

**Объявляется набор в магистратуру
в 2021г.**

По направлению:

12.04.01 Приборостроение

Направленность (профиль) программы:

(Технологии цифрового города)

Все вопросы по почте:

ankravets@mail.ru

**Кафедра радиоприемных устройств и
телевидения**

Исследование типовых схем включения
операционных усилителей
Методические указания к лабораторным работам
по курсу
**Схемотехника аналоговых электронных
устройств**



УДК621.375.447.3(07.07)

Кравец А.В., Шабанов Д.В., Шибаета Е.М., Снежкова Л.А.
Исследование типовых схем включения операционных усилителей. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Схемотехника аналоговых электронных устройств». Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 27 с.

В данной работе даны краткие описания лабораторных работ и приводятся сведения о новом оборудовании – лабораторном комплексе NI ELVIS. Приведены домашние и лабораторные задания, методические указания по выполнению лабораторных заданий.

Методические указания соответствуют программе курса «Схемотехника аналоговых электронных устройств» для студентов всех форм обучения, по направлению «Радиотехника».

Ил. 18. Библиогр.: 8 назв.

Рецензент В.Т. Лобач, канд. техн. наук, профессор кафедры РТС ТТИ ЮФУ.

Обзор лабораторного комплекса NI ELVIS

Для обеспечения функциональных возможностей набора обычных измерительных приборов в NI ELVIS используются программы-приборы, написанные на LabVIEW, настольная рабочая станция и макетная плата.

Аппаратное обеспечение NI ELVIS включает в себя функциональный генератор и регулируемые блоки питания, встроенные в настольную рабочую станцию. Написанные на LabVIEW программы-приборы NI ELVIS обеспечивают функциональные возможности следующих физических устройств:

1. Генератор сигналов произвольной формы.
2. АЧХ/ФЧХ – анализатор.
3. Устройство чтения с цифровой шины.
4. Устройство записи на цифровую шину.
5. Цифровой мультиметр.
6. Анализатор динамических сигналов.
7. Функциональный генератор.
8. Анализатор импеданса.
9. Осциллограф.
10. Вольт-амперный анализатор двухпроводной линии.
11. Вольт-амперный анализатор трехпроводной линии.
12. Регулируемые источники питания.

Настольная рабочая станция NI ELVIS

Настольная рабочая станция и компьютер вместе образуют завершенную лабораторную установку. Панель управления станции, снабжена простыми в обращении кнопками и ручками управления, функциональным генератором и регулируемыми блоками питания. Программное обеспечение NI ELVIS маршрутизирует сигнал в настольной рабочей станции между программами-приборами. Например, выходной сигнал функционального генератора может быть направлен на определенный канал рабочей станции и затем

получен на нужном канале программы осциллографа.

Программное обеспечение NI ELVIS

Запускающий модуль Instrument Launcher

Запускающий модуль NI ELVIS обеспечивает доступ ко всем программам-приборам NI ELVIS. Чтобы запустить какой-нибудь прибор, просто нажмите на соответствующую кнопку.

Если в конфигурации системы есть неполадки, например рабочая станция, отключена от питания или не подсоединена к компьютеру, то кнопки всех приборов становятся недоступными. В этом случае единственная кнопка, на которую можно нажать, – это кнопка **Configure** (Конфигурировать).

Некоторые приборы выполняют сходные операции, используя одни и те же ресурсы аппаратуры NI ELVIS, и не могут выполняться одновременно. При запуске двух приборов с перекрывающейся функциональностью, программное обеспечение NI ELVIS выдаст диалоговое окно, в котором будет описана ошибка и то, почему эти приборы не могут работать одновременно. Вызвавший ошибку прибор блокируется и не будет функционировать до тех пор, пока конфликтная ситуация не разрешится.

АЧХ/ФЧХ -анализатор (Bode Analyzer)

Полнофункциональный АЧХ/ФЧХ -анализатор в NI ELVIS объединяет функцию развертки по частоте функционального генератора и возможность аналогового ввода компьютера рис. 1.1. Вы можете регулировать частотный диапазон прибора, а также выбирать шкалу дисплея – линейную или логарифмическую.

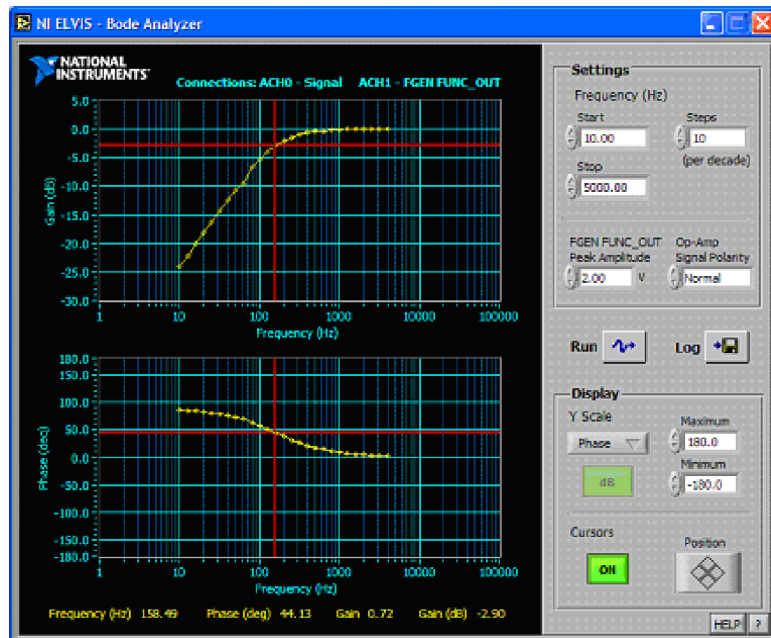


Рис. 1.1 АЧХ/ФЧХ -анализатор

Функциональный генератор Function Generator (FGEN)

Этот прибор позволяет выбирать форму сигнала (синусоида, меандр, пила), его амплитуду и частоту рис. 1.2. Кроме того, он дает возможность регулировать сдвиг постоянного тока, осуществлять развертку по частоте и модуляцию сигнала.

