

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет компьютерных систем и сетей

Кафедра электронных вычислительных машин

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

Студенты гр. 250502

Бригадир А. С.
Ерофеев В. С.

Преподаватель

Горченко А. С.

МИНСК 2024

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цели работы:

1. Ознакомление с характеристиками операционного усилителя.
2. Ознакомление с принципами построения схем преобразования аналоговых сигналов на основе операционного усилителя.
3. Исследование инвертирующего и не инвертирующего усилителей на основе операционного усилителя.
4. Исследование схем интегрирования и дифференцирования аналоговых сигналов.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

Лабораторная работа выполняется на лабораторном модуле Lab4A и макетной плате лабораторной станции NI ELVIS.

В ходе выполнения работы будут выполнены следующие задачи:

1. Получить передаточную характеристику инвертирующего усилителя.
2. Исследовать работу инвертирующего усилителя.
3. Получить передаточную характеристику неинвертирующего усилителя.
4. Исследовать работу неинвертирующего усилителя.
5. Исследовать работу интегратора напряжения.
6. Исследовать работу дифференциатора напряжения.

3 ТЕОРИТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

3.1 Определение операционного усилителя

Операционный усилитель (ОУ) – полупроводниковый прибор, предназначенный для усиления напряжения и обеспечивающий выполнение различных операций по преобразованию аналоговых электрических сигналов: усиление, сложение, вычитание, интегрирование, дифференцирование и т.д. Возможность выполнения этих операций ОУ определяется наличием цепей положительной и/или отрицательной обратной связи, в состав которых могут входить сопротивления, емкости, индуктивности, диоды, стабилитроны, транзисторы и некоторые другие электронные элементы.

Типовой ОУ представляет собой дифференциальный усилитель с очень высоким коэффициентом усиления. На рис. 3.1. показано условное обозначение ОУ на принципиальных схемах.

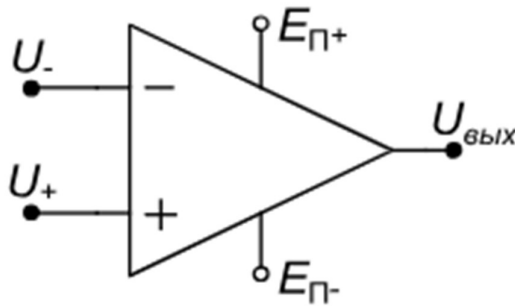


Рисунок 3.1 – Условное обозначение ОУ.

Поскольку ОУ используются как преобразователи сигналов к их характеристикам предъявляются определенные требования. В основном эти требования сводятся к тому, чтобы характеристики, наилучшим образом соответствовали характеристикам идеального ОУ. Идеальный операционный усилитель обладает следующими свойствами:

- коэффициент передачи ОУ без обратной связи равен бесконечности;
- напряжение смещения и ток смещения нуля на выходе ОУ равны нулю;
- входное сопротивление ОУ равно бесконечности;
- выходное сопротивление ОУ равно нулю.

Выходное напряжение ОУ определяется выражением:

$$U_{\text{вых}} = -A (U_- - U_+) = -A(\Delta U), \quad (3.1)$$

где A – коэффициент передачи усилителя, не охваченного обратной связью; U_- – напряжение на инвертирующем входе; U_+ – напряжение на не инвертирующем входе.

Знак минус перед коэффициентом передачи A показывает, что выходное напряжение отрицательно. Коэффициент передачи A можно определить как отношение величины выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ к разности значений входных напряжений ΔU . Коэффициент передачи реального ОУ на постоянном токе колеблется в пределах от 10000 до 2000000.

Большинство ОУ имеют биполярный выход. Это означает, что выходной сигнал может иметь как положительную, так и отрицательную полярность. Поэтому для нормальной работы ОУ требуются два источника питания.

Выходное напряжение никогда не может превысить напряжение питания ($U_{\text{п-}} < U_{\text{вых}} < U_{\text{п+}}$). Как правило, максимальное выходное напряжение

ОУ на доли вольта меньше напряжения питания. Это ограничение известно как напряжение ограничения (положительное $U_{огр+}$ и отрицательное $U_{огр-}$).

3.2 Схемы с ОУ, охваченные обратной связью

При высоком значении коэффициента передачи достаточно трудно управлять усилителем и удерживать его от насыщения. С помощью определенных внешних цепей часть выходного сигнала можно направить обратно на вход, т.е. организовать обратную связь. Применяя отрицательную обратную связь, когда сигнал с выхода усилителя приходит на вход в противофазе с входным сигналом, можно сделать усилитель более стабильным. Эта конфигурация называется усилителем, охваченным обратной связью (или, что тоже, с замкнутой цепью обратной связи). Применение цепи обратной связи приводит к снижению коэффициента передачи по сравнению с усилителем, не охваченным обратной связью (A), однако схема становится стабильной. Обычно схемы включения ОУ с замкнутой цепью обратной связи имеют коэффициент передачи от 10 до 1000, т.е. меньше, чем коэффициент передачи ОУ, не охваченного обратной связью, более чем в тысячу раз. Если обратная связь положительна, усилитель переходит в режим генерирования колебаний, т.е. становится автогенератором.

3.3 Инвертирующий усилитель

Схема включения ОУ, показанная на рис. 3.2, применяется на практике чаще всего. Цепь обратной связи в этом случае представляет собой единственный резистор $R_{ос}$, который служит для передачи части выходного сигнала обратно на вход. Тот факт, что резистор соединен с инвертирующим входом, указывает на отрицательный характер обратной связи. Входное напряжение U_i вызывает протекание входного тока i_i через резистор R_i .

Входное напряжение ОУ ΔU имеет дифференциальный характер, т.к. фактически это разность напряжений на неинвертирующем (+) и инвертирующем (-) входах усилителя. Положительный вход ОУ чаще всего заземляют.

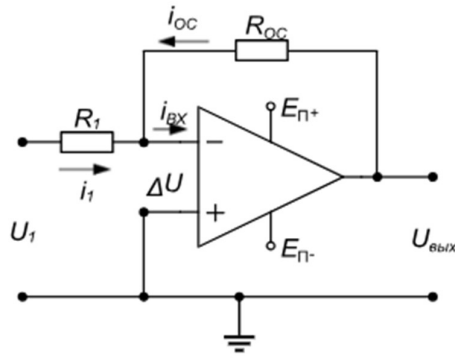


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема инвертирующего усилителя на ОУ

Применяя правила Кирхгофа, для схемы рис. 3.2 можно составить следующие уравнения:

$$U_1 = i_1 R_1 + \Delta U, \quad (3.2)$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = -i_{\text{OC}} R_{\text{OC}} + \Delta U, \quad (3.3)$$

$$i_1 = -i_{\text{OC}} + i_{\text{ВХ}}, \quad (3.4)$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = -A \Delta U \quad (3.5)$$

