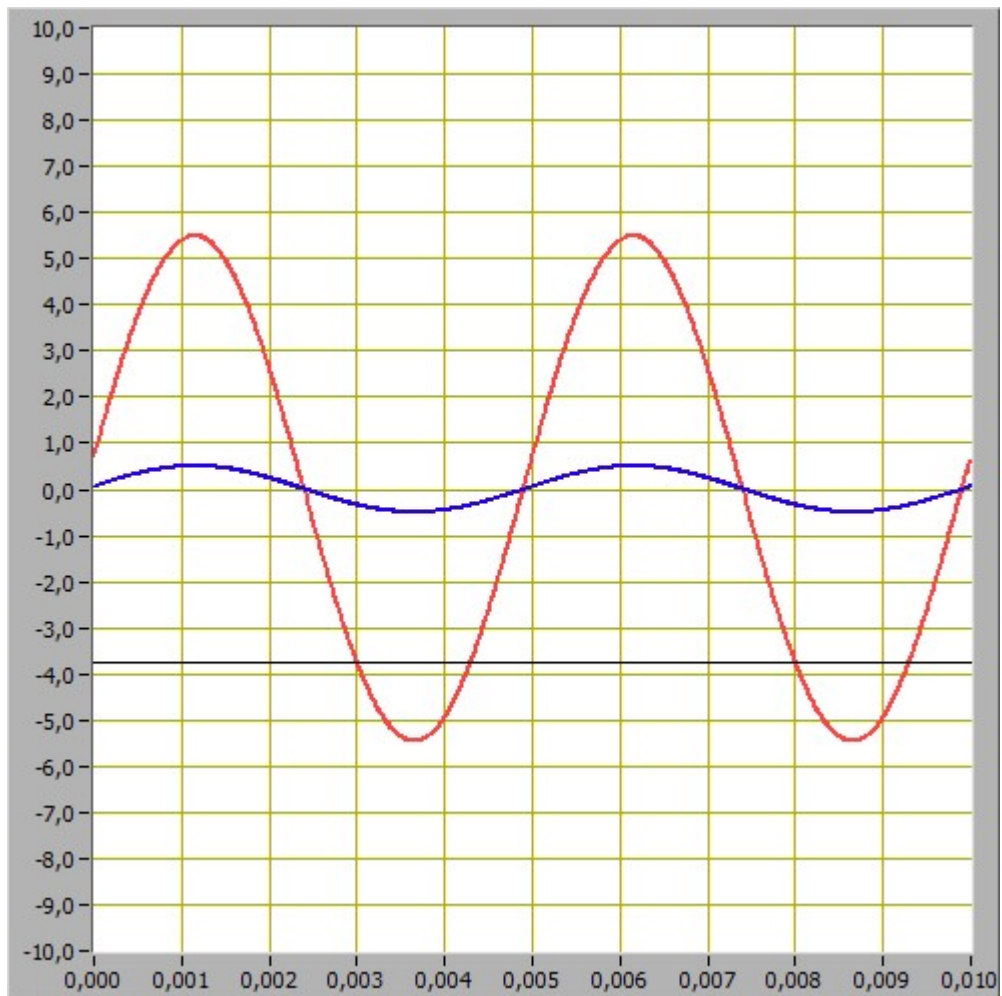


Рисунок 2.4 – Изображение входного и выходного сигналов

**2.4.2** Рассчитаем коэффициент усиления неинвертирующего усилителя. Для расчетов воспользуемся соотношением  $K = 1 + R_{OC} / R1$ .

$$K_y = 1 + \frac{100 \text{ кОм}}{10 \text{ кОм}} = 11$$

**2.4.3** По осциллограмме с помощью горизонтальной визирной линии ВП определим амплитуды входного  $U_{вх.м}$  и выходного  $U_{вых.м}$  сигналов. Вычислим коэффициент усиления неинвертирующего усилителя по формуле:  $K = U_{вых.м} / U_{вх.м}$ :

$$U_{вх.м} = \frac{0.5 + 0.5}{2} = 0.5 \text{ В}$$

$$U_{вых.м} = \frac{5.5 + 5.5}{2} = 5.5 \text{ В}$$

$$K_y = \frac{5.5}{0.5} = 11$$

## 2.5 Исследование работы интегратора напряжения

**2.5.1** С помощью элементов управления ВП установим следующий режим измерения: форма сигнала – прямоугольная, частота сигнала – 200 Гц.