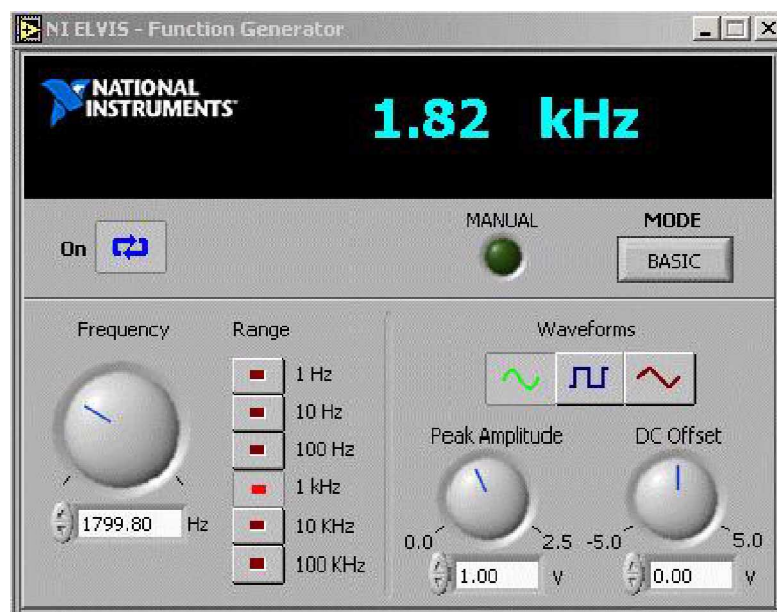


Рис. 1.2 Функциональный генератор

Осциллограф Oscilloscope (Scope)

Этот прибор обеспечивает реализацию всех функциональных возможностей стандартного настольного прибора, который можно найти в любой учебной лаборатории рис. 1.3.

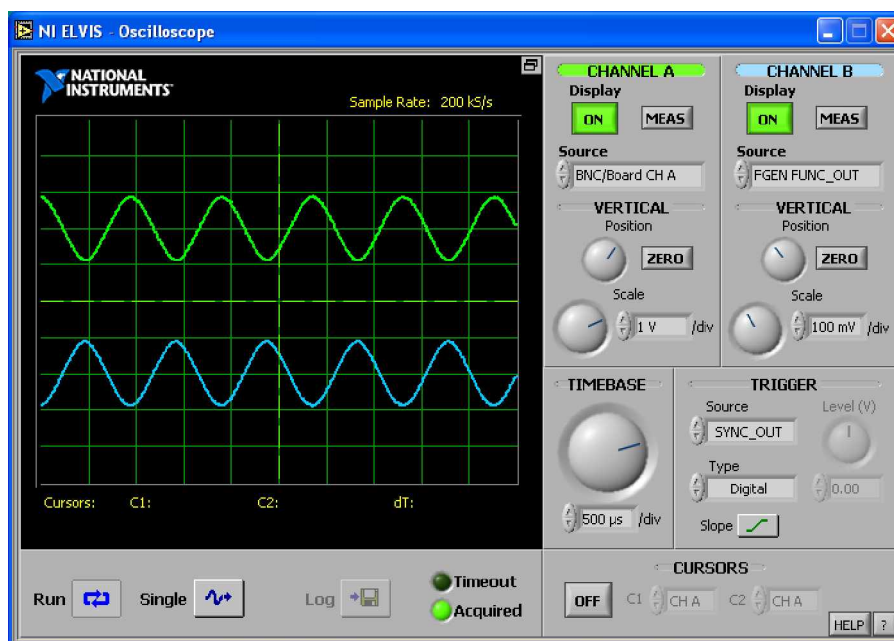


Рис. 1.3. Осциллограф

Эта программа-прибор имеет два канала и снабжена кнопками выбора масштаба, ручками регулировки положения луча, а также изменяемой временной разверткой. К осциллографу можно подключиться через макетную плату или с помощью разъёмов типа BNC на передней панели рабочей станции.

NI ELVIS может направлять к осциллографу сигналы от функционального генератора или цифрового мультиметра. Кроме того, дисплей этого компьютеризированного осциллографа даёт возможность использовать курсоры для точных измерений на экране. Скорость осциллографа ограничена только максимальной частотой дискретизации рабочей станции.

Настольная рабочая станция NI ELVIS

Виртуальные приборы можно использовать либо в режиме ручного управления – с помощью элементов управления на настольной рабочей станции, либо в режиме программного управления – с помощью элементов управления в программе-приборе NI ELVIS.

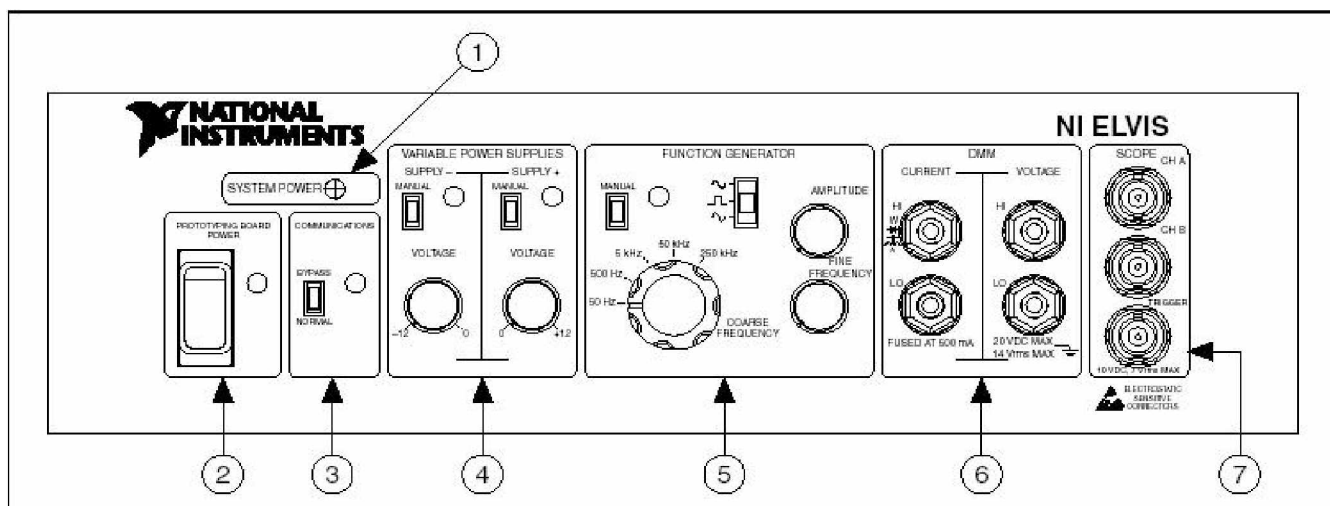


Рис. 1.4. Лицевая панель рабочей станции

Схема расположения частей рабочей станции приведена на рис. 1.4. Ниже приводятся обозначения основных блоков настольной рабочей станции и краткое назначение систем их управления.