Решая эти уравнения совместно, можно получить следующее выражение:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \left(i_{\text{ВХ}} - \frac{U_1}{R_1} \right) \cdot Z, \quad (3.6)$$

где Z – полное сопротивление цепи обратной связи:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_{\text{OC}}} + \frac{1}{A * R_1} + \frac{1}{A * R_{\text{OC}}}, \quad (3.7)$$

Сопротивления входного резистора и резистора цепи обратной связи обычно большие (десятки кОм), а коэффициент передачи ОУ очень высокий ($A > 100000$), таким образом, полное сопротивление цепи обратной связи с высокой точностью можно считать равным $Z = R_{\text{OC}}$. Кроме того, величина ΔU обычно очень мала (несколько мкВ) и если значение входного сопротивления ОУ $Z_{\text{ВХ}}$ высокое (обычно около 10 Мом), то тогда входной ток ($i_{\text{ВХ}} = \Delta U / Z_{\text{ВХ}}$) чрезвычайно мал и им можно пренебречь. С учетом сказанного выходное напряжение будет равно:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -\frac{R_{\text{OC}}}{R_1} * U_1 = -K \cdot U_1, \quad (3.8)$$

где K – коэффициент передачи усилителя, охваченного обратной связью; $K = R_{oc} / R_i$.

Знак минус в выражении (3.7) означает, что выходной сигнал имеет полярность противоположную входному сигналу, т.е. инвертирован относительно него, поэтому такой усилитель называют инвертирующим усилителем. Следует обратить внимание, что коэффициент передачи ОУ, охваченного обратной связью, можно регулировать посредством выбора сопротивлений двух резисторов, R_i и R_{oc} .

3.4 Неинвертирующий усилитель

Неинвертирующий усилитель можно получить путем заземления входного сопротивления R_i в схеме инвертирующего усилителя. При этом входной сигнал должен подаваться на неинвертирующий вход (рис 3.3).

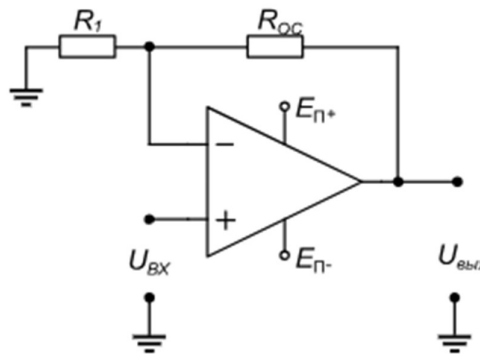


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема неинвертирующего усилителя на ОУ

Напряжение обратной связи снимается с делителя напряжения, который образован резистором обратной связи R_{oc} и резистором входного контура R_1 . Это напряжение $U_{(-)}$ равно:

$$U = \frac{R_1}{R_1 + R_{oc}} * U_{\text{ВЫХ}} , \quad (3.9)$$

Для идеального ОУ входное дифференциальное напряжение ΔU равно нулю, следовательно $U_{\text{ВХ}} = U$ и выражение (3.8) можно представить в виде:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \left(1 + \frac{R_{oc}}{R_1} \right) * U_{\text{ВХ}} , \quad (3.10)$$

Этим уравнением определяется назначение усилителя – усиливать, не изменяя знака входного сигнала. Коэффициент усиления с контуром

обратной связи равен $K = (1 + R_{oc} / R_1)$. Можно показать, что входной импеданс такой схемы Z_{BX} очень большой и выражается формулой:

$$Z_{BX} = \left(Z_{BX}^* R_1 \frac{R_1}{R_1 + R_{oc}} \right) * A, \quad (3.11)$$

где Z_{BX}^* – входной импеданс реального ОУ (порядка 10Мом).

Также легко показать, что выходной импеданс схемы $Z_{ВЫХ}$ стремится к нулю, если коэффициент усиления ОУ с разорванной петлей ОС становится очень большим. Таким образом, операционный усилитель, используемый в неинвертирующей схеме, может являться буфером между схемами на входе и выходе.

Особым является случай, когда $R_{oc} = 0$, а резистор R_1 во входной цепи отсутствует (рис. 3.4). При этом $U_{ВЫХ} = U_{ВХ}$, $Z_{BX} = Z^* \cdot A$, $Z_{ВЫХ} = Z^*_{ВЫХ} / A$, где $Z^*_{ВЫХ}$ – выходной импеданс реального ОУ. Такая схема называется повторителем напряжения, т.к. коэффициент усиления по напряжению для нее равен 1. Эта схема используется для преобразования импеданса и может иметь большой коэффициент усиления по мощности.

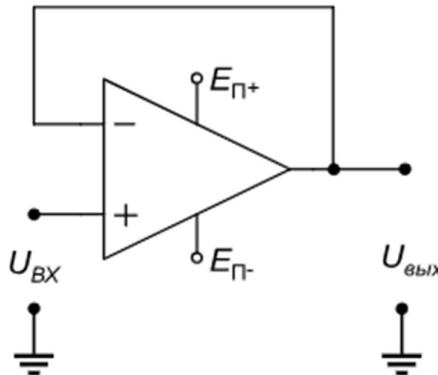


Рисунок 3.4 – Принципиальная схема повторителя напряжения на ОУ

3.4 Дифференциальный усилитель

Дифференциальная схема на основе ОУ (рис 3.5) обеспечивает усиление сигналов на каждом из дифференциальных входов в R_{oc} / R_1 раз. В результате выходное напряжение оказывается равным разности напряжений между двумя входными сигналами, умноженной на коэффициент передачи:

$$U_{ВЫХ} = \frac{R_{oc}}{R_1} (U_2 - U_1), \quad (3.12)$$

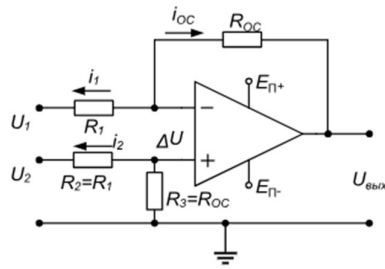


Рисунок 3.5 – Принципиальная схема дифференциального усилителя на ОУ

Выведем уравнение (3.12). Используя предположение об идеальности ОУ, можно записать следующее выражение для напряжения на неинвертирующем входе:

$$U_+ = \frac{R_{OC}}{R_1 + R_{OC}} * U_2, \quad (3.13)$$

Из уравнения входного контура 1 имеем:

$$i_1 = \frac{U_1 - U_+}{R_1}, \quad (3.14)$$

Для выходного контура:

$$i_{OC} = - \frac{U_{ВЫХ} - U_+}{R_{OC}}, \quad (3.15)$$

Уравнение для суммирующей точки:

$$i_1 = i_{OC}, \quad (3.16)$$

Подставляя выражения (3.14) и (3.15) в уравнение (3.16) и исключая U_+ , после преобразования получим уравнение (3.12).

3.5 Суммирующая схема

Суммирующая схема на основе ОУ это модификация инвертирующей схемы для двух или более входных сигналов. Каждое входное напряжение U_i подается на инвертирующий вход через соответствующий резистор R_i (рис. 3.6).