На графическом индикаторе ВП появится выходной сигнал, имеющий форму, близкую к треугольной (рисунок 2.5).

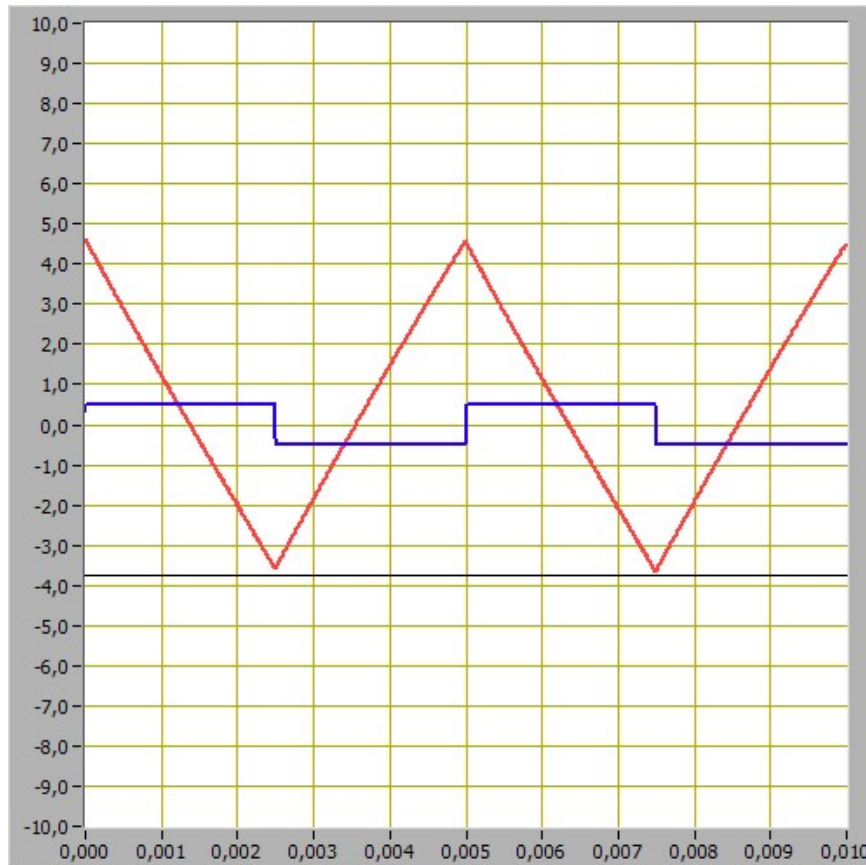


Рисунок 2.5 – Изображение входного и выходного сигналов

**2.5.2** Используя изображение выходного сигнала, полученное на графическом индикаторе ВП, определим и запишем скорость его изменения:

$$\frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta t} = - \frac{2 * (u_{\text{max}} - u_{\text{min}})}{T} = - \frac{2 * (4.48 + 3.67)}{0,005} = - 3228$$

Рассчитаем и запишем скорость изменения выходного сигнала по значениям параметров компонентов схемы, используя формулу идеального интегратора:



$$\frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta t} = - \frac{U_{\text{ВХ}}}{R_1 * C} = - \frac{0,5}{15\text{нФ} * 10\text{кОм}} = 3333$$

**2.5.3** Получим осциллограммы выходного сигнала интегратора для синусоидальной, треугольной и пилообразной форм входного напряжения (рисунки 2.6 - 2.8).