1. Индикатор System Power (питание системы).
2. Переключатель Prototyping Board Power (питание макетной платы).
3. Переключатель Communications (Связь) отключает программное управление NI ELVIS и обеспечивает прямой доступ к линиям цифрового ввода/вывода.
4. Элементы управления регулируемыми блоками питания
Переключатель Manual – определяет режим управления питанием (ручной или программный) для отрицательных значений выходного напряжения.
Ручка Voltage Adjust (регулировка напряжения) –

управляет выходным напряжением, которое может изменяться от 12 до 0 В.

5. Элементы управления функциональным генератором
Переключатель Manual – определяет режим управления генератором функций (ручной или программный).

Выбор функции – определяет форму генерируемого сигнала. NI ELVIS может генерировать синусоидальный, прямоугольный и треугольный сигналы.

Ручка Amplitude – регулирует амплитуду генерируемого сигнала.

Ручка Coarse Frequency – устанавливает диапазоны частот на выходе функционального генератора.

Ручка Fine Frequency – настраивает выходную частоту функционального генератора.

6. Клеммы мультиметра.

Разъемы штекерного типа для тока (CURRENT):

HI – вход положительной полярности для всех функциональных возможностей мультиметра кроме измерения напряжения.

LO – вход отрицательной полярности для всех функциональных возможностей мультиметра кроме измерения напряжения.

Разъемы штекерного типа для напряжения (VOLTAGE):

HI – вход для измерений положительных значений напряжения.

LO – вход для измерений отрицательных значений напряжения.

7. Клеммы осциллографа

Разъем CH A BNC – вход для канала А осциллографа.

Разъем CH B BNC – вход для канала В осциллографа.

Разъем Trigger BNC – вход для синхронизации осциллографа.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

1. Цель работы

Исследование типовых схем включения операционных усилителей (усилитель, сумматор, интегратор, дифференциатор и др.).

2. Теоретические положения

Операционный усилитель (ОУ) представляет собой многокаскадный дифференциальный усилитель постоянного тока с бесконечно большим коэффициентом усиления, и предназначен для выполнения различных операций над аналоговыми сигналами. ОУ широко применяются в аналоговой схемотехнике и являются базовыми элементами при построении функциональных узлов самого различного типа и назначения. Условное графическое изображение ОУ показано на рис. 2.1.

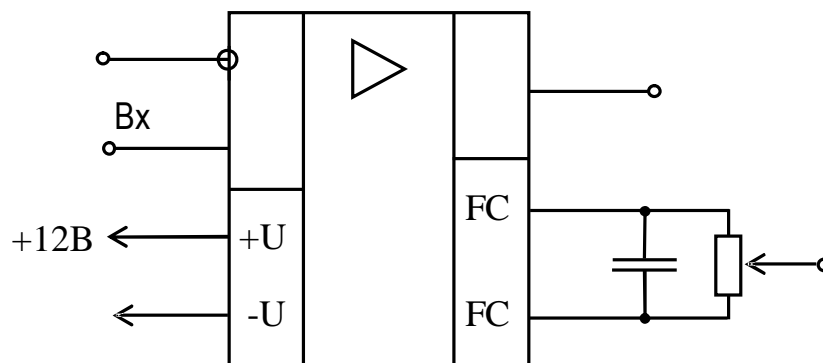


Рис.2.1. Условно-графическое изображение ОУ

Идеальный ОУ, как идеальное усилительное звено, должен отвечать следующим требованиям:

- 1) коэффициент усиления по напряжению $K_{UOY} \rightarrow \infty$;
- 2) входное сопротивление $R_{BX.OY} \rightarrow \infty$;

- 3) выходное сопротивление $R_{\text{ВЫХ.ОУ}} \rightarrow 0$;
- 4) амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) ОУ должна быть равномерной во всем диапазоне частот;
- 5) ОУ должен быть идеально сбалансирован, т.е. $U_{\text{ВЫХ}} = 0$ при $U_{\text{ВХ}} = 0$;
- 6) минимальный температурный и временной дрейфы нуля.

ОУ является основным базовым элементом всей аналоговой микросхемотехники, что вытекает из многообразия вариантов его применения. На основе ОУ могут быть легко реализованы все основные аналоговые функции и большинство специальных. Это обеспечивается тем, что в ОУ легко вводить различные обратные связи, с помощью которых можно изменять свойства электронных устройств.

Благодаря большому усилению выходное напряжение ОУ пропорционально входному лишь при очень малых уровнях сигнала (милли- и микровольты). При увеличении входного сигнала транзисторы ОУ входят в режим насыщения или отсечки. Учитывая эту особенность, а также высокое входное сопротивление, при анализе работы схем с ними принимают следующие допущения:

- 1) до тех пор, пока усилитель находится на линейном участке амплитудной характеристики, его входное напряжение U_0 (разность потенциалов между инвертирующим и неинвертирующим входами) не превышает милливольт, поэтому можно считать потенциалы входов практически равными;

- 2) благодаря высокому входному сопротивлению ОУ, током I_0 , протекающим между инвертирующим и неинвертирующим входами, можно пренебречь.

2.1. Неинвертирующий усилитель на ОУ

На рис.2.2 показана схема неинвертирующего усилителя на ОУ с последовательной отрицательной обратной связью (ООС) по напряжению.