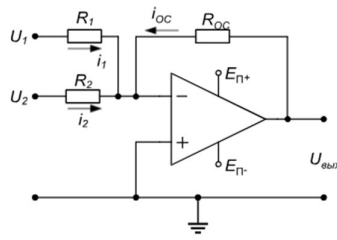


Рисунок 3.6 – Принципиальная схема сумматора на основе ОУ

В соответствии со вторым законом Кирхгофа сумма всех токов, текущих через узел, равна нулю, поэтому в точке $U_{(-)}$ уравнение токов для узла имеет вид:

$$i_1 + i_2 + i_{oc} = 0 \quad (3.17)$$

Для идеального ОУ входной ток и ток смещения равны нулю. Запишем выражение для токов:

$$i_1 = \frac{U_1}{R_1}, \quad (3.18)$$

$$i_2 = \frac{U_2}{R_2}, \quad (3.19)$$

$$i_{oc} = -\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_{oc}}, \quad (3.20)$$

Подставляя полученные выражения в (3.17) получим:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -R_{oc} * \frac{U_1}{R_1} - R_{oc} * \frac{U_2}{R_2}, \quad (3.21)$$

Если $R_1 = R_2 = R$, то уравнение для схемы сумматора имеет вид:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -\frac{R_{oc}}{R(U_1 + U_2)}, \quad (3.22)$$

3.6 Интегрирующая схема

Схема интегратора на основе ОУ получается путем замены в интегрирующей схеме резистора обратной связи на конденсатор (рис. 3.7).

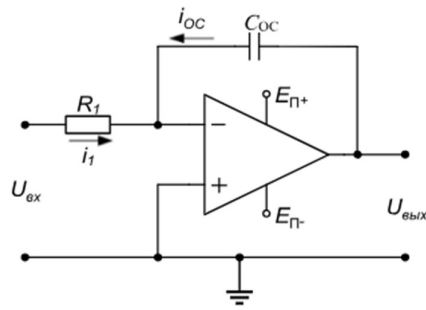


Рисунок 3.7 – Принципиальная схема интегратора на основе ОУ

Известно, что заряд на конденсаторе Q и ток через него i_c определяются выражениями:

$$Q = C * U, \quad (3.23)$$

$$i_c = \frac{dQ}{dt}, \quad (3.24)$$

С учетом этих соотношений для схемы, изображенной на рис.6.7, получим:

$$i_{oc} = C_{oc} \frac{dU_{вых}}{dt}, \quad (3.25)$$

Для идеального ОУ $i_{oc} = U_{вх}/R_1$ и $i_1 = i_{oc}$, отсюда:

$$\frac{U_{вх}}{R_1} = - C_{oc} \frac{dU_{вых}}{dt}, \quad (3.26)$$

или в интегральной форме:

$$U_{вых} = - \frac{1}{R_1 * C_{oc}} \int_0^{T_{и}} U_{вх} dt, \quad (3.27)$$

где $T_{и}$ – время интегрирования.

Таким образом, значение напряжения на выходе интегратора пропорционально интегралу от входного напряжения, а масштабный коэффициент равен $1/R_1 C_{oc}$ и имеет размерность сек⁻¹.

Если входное напряжение постоянно, то выражение (3.27) принимает вид:

$$U_{вых} = - \frac{U_{вх}}{R_1 * C_{oc}} * t, \quad (3.28)$$

Уравнение (3.28) описывает линию с наклоном $-(U_{\text{вх}}/RC)$. При $U_{\text{вх}} = -1$ В, $C = 1$ мкФ, $R = 1$ МОм наклон равен 1 В/сек. Выходное напряжение будет нарастать линейно с указанной скоростью до тех пор, пока ОУ не перейдет в режим насыщения.

3.7 Дифференцирующая схема

Дифференцирующая схема на основе ОУ напоминает интегратор, у которого изменены места подключения резистора и конденсатора (рис.3.8). Для идеального ОУ легко получить передаточную функцию дифференцирующего устройства.

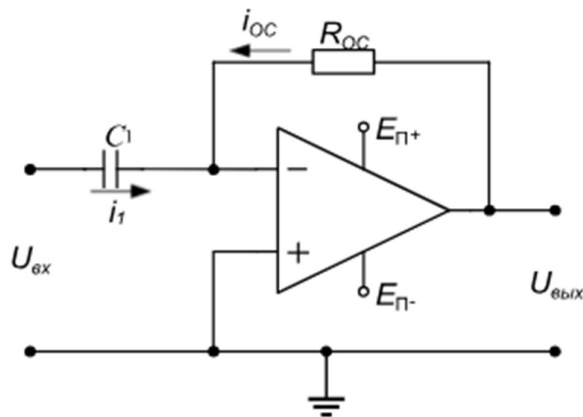


Рисунок 3.8 – Принципиальная схема дифференцирующего устройства на основе ОУ

Если на вход схемы подано напряжение $U_{\text{вх}}$, оно практически полностью приложено к конденсатору, т.к. схема ОУ устроена таким образом, что потенциалы прямого и инвертирующего входов дифференциального усилителя совпадают. В результате через конденсатор протекает ток, равный:

$$i_1 = C_1 \frac{dU_{\text{вх}}}{dt} \quad (3.29)$$

Так как входное сопротивление ОУ достаточно велико и входной ток ОУ можно считать равным нулю, весь ток конденсатора протекает через резистор $R_{\text{ос}}$:

$$i_{\text{ос}} = -i_1 = -C_1 \frac{dU_{\text{вх}}}{dt} \quad (3.30)$$

Выходной сигнал определяется падением напряжения на сопротивлении обратной связи R_{oc} :

$$U_{\text{ВЫХ}} = i_{oc} * R_{oc} = -R_{oc} * C_1 \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt} \quad (3.31)$$

Таким образом, выходное напряжение пропорционально скорости изменения входного сигнала.

4 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

4.1 Получение передаточной характеристики инвертирующего усилителя

Для исследования характеристик инвертирующего усилителя используется схема, изображенная на рисунке 4.1.

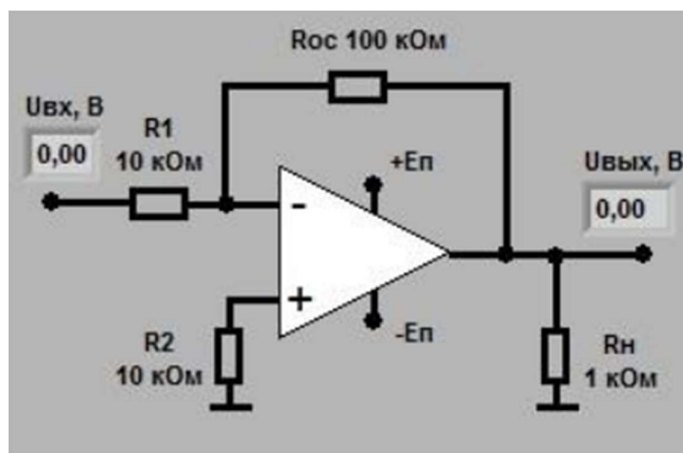


Рисунок 4.1 – Схема инвертирующего усилителя

С помощью элементов управления установлен диапазон входного сигнала ($U_{\text{вх.min}} = -1.2\text{В}$, $U_{\text{вх.max}} = 1.2\text{В}$) и пределы изменения выходного сигнала ($U_{\text{вых.min}} = -10\text{В}$, $U_{\text{вых.max}} = 10\text{В}$).