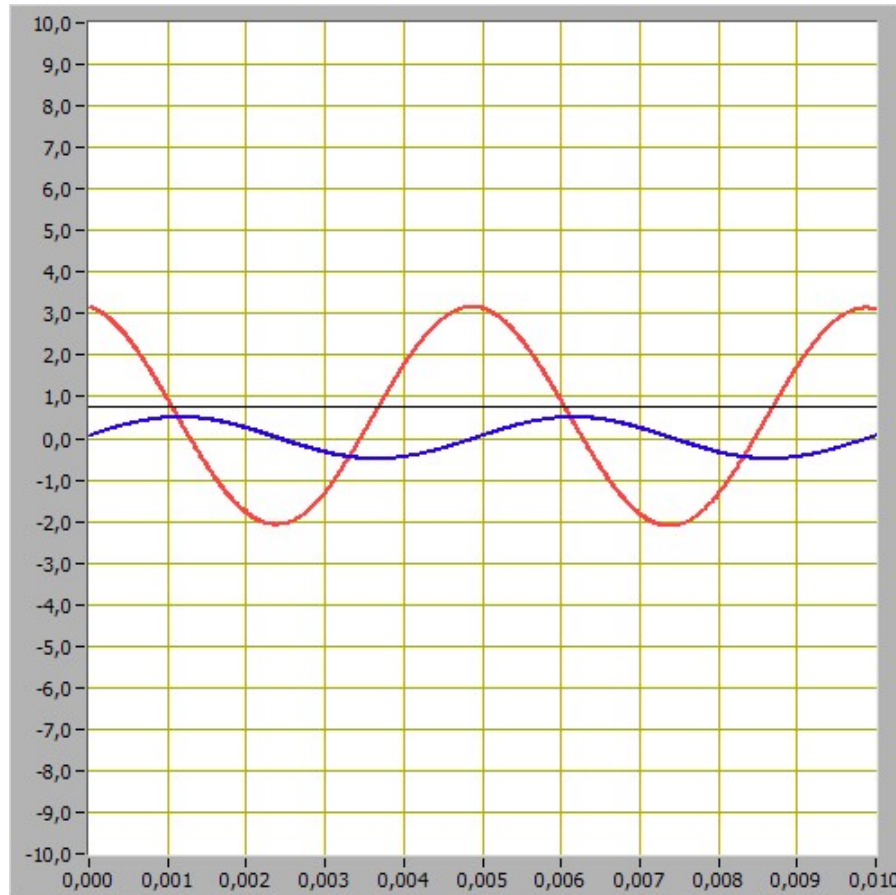


Рисунок 2.6 – Изображение входного и выходного сигналов синусоидальной формы входного напряжения

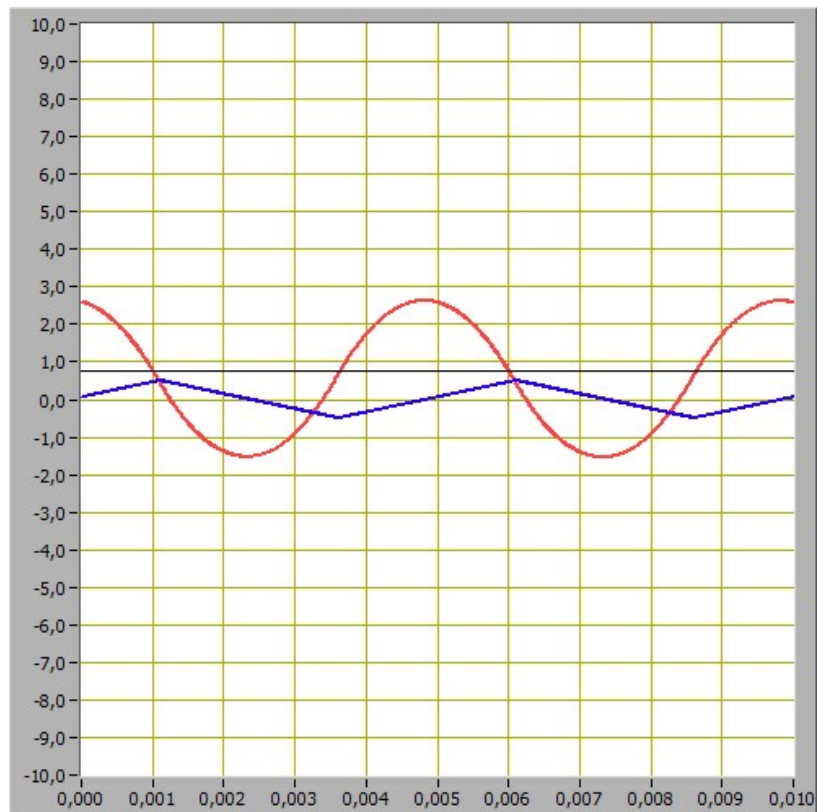


Рисунок 2.7 – Изображение входного и выходного сигналов треугольной формы входного напряжения