Выразим напряжение, действующее на входе ОУ

$$U_0 = U_{ВХ} - U_{ОС} \quad (\text{при ПОС: } U_0 = U_{ВХ} + U_{ОС}), \quad \text{где}$$

$$U_{ОС} = I_{ОС} \cdot Z_1 = \frac{U_{ВЫХ} \cdot Z_1}{Z_{ОС} + Z_1}; \quad U_0 = \frac{U_{ВЫХ}}{K_{УОУ}}.$$

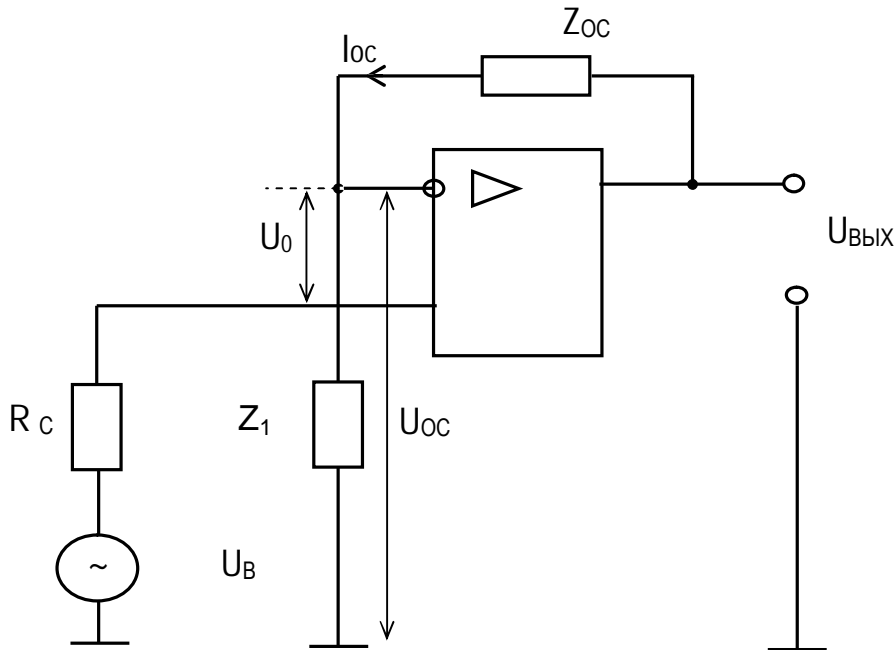


Рис.2.2. Неинвертирующий усилитель

Основным условием выбора элементов ОС ($Z_{ОС}$, Z_1) является следующее. Элементы цепи ОС не должны влиять на работу внешних цепей как входного источника, так и нагрузки, т.е. $Z_{ОС} \gg R_{ВЫХ.ОУ}$, $Z_{ОС} > R_H$, $Z_1 > R_C$. Основное уравнение для схемы с последовательной ООС:

$$K_U = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = \frac{U_{ВЫХ}}{U_0 + U_{ОС}} = \frac{K_{УОУ}}{1 + K_{УОУ} \cdot \beta_1} \approx \frac{1}{\beta_1} = \frac{Z_1 + Z_{ОС}}{Z_1} = 1 + \frac{Z_{ОС}}{Z_1}, \quad (1)$$

где $\beta_1 = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_{ОС}}$ – коэффициент передачи последовательной цепи ООС.

Входное сопротивление велико $Z_{ВХ} = Z_{ВХ.ОУ} (1 + K_{УОУ} \cdot \beta_1) \rightarrow \infty$.

Выходное сопротивление стремится к нулю

$$Z_{\text{ВЫХ}} = \frac{Z_{\text{ВЫХ.ОУ}}}{1 + K_{\text{УОУ}} \cdot \beta_1} \rightarrow 0.$$

Так как сигнал подаётся на неинвертирующий вход, то фазы входного и выходного сигналов совпадают.

2.2. Инвертирующий усилитель на ОУ

На рис. 2.3 показана схема инвертирующего усилителя на ОУ с параллельной ООС по току.

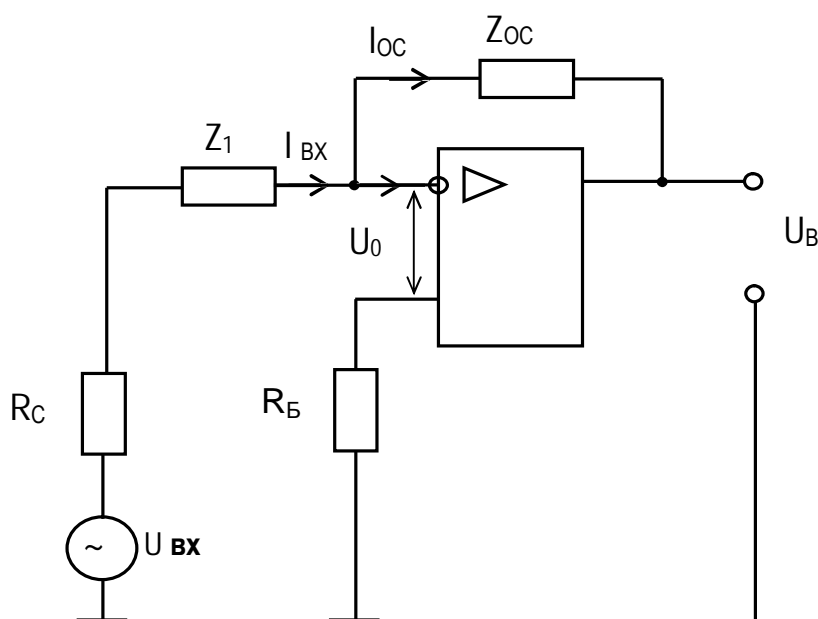


Рис.2.3. Инвертирующий усилитель

Выразим входной ток ОУ $I_0 = I_{\text{ВХ}} - I_{\text{ОС}}$ (при ПОС: $I_0 = I_{\text{ВХ}} + I_{\text{ОС}}$). Поскольку $I_0 = 0$, то $I_{\text{ВХ}} = I_{\text{ОС}}$. Учитывая, что $U_0 = 0$, можно выразить равенство токов следующим образом

$$\frac{U_{\text{ВХ}}}{Z_1} = -\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{Z_{\text{ОС}}}, \text{ тогда коэффициент усиления схемы}$$

$$K_{\text{У}} = -\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = -\frac{Z_{\text{ОС}}}{Z_1}.$$

Основное уравнение схемы можно получить и другим способом:

$$K_{\text{У}} = -\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = -\frac{K_{\text{УОУ}}}{1 + K_{\text{УОУ}} \cdot \beta_2} \approx -\frac{1}{\beta_2} = -\frac{Z_{\text{ОС}}}{Z_1}, \quad (2)$$

где $\beta_2 = \frac{Z_1}{Z_{OC}}$ – коэффициент передачи цепи ОС по току при $Z_1 \gg Z_{OC}$.