Полученная передаточная характеристика изображена на рис. 4.2.

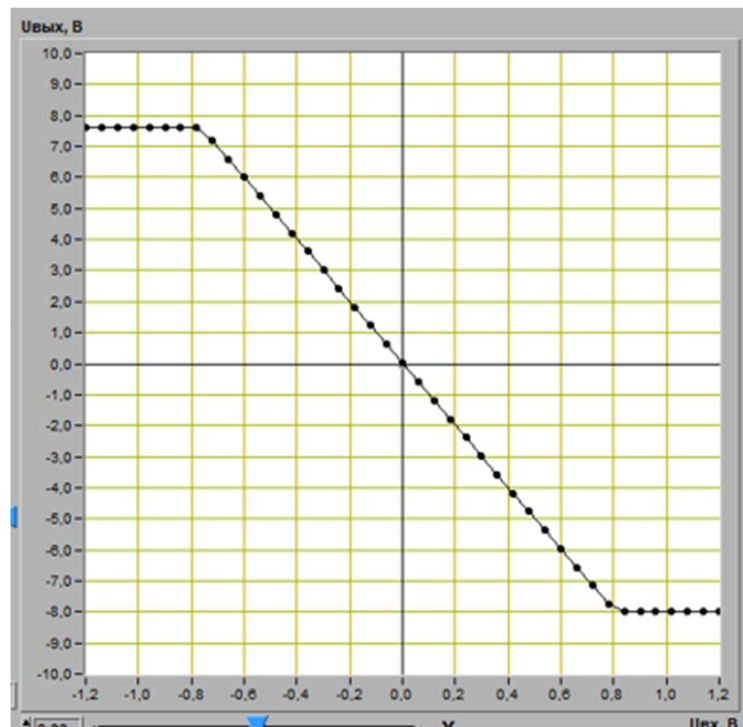


Рисунок 4.2 – Передаточная характеристика инвертирующего усилителя

На основе рис. 4.2 были определены положительное и отрицательное напряжения ограничения на выходе схемы:

$$U_{огр+} = 7.58 \text{ В}$$

$$U_{огр-} = -7.97 \text{ В}$$

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя:

$$K_{ус} = -\frac{U_{вых.2} - U_{вых.1}}{U_{вх.2} - U_{вх.1}} = \frac{-4 - 6}{0.4 - (-0.6)} = -10$$

4.2 Исследование работы инвертирующего усилителя

Для исследования характеристик инвертирующего усилителя используется схема, изображенная на рисунке 4.1.

С помощью элементов управления был установлен следующий режим измерения: форма сигнала – синусоидальная, частота сигнала – 200 Гц. Амплитуда входного сигнала выбрана такой величины, при которой выходной сигнал, наблюдаемый на графическом индикаторе ВП, не имеет искажений и удобен для наблюдения и измерений. Полученный выходной сигнал изображён на рис. 4.3.

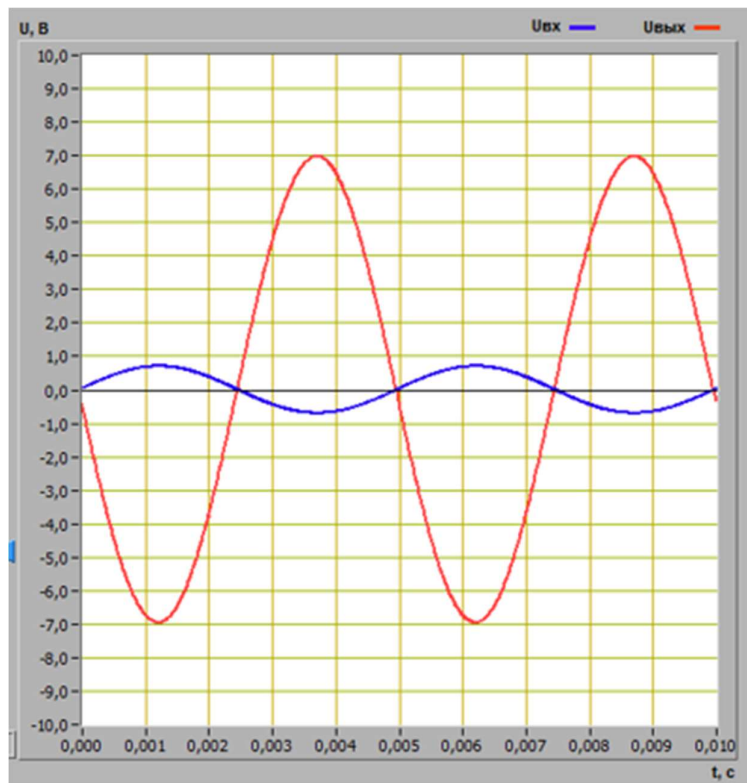


Рисунок 4.3 – Входной и выходной сигналы инвертирующего усилителя

На основе рис. 4.3 определены амплитуды входного и выходного сигналов:

$$U_{вх.м.} = \frac{0.71 - (-0.71)}{2} = 0.71\text{В}$$

$$U_{вых.м.} = \frac{6.92 - (-6.94)}{2} = 6.93\text{В}$$

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя:

$$K_{ус} = \frac{U_{вых.м.}}{U_{вх.м.}} = \frac{6.93}{0.71} = 9.76$$

Как мы видим, на рисунке 4.3 входной и выходной сигналы находятся в противофазе (точки экстремума обеих синусоид расположены друг под другом, но находятся по разные стороны оси X).

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя:

$$K_{ус} = \frac{R_{ос}}{R_1} = \frac{100}{10} = 10$$

Полученное по передаточной характеристике значение коэффициента усиления отличается от теоретически рассчитанного на 0%. Коэффициент усиления, найденный по формуле $K = U_{вых.м.}/U_{вх.м.}$, отличается от рассчитанного

теоретически на 2.4%. Так как разница достаточно мала, то можно сделать вывод, что расчёты были проведены корректно.

4.3 Получение передаточной характеристики неинвертирующего усилителя

Для исследования характеристик неинвертирующего усилителя используется схема, изображенная на рис. 4.4.