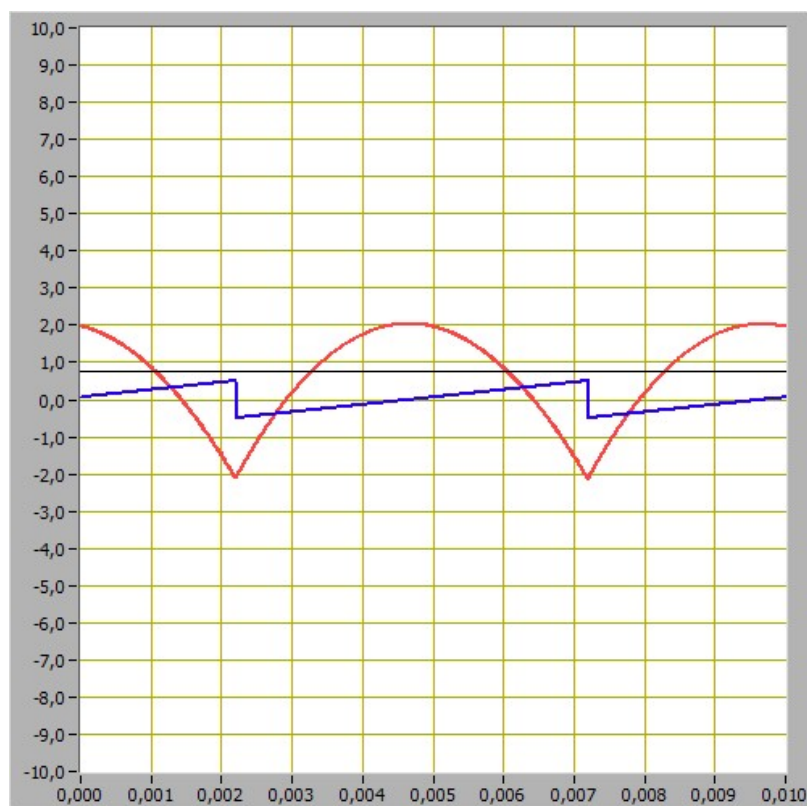


Рисунок 2.8– Изображение входного и выходного сигналов пилообразной формы входного напряжения

## 2.6 Исследование работы дифференциатора напряжения

**2.6.1** С помощью элементов управления ВП установим следующий режим измерения: форма сигнала – треугольная, частота сигнала – 200 Гц.

На графическом индикаторе ВП появится выходной сигнал, имеющий форму, близкую к прямоугольной (рисунок 2.9).