Входное сопротивление схемы $Z_{BX} = Z_1 + (R_{BX.oy} \parallel \frac{Z_{OC}}{K_{Uoy}}) \approx Z_1$.

Выходное сопротивление схемы $Z_{ВЫХ} = \frac{Z_{ВЫХ.oy}}{1 + K_{Uoy} \cdot \beta_2} \rightarrow 0$.

Так как сигнал подаётся на инвертирующий вход, то входной и выходной сигналы будут в противофазе.

Как видно из выражений (1) и (2), свойства схемы определяются соотношением и характером элементов Z_1 и Z_{OC} :

- если элементы цепи ООС линейны и безынерционны (не зависят от частоты $Z_1 = R_1$, $Z_{OC} = R_{OC}$), то схема является линейным усилительным звеном (инвертирующий и неинвертирующий усилитель, сумматор и т.д.);

- если Z_1 и Z_{OC} нелинейны и безынерционны, то можно получить нелинейные усилительные звенья (логарифмические усилители, экспоненциальные усилители и т.д.);

- если Z_1 и Z_{OC} инерционны (зависят от частоты), то можно получить интегратор ($Z_1 = R_1$, $Z_{OC} = 1/j\omega \cdot C_{OC}$), дифференциатор ($Z_1 = 1/j\omega \cdot C_1$, $Z_{OC} = R_{OC}$), активные фильтры и т.д.

Таким образом, многообразие возможных комбинаций цепей ОС и ОУ обуславливает большое многообразие вариантов схемотехнического использования ОУ. В данной работе подлежат исследованию только наиболее распространённые типовые варианты использования ОУ.

2.3. Инвертирующий сумматор

На рис. 2.4 приведена схема инвертирующего сумматора.

Сигналы от n источников подаются через соответствующие резисторы на инвертирующий вход.

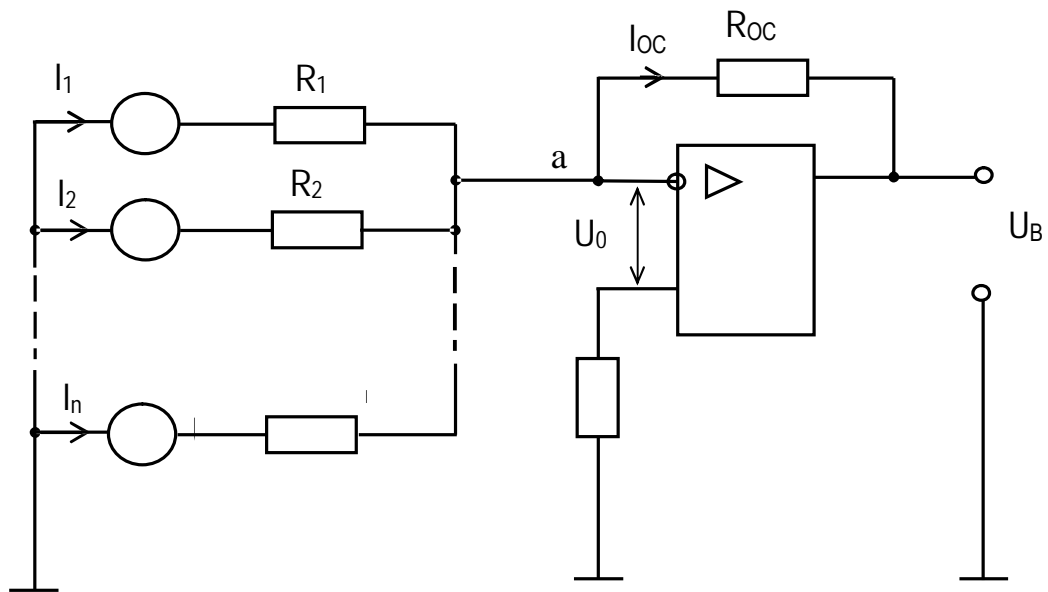


Рис. 2.4. Инвертирующий сумматор

Получить основные расчётные соотношения такой схемы можно, если предположить, что усилитель идеальный, т.е.

$U_a = U_0 = 0$ и $I_0 = 0$. Тогда сумма входных токов равна току обратной связи $I_1 + I_2 + \dots + I_n = I_{OC}$.

Выражая токи по закону Ома через напряжения источников входных сигналов и их сопротивления, получим

$$U_{\text{ВЫХ}} = - \left(\frac{R_{OC}}{R_1} \cdot U_1 + \frac{R_{OC}}{R_2} \cdot U_2 + \dots + \frac{R_{OC}}{R_n} \cdot U_n \right) = -(K_1 \cdot U_1 + K_2 \cdot U_2 + \dots + K_n \cdot U_n).$$

Если выбрать резисторы $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$, то выходное напряжение можно записать проще

$$U_{\text{ВЫХ}} = - \frac{R_{OC}}{R} \cdot \sum_{i=1}^n U_i,$$

кроме того, при $R_{OC} = R$, формула становится тривиальной

$$U_{\text{ВЫХ}} = - \sum_{i=1}^n U_i.$$

Для балансировки входных цепей ОУ необходимо выполнить условие $R_B = R_1 \parallel R_2 \parallel \dots \parallel R_n \parallel R_{OC}$.

Достоинством такой схемы является то, что для каждого источника можно выбрать свой коэффициент суммирования, и он не будет влиять на другие источники.

Все входные источники должны иметь общую точку, которую можно подключать на общую шину.

2. 4. Интегратор на ОУ

Интегратор на ОУ представляет собой инвертирующую схему (рис. 2.5), где вместо Z_{OC} используется частотно-зависимый элемент – конденсатор, сопротивление которого $X_{C_{OC}} = 1/(\omega \cdot C_{OC})$.