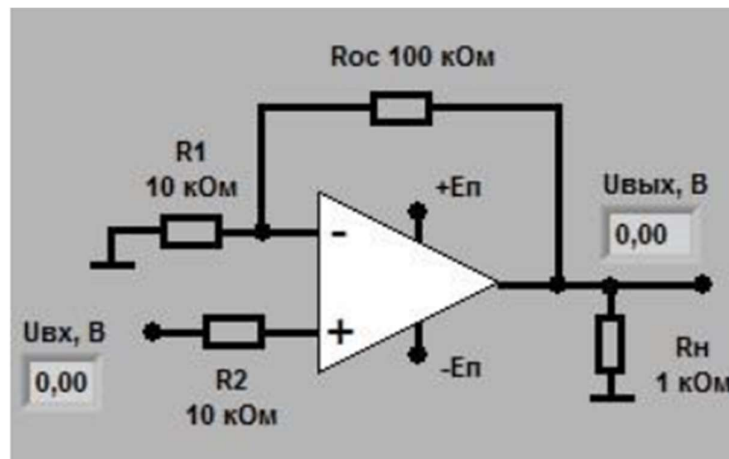


Рисунок 4.4 – Схема неинвертирующего усилителя

С помощью элементов управления установлен диапазон входного сигнала ($U_{вх.min} = -1.2B$, $U_{вх.max} = 1.2B$) и пределы изменения выходного сигнала ($U_{вых.min} = -10B$, $U_{вых.max} = 10B$).

Полученная передаточная характеристика изображена на рис. 4.5.

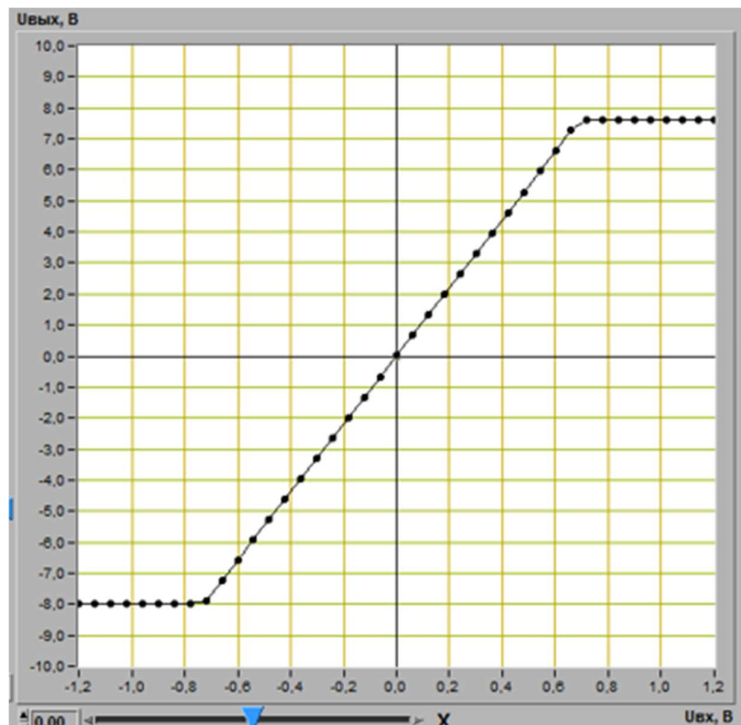


Рисунок 4.5 – Передаточная характеристика неинвертирующего усилителя

На основе рис. 4.5 были определены положительное и отрицательное напряжения ограничения на выходе схемы:

$$U_{огр+} = 7.66V$$

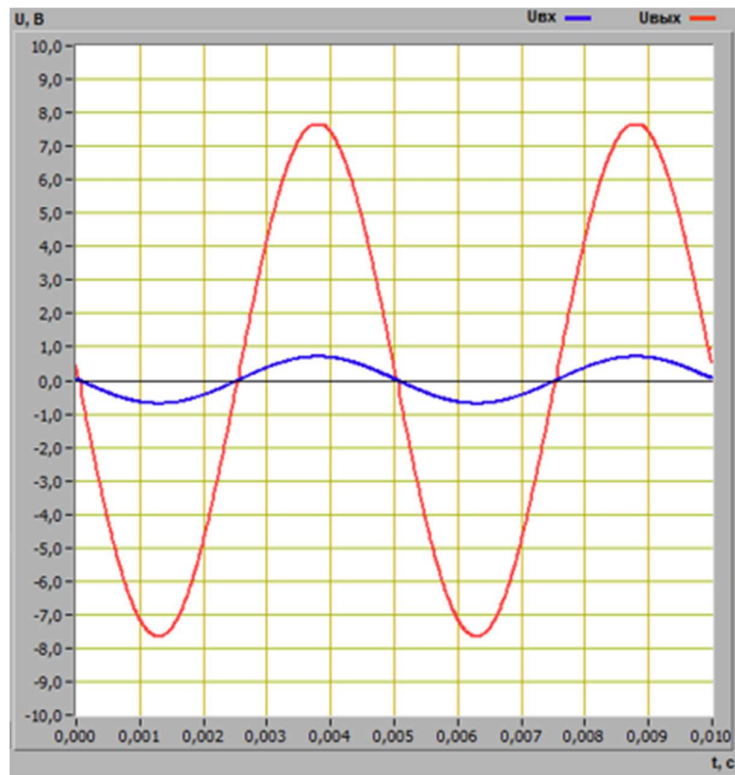
$$U_{огр-} = -7.93V$$

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя:

$$K_{ус} = -\frac{U_{вых.2} - U_{вых.1}}{U_{вх.2} - U_{вх.1}} = \frac{-4 - 2}{-0.36 - 0.19} = 10.9$$

4.4 Исследование работы неинвертирующего усилителя

С помощью элементов управления был установлен следующий режим измерения: форма сигнала – синусоидальная, частота сигнала – 200 Гц. Амплитуда входного сигнала выбрана такой величины, при которой выходной сигнал, наблюдаемый на графическом индикаторе ВП, не имеет искажений и удобен для наблюдения и измерений. Полученный выходной сигнал изображён на рис. 4.6.



t, c

Рисунок 4.6 – Входной и выходной сигналы инвертирующего усилителя

Как мы видим, на основе рис. 4.6 входной и выходной сигналы совпадают по фазе.

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя:

$$K_{yc} = \frac{R_{oc}}{R_1} + 1 = \frac{100}{10} = 11$$

На основе рис. 4.6 определены амплитуды входного и выходного сигналов:

$$U_{вх.m} = \frac{0.73 - (-0.69)}{2} = 0.71В$$

$$U_{вых.m} = \frac{7.73 - (-7.61)}{2} = 7.67В$$

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя:

$$K_{yc} = \frac{U_{вых.m}}{U_{вх.m}} = \frac{7.67}{0.71} = 10.8$$

Полученное по передаточной характеристике значение коэффициента усиления отличается от теоретически рассчитанного на 1%. Коэффициент усиления, найденный по формуле $K = U_{вых.m} / U_{вх.m}$, отличается от рассчитанного

теоретически на 2%. Так как разница достаточно мала, то можно сделать вывод, что расчёты были проведены корректно.