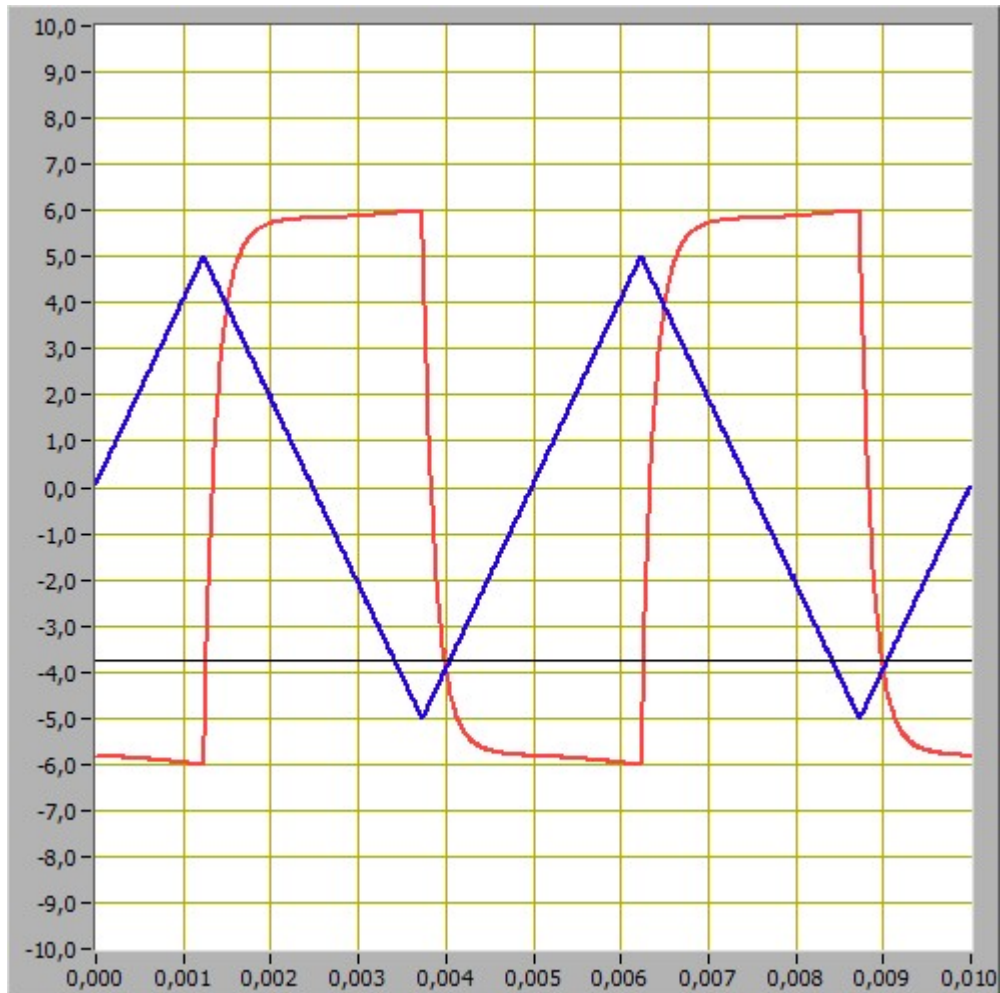


Рисунок 2.9 – Изображение входного и выходного сигналов

**2.6.2** Используя изображение выходного сигнала, полученное на графическом индикаторе ВП, определим его амплитуду  $U_{\text{вых.м}} = 6 \text{ В}$ .

**2.6.3** Определим скорость изменения входного сигнала треугольной формы, используя для расчетов отношение удвоенной амплитуды входного сигнала к полупериоду изменения выходного напряжения:

$$\frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta t} = \frac{4 * U_m}{T} = \frac{4 * 5}{0,005} = 4000$$

**2.6.4** По заданным параметрам схемы и найденному в п. 2.6.3 значению скорости изменения входного сигнала, рассчитаем амплитуду выходного напряжения по формуле идеального дифференциатора:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -R_{oc} * C * \frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{\Delta t} = -10 * 15\text{нФ} * 4000 = -6 \text{ В}$$

**2.6.5** Сравнив значение амплитуды выходного напряжения, полученной на основе результатов измерений, и расчетным путём можно сделать вывод, что дифференциатор близок к идеальному.

**2.6.6** Получим осциллограммы выходного сигнала дифференциатора для синусоидальной, прямоугольной и пилообразной форм входного напряжения (рисунки 2.10 - 2.12).