Основное уравнение интегратора при нулевых начальных условиях:

$$U_{ВЫХ}(t) = -\frac{1}{R_1 \cdot C_{OC}} \cdot \int_0^t U_{ВХ}(t) dt.$$

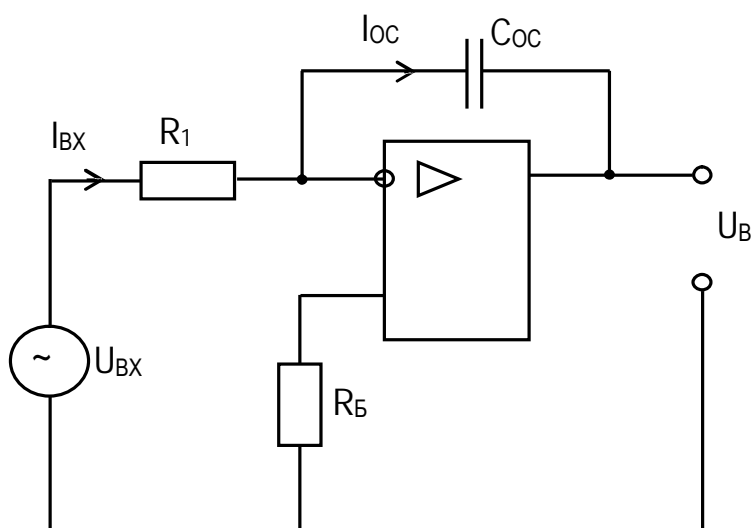


Рис. 2.5. Инвертирующий интегратор

Выходной сигнал зависит от интеграла входного сигнала. Коэффициент $1/R_1 C_{OC}$ называется масштабом интегрирования. Изменяя $R_1 C_{OC}$, мы можем менять масштаб интегрирования.

Выходные сигналы у интеграторов не могут изменяться скачкообразно. Если входной сигнал является периодическим и знакопеременным и не содержит постоянной составляющей, то сигнал на выходе тоже будет знакопеременным и периодическим. В этом случае ёмкость будет перезаряжаться

в зависимости от знака. Такой интегратор может работать длительное время без контроля. Если входной сигнал содержит постоянную составляющую, то рано или поздно интегратор войдёт в режим насыщения, в таком случае, у интеграторов должно быть дополнительное устройство ограничения цикла интегрирования.

Коэффициент усиления по напряжению интегратора является частотно-зависимым параметром:

$$K_U = \frac{X_C}{R_1} = \frac{1}{\omega \cdot C_{oc} \cdot R_1} = \frac{1}{2\pi f \cdot C_{oc} \cdot R_1}.$$

Из данной формулы видно, что интегратор подавляет высокочастотный сигнал.

Для получения неинвертирующего результата интегрирования можно на его выходе использовать дополнительный инвертор.

2.5. Дифференциатор на ОУ

Дифференциатор на ОУ представляет собой инвертирующую схему (рис.2.6), где вместо Z_1 используются частотно-зависимый элемент – конденсатор, сопротивление которого $X_{C1} = 1/(\omega \cdot C_1)$.

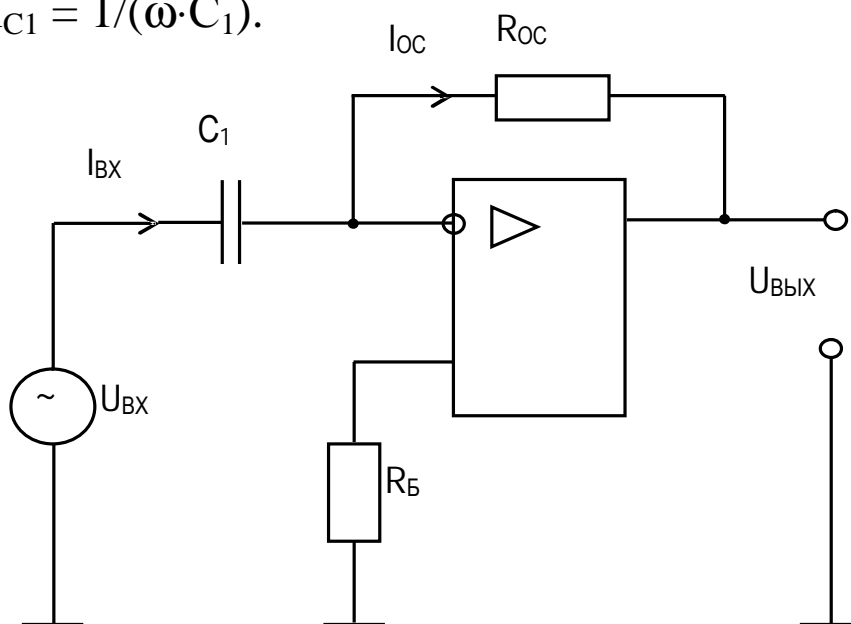


Рис. 2.6. Инвертирующий дифференциатор

Выходной сигнал такого устройства пропорционален скорости изменения входного сигнала:

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = K_U \cdot \frac{dU_{\text{ВХ}}(t)}{dt}.$$

Основное уравнение дифференциатора можно получить из предположения, что ОУ идеальный, тогда $I_{\text{ВХ}} = I_{\text{ОС}}$. Выражая ток в соответствии с принципом работы дифференциатора, запишем

$$I_{\text{ВХ}} = C_1 \cdot \frac{dU_{\text{С1}}}{dt} = C_1 \cdot \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt} = -\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{ОС}}}.$$

Тогда

$$U_{\text{ВЫХ}} = -R_{\text{ОС}} \cdot C_1 \cdot \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt} = K_U \cdot \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt}.$$

Выходной сигнал дифференциатора изменяется скачкообразно. Где есть скорость изменения, там есть выходной сигнал. Чем больше скорость изменения входного сигнала, тем больше амплитуда выходного напряжения. Коэффициент усиления дифференциатора является частотно-зависимым:

$$K_U = \frac{R_{\text{ОС}}}{X_{\text{С1}}} = \omega \cdot R_{\text{ОС}} \cdot C_1 = 2\pi f \cdot R_{\text{ОС}} \cdot C_1.$$