4.5 Исследование работы интегратора напряжения

Для исследования работы интегратора напряжения используется схема, изображенная на рис. 4.7.

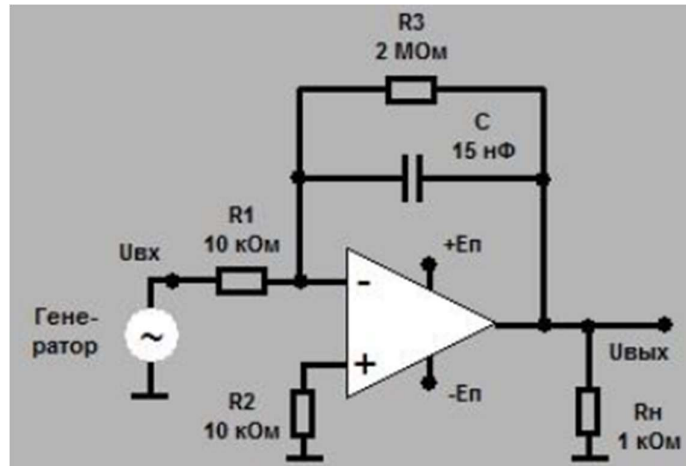


Рисунок 4.7 – Схема интегратора напряжения

С помощью элементов управления был установлен следующий режим измерения: форма сигнала – прямоугольная, частота сигнала – 200 Гц. Амплитуда входного сигнала выбрана такой величины, при которой выходной сигнал, наблюдаемый на графическом индикаторе ВП, не имеет искажений и удобен для наблюдения и измерений. Полученный выходной сигнал изображён на рис. 4.8.

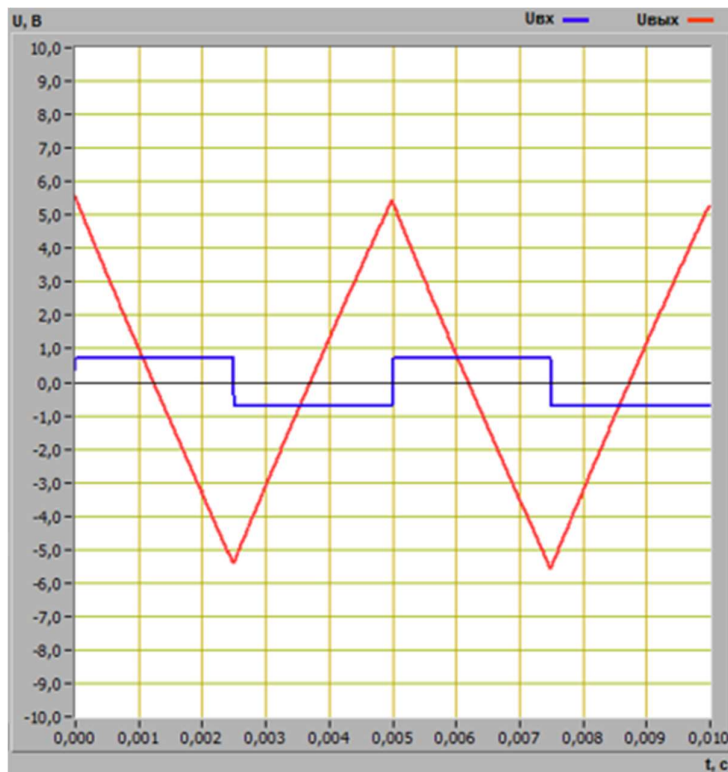


Рисунок 4.8 – Входной (прямоугольный) и выходной сигналы интегратора напряжения

На основе рис. 4.8 были определены максимальное и минимальное мгновенные значения сигнала, и период:

$$\begin{aligned} U_{max} &= 5.48\text{В}, \\ U_{min} &= -5.45\text{ В}, \\ T &= 0.005\text{ с} \end{aligned}$$

Скорость изменения выходного сигнала:

$$\frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta t} = \frac{2(U_{max} - U_{min})}{T} = \frac{2(5.48 - (-5.45))}{0.005} = 4372\text{ В/с}$$

Скорость изменения выходного сигнала, используя формулу идеального интегратора:

$$\frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta t} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{R_1 \cdot C} = \frac{0.70}{10 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^{-9}} = 4666\text{ В/с}$$

Сравнив значение скорости изменения сигнала, полученной на основе результатов измерений, и расчётным путём можно сделать вывод, что степень идеальности интегратора 93,6%.

Осциллограммы выходного сигнала интегратора для синусоидальной, треугольной и пилообразной форм входного напряжения изображены на рис. 4.9, 4.10 и 4.11 соответственно.

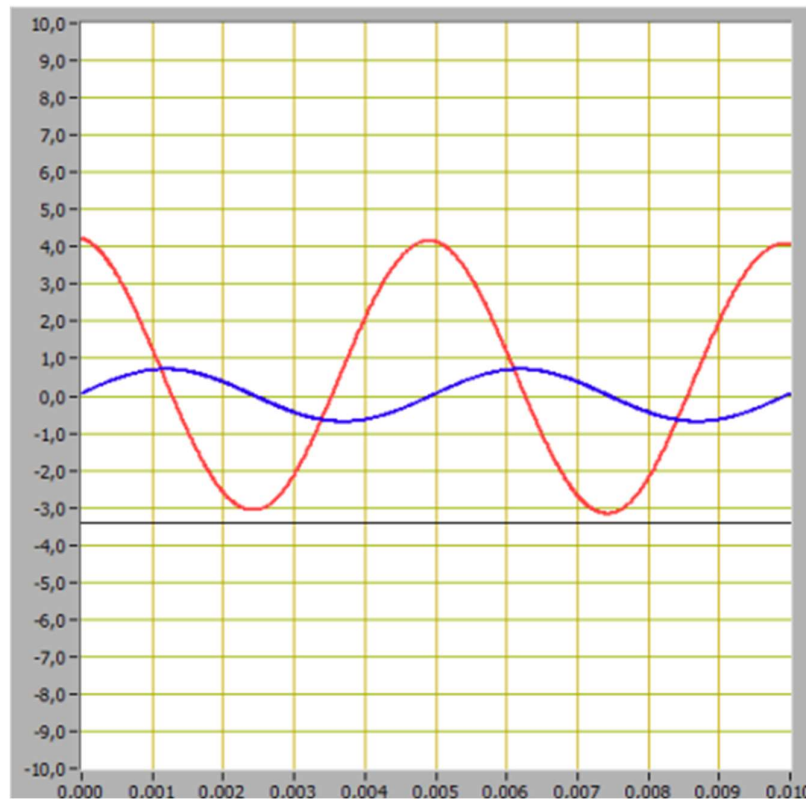


Рисунок 4.9 – Входной (синусоидальный) и выходной сигналы интегратора напряжения

На рис. 4.9 можно увидеть, что выходной сигнал соответствует графику косинуса. Это говорит о том, что разность фаз между входным и выходным сигналами интегратора $\pi/2$.