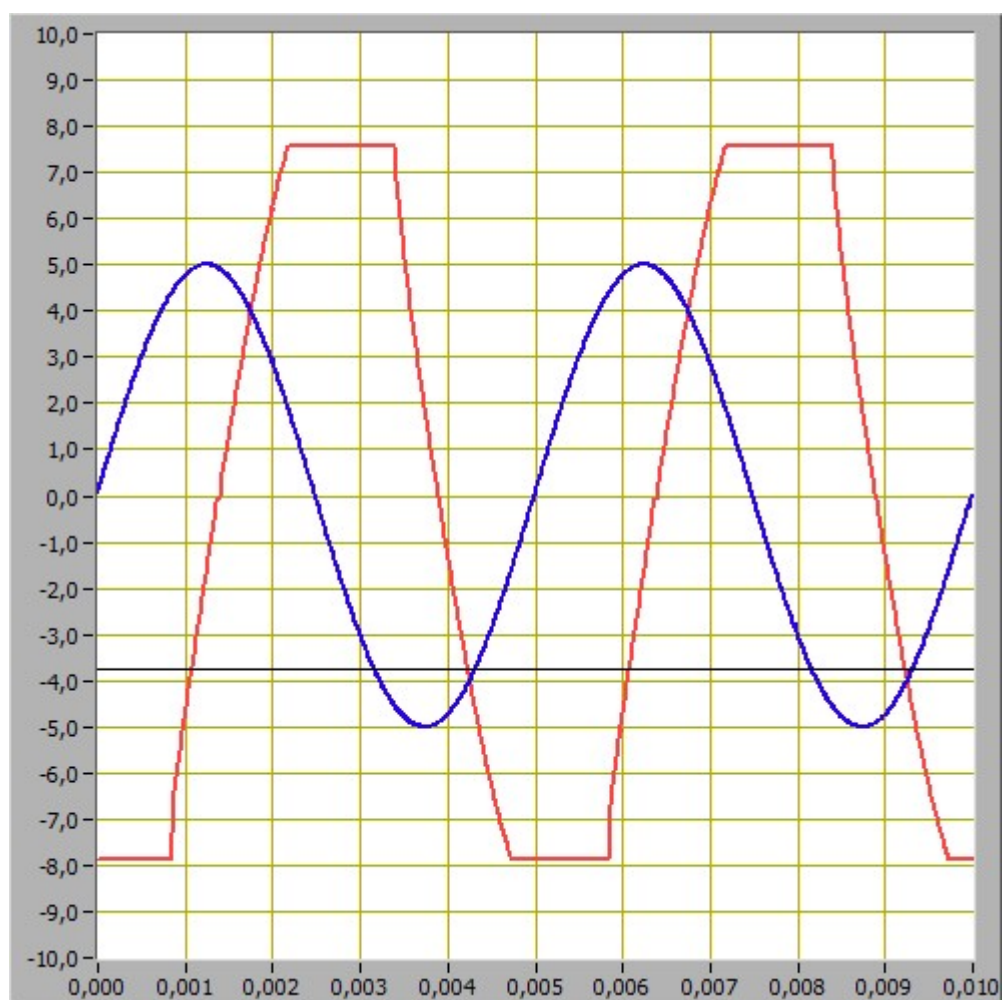


Рисунок 2.10 – Изображение входного и выходного сигналов синусоидальной формы входного напряжения