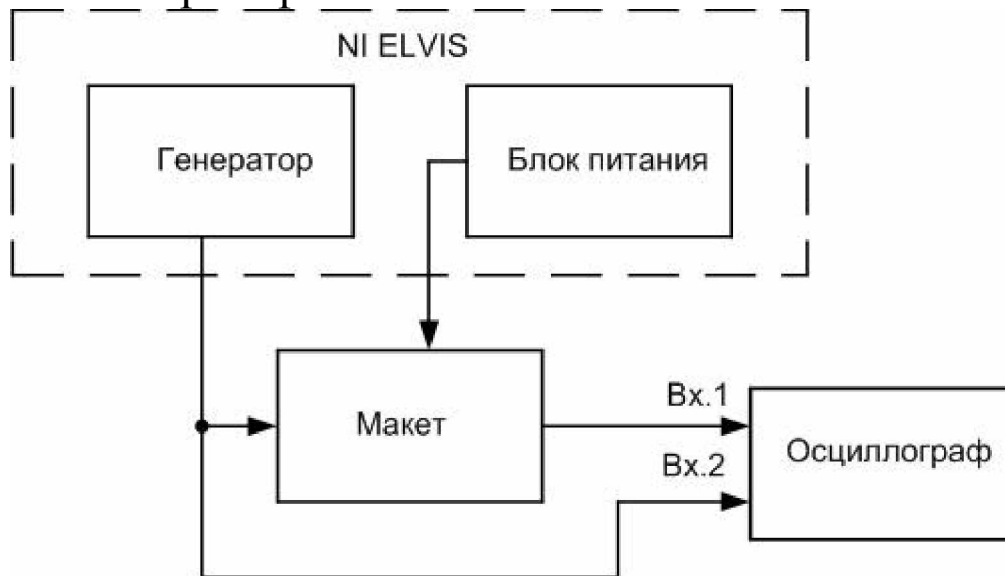
Дифференциаторы имеют низкую устойчивость, т.е. склонны к самовозбуждению, поэтому требуют тщательной настройки и коррекции их АЧХ. К выбору самого ОУ особых требований не предъявляется. Для получения неинвертирующего результата дифференцирования на его выходе обычного устанавливают инвертор.

3. Задания на экспериментальные исследования и методика их выполнения

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из макета, универсального генератора, осциллографа TDS -2012 и блока

питания встроенного в установку сбора данных NI ELVIS. Макет представляет собой две печатные платы, которые устанавливаются на макетную плату. Универсальный генератор представляет собой устройство, встроенное в NI ELVIS и способное выдавать сигнал синусоидальной, прямоугольной и треугольной форм. Оно имеет грубое управление на лицевой панели установки сбора и обработки данных и более точное программное управление в виде виртуального прибора.



Лабораторное задание

1. Собрать и исследовать инвертирующий усилитель.
2. Собрать и исследовать неинвертирующий усилитель.
3. Собрать и исследовать дифференциальный усилитель (усилитель разности сигналов).
4. Собрать и исследовать суммирующий усилитель.
5. Собрать и исследовать дифференциатор.
6. Собрать и исследовать интегратор.
7. Проверить что интегрирование и дифференцирование являются взаимнообратными операциями.