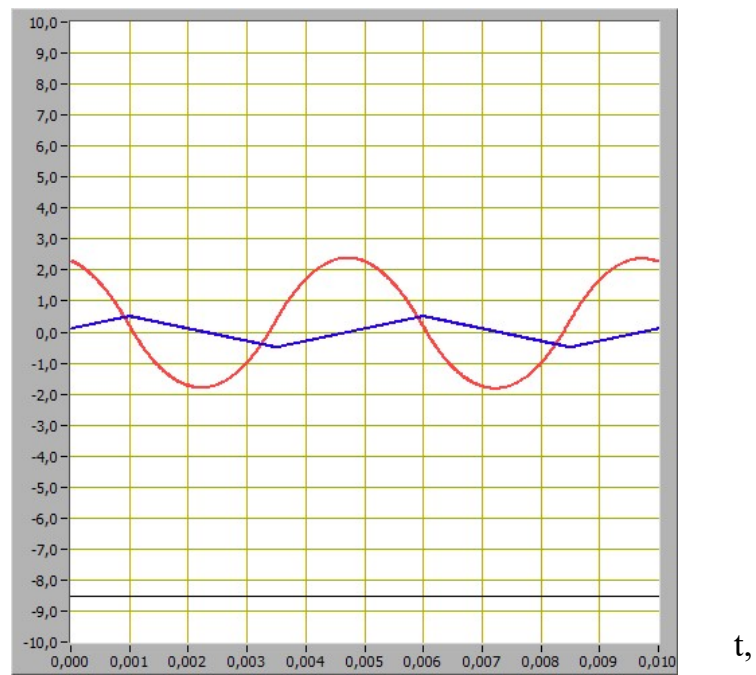


Рисунок 4.10 – Входной (треугольный) и выходной сигналы интегратора напряжения

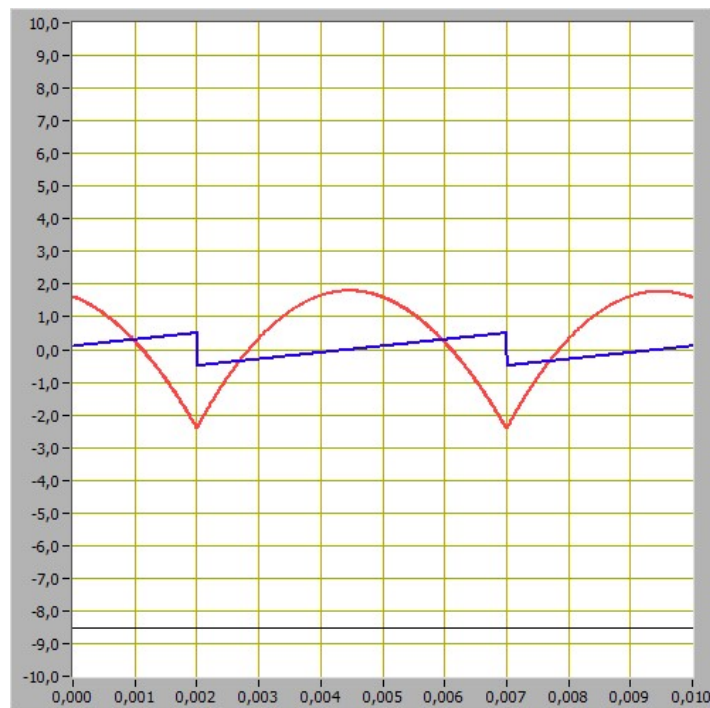


Рисунок 4.11 – Входной (пилообразный) и выходной сигналы интегратора напряжения

4.6 Исследование работы дифференциатора напряжения

Для исследования работы дифференциатора напряжения используется схема, изображенная на рис. 4.12.

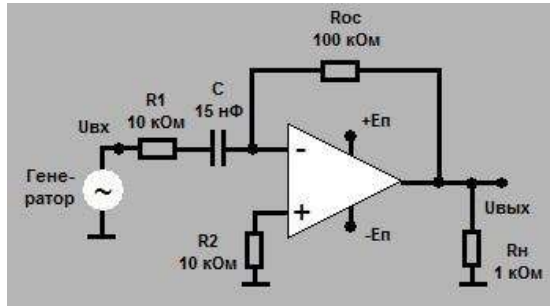


Рисунок 4.12 – Схема дифференциатора напряжения

С помощью элементов управления был установлен следующий режим измерения: форма сигнала – треугольная, частота сигнала – 200 Гц. Амплитуда входного сигнала выбрана такой величины, при которой выходной сигнал, наблюдаемый на графическом индикаторе ВП, не имеет искажений и удобен для наблюдения и измерений. Полученный выходной сигнал изображён на рис. 4.13.

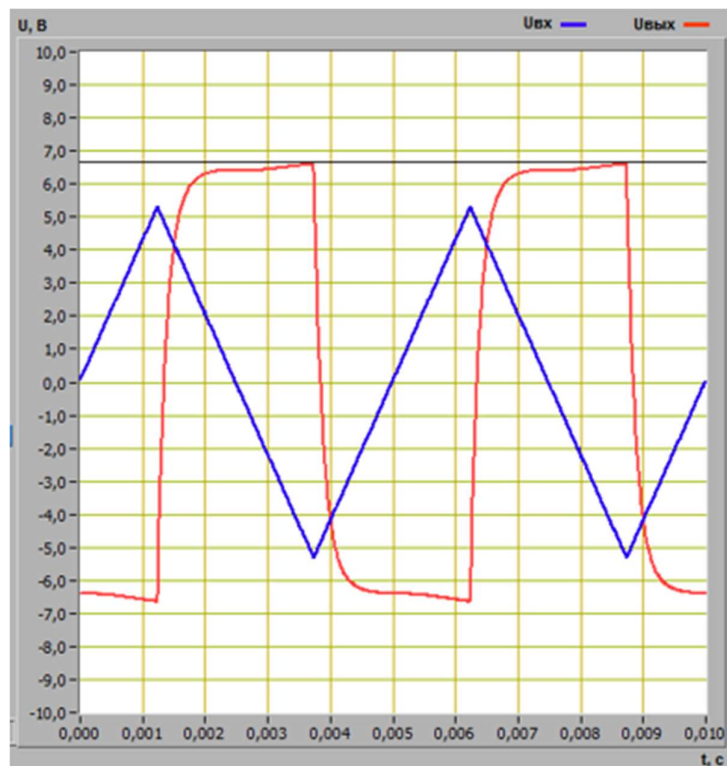


Рисунок 4.13 – Входной (треугольный) и выходной сигналы
дифференциатора напряжения

На основе рис. 4.13 была определена амплитуда в области установившегося сигнала:

$$U_{\text{вых.}m} = 6.66 \text{ В}$$

Скорость изменения входного сигнала:

$$\frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta t} = \frac{4 \cdot U_m}{T} = \frac{4 \cdot 5.29}{0.005} = 4232 \text{ В / с},$$

где U_m – амплитуда входного сигнала, T – период выходного напряжения.