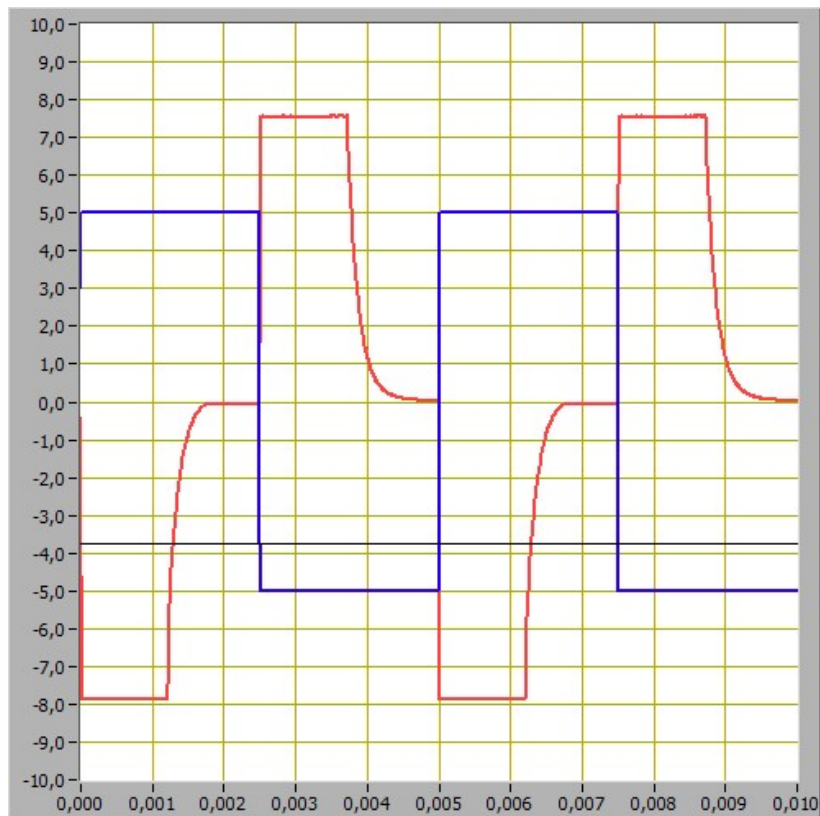


Рисунок 2.11 – Изображение входного и выходного сигналов прямоугольной формы входного напряжения

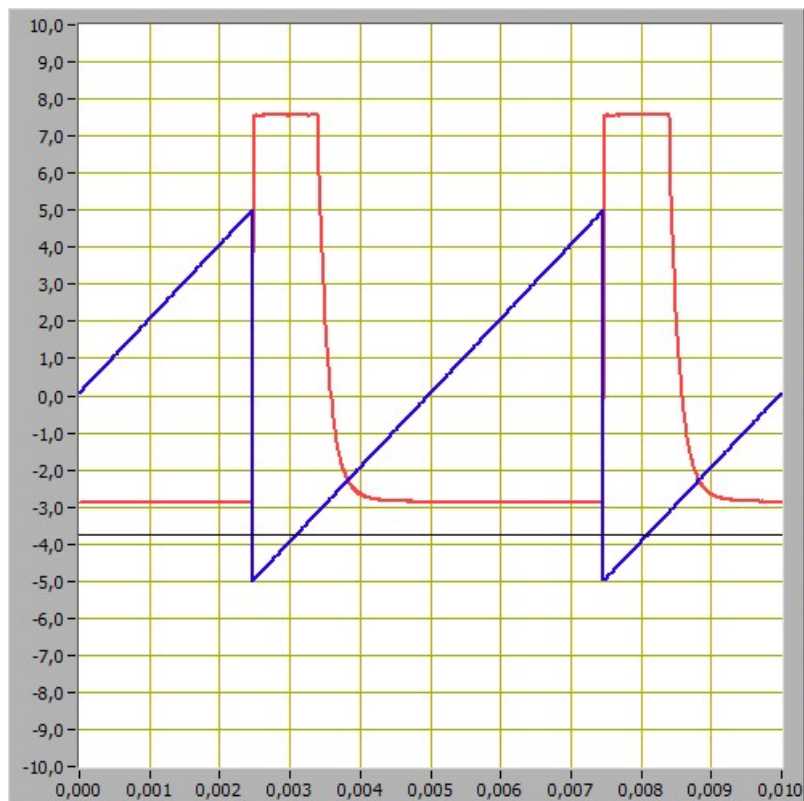


Рисунок 2.12 – Изображение входного и выходного сигналов пилообразной формы входного напряжения

### 3 ВЫВОД

В данной лабораторной работе были изучены принципы работы операционного усилителя и его характеристики, были рассмотрены схемы на основе операционного усилителя с различными свойствами, получены передаточные характеристики инвертирующего и неинвертирующего усилителей. В схеме инвертирующего усилителя происходит инверсия выходного сигнала, инвертирующий же оставляют выходную фазу без изменений. На примере схем интегратора и дифференциатора были изучены возможности усилителей изменять формы выходных сигналов.

В схеме инвертирующего усилителя происходит инверсия усиленного сигнала, что может быть менее удобно для последующей работы, однако данная схема имеет лучшие характеристики по сравнению со схемой неинвертирующего усилителя.

Исследование интегратора и дифференциатора показало, что они обладают характеристиками, близким к идеальным. При подаче синусоидального сигнала в обоих случаях наблюдался фазовый сдвиг на  $90^\circ$ . Форма выходного сигнала для других видов сигналов соответствовала математическим операциям интегрирования и дифференцирования.