Методика выполнения лабораторного задания

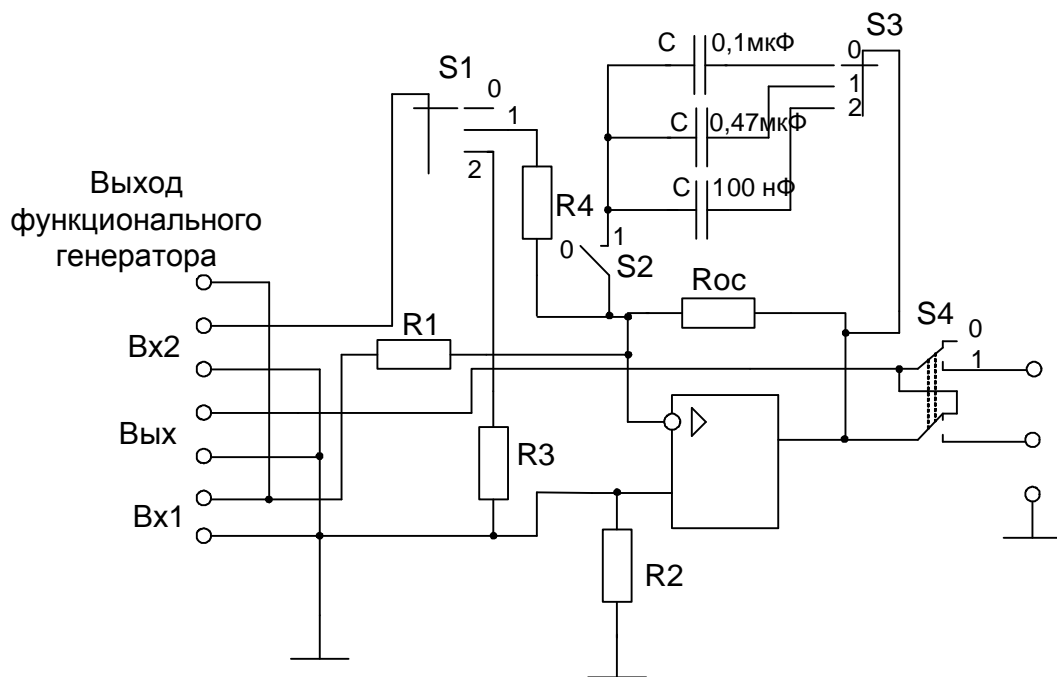


Рис 3.1 Схема макета, на котором собирается интегратор и разностный сумматор

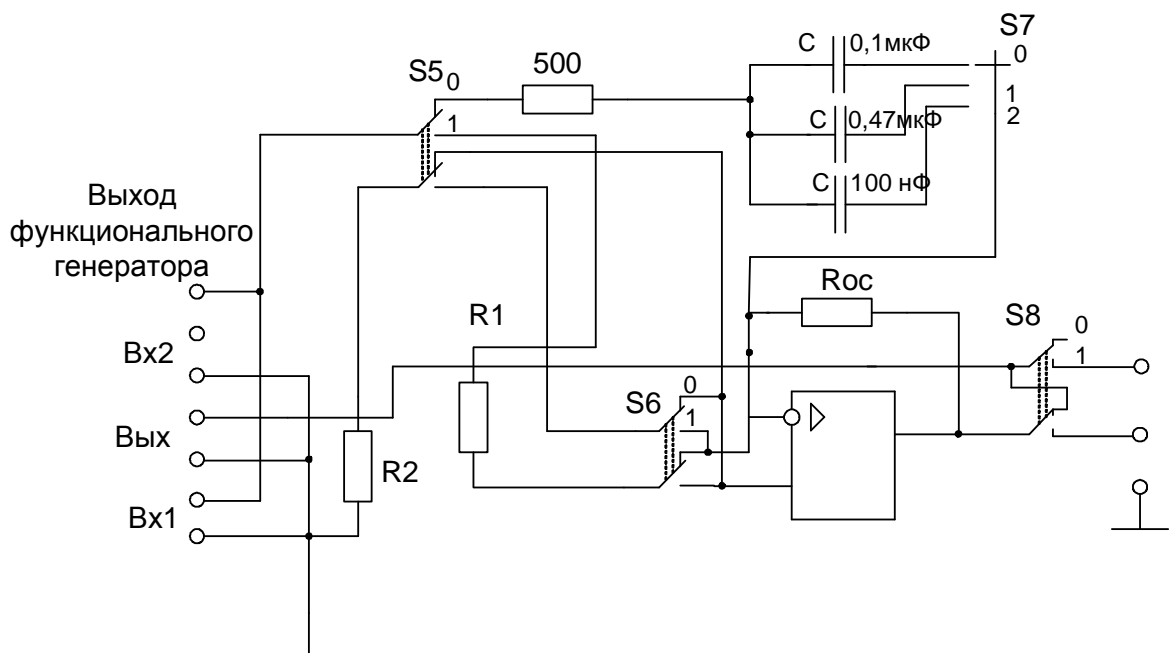


Рис 3.2 Схема макета, на котором собирается дифференциатор, инвертирующий и неинвертирующий усилители

Задание 1. Исследовать инвертирующий усилитель

Собрать схему инвертирующего усилителя, для чего на макете поставить переключатели в следующие положения: $S5 - 1$, $S6 - 0$, $S8 - 0$, $S7 - 0$. Затем, подключив на вход и на выход схемы двухканальный осциллограф, произвести следующие измерения: $R1 = 100 \text{ кОм}$, $R_{ос} = 100 \text{ кОм}$, $R2 = 100 \text{ кОм}$.

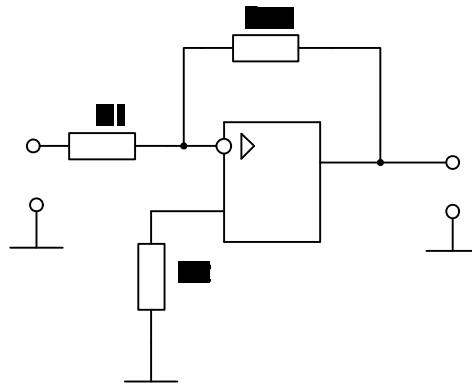


Рис. 3.3 Схема инвертирующего усилителя

1. Экспериментально определить коэффициент усиления (K) инвертирующего усилителя, $K = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}}$;

а) измерения $K_{и}$ проводить на частоте 1000 Гц при амплитуде входного сигнала 1В;

б) сравнить результаты эксперимента с расчетом.

2. Зарисовать временные диаграммы входного и выходного сигналов инвертирующего усилителя.

Для получения устойчивой картины на экране осциллографа эксперимент проводить в режиме внутренней синхронизации осциллографа.

Задание 2. Исследовать неинвертирующий усилитель

Собрать схему неинвертирующего усилителя, для чего на макете поставить переключатели в следующие положения: $S5 - 1$, $S6 - 1$, $S8 - 0$, $S7 - 0$. Затем, подключив на вход и на выход схемы

двухканальный осциллограф произвести следующие измерения:
 $R1 = 100 \text{ кОм}$, $R_{oc} = 100 \text{ кОм}$, $R2 = 100 \text{ кОм}$.

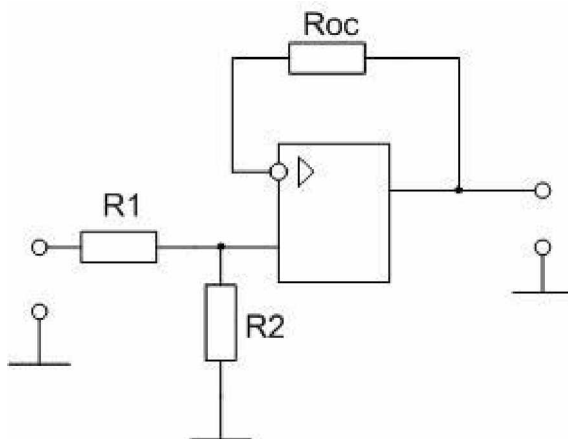


Рис 3.4. Схема неинвертирующего усилителя

1. Повторить выполнение пунктов 1 и 2 задания 1 .

Задание 3. Исследовать дифференциальный усилитель (усилитель разности сигналов)

Собрать схему усилителя разности сигналов, для чего на макете поставить переключатели в следующие положения : $S1 - 2$, $S2 - 0$, $S3 - 0$, $S4 - 0$. Затем, подключив на вход и на выход схемы двухканальный осциллограф, произвести следующие измерения: $R1 = 10 \text{ кОм}$, $R_{oc} = 1000 \text{ кОм}$, $R2 = 100 \text{ кОм}$, $R3 = 10 \text{ кОм}$, $R4 = 10 \text{ кОм}$ (Рис.3.5).

1. Зарисовать временные диаграммы входных сигналов $U_{вх1}$ и $U_{вх2}$, подав на инвертирующий вход гармонический сигнал $U_{вх1}$ с амплитудой 1В и частотой 1000 Гц, а на неинвертирующий вход сигнал – прямоугольной формы $U_{вх2}$, такой же амплитуды и частоты.

Измерения проводить в режиме синхронизации осциллографа от гармонического сигнала