Амплитуда выходного напряжения по формуле идеального дифференциатора:

$$U_{\text{вых}} = -R_{\text{ос}} \cdot C \cdot \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta t} = -10 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^{-9} \cdot 4232 = -6.348 \text{ В}$$

Сравнив значение амплитуды выходного напряжения, полученной на основе результатов измерений, и расчётным путём можно сделать вывод, что степень идеальности дифференциатора 95.3%.

Осциллограммы выходного сигнала дифференциатора для синусоидальной, прямоугольной и пилообразной форм входного напряжения изображены на рис. 4.14, 4.15 и 4.16 соответственно.

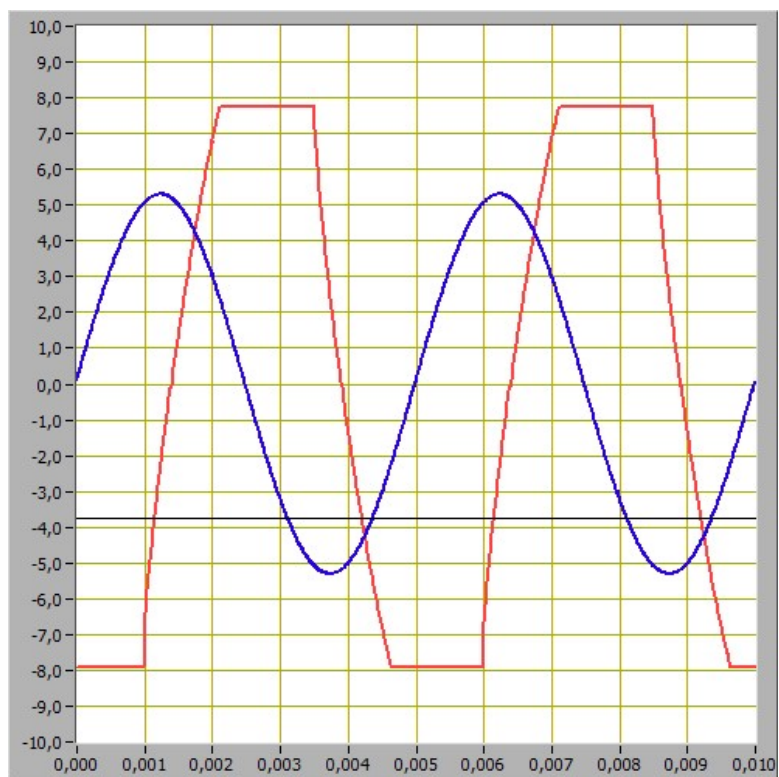


Рисунок 4.14 – Входной (синусоидальный) и выходной сигналы дифференциатора напряжения

Исходя из принципов работы дифференциатора напряжения и учитывая, что форма выходного сигнала соответствует функции $-R_{OC} \cdot C \cdot \cos(x)$, то можно сделать вывод, что разность фаз между входным и выходным сигналами дифференциатора равна $\pi/2$.

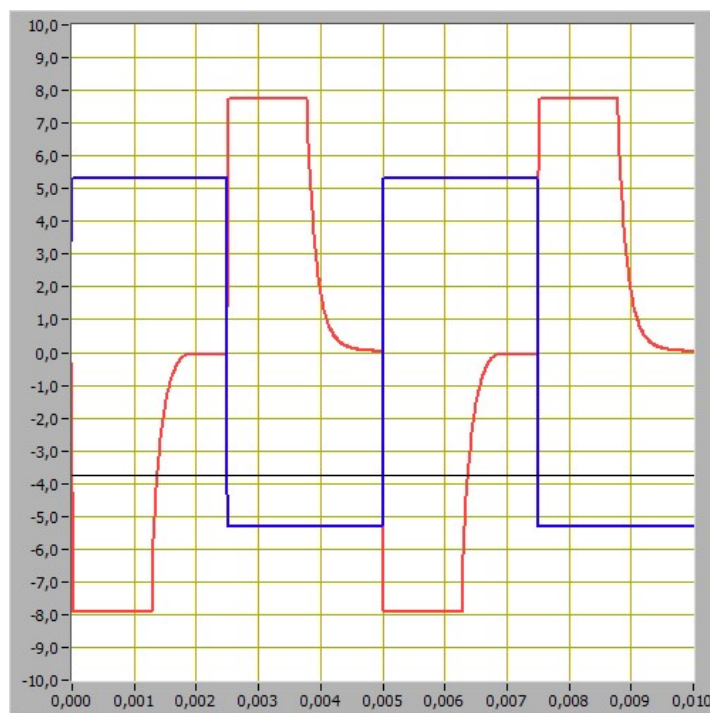


Рисунок 4.15 – Входной (прямоугольной) и выходной сигналы дифференциатора напряжения

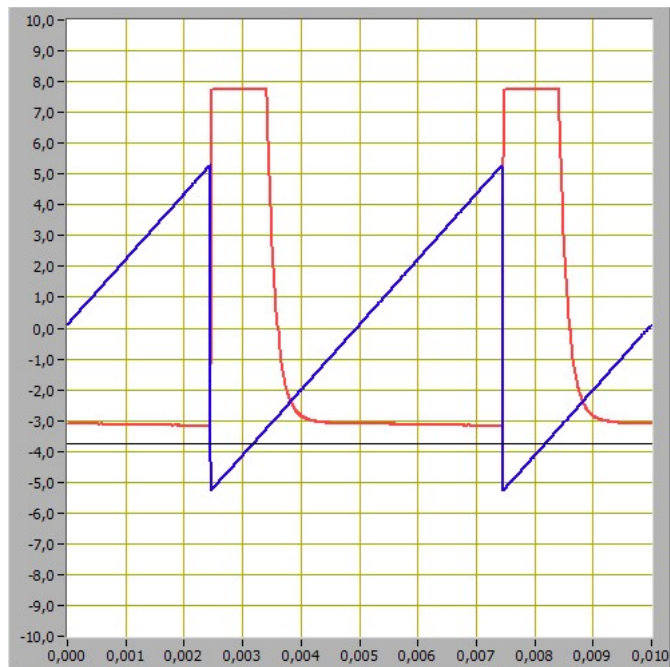


Рисунок 4.16 – Входной (пилообразный) и выходной сигналы дифференциатора напряжения

5 ВЫВОД

Были получены знания при работе с учебным модулем Lab5A.

В ходе выполнения лабораторной работы были изучены характеристики операционного усилителя, принципы построения схем преобразования аналоговых сигналов на основе операционного усилителя. Также были исследованы инвертирующие и не инвертирующие усилители на основе операционного усилителя, схемы интегрирования и дифференцирования аналоговых сигналов. Для исследуемых схем были получены графики основных характеристик, на основе которых были произведены расчеты параметров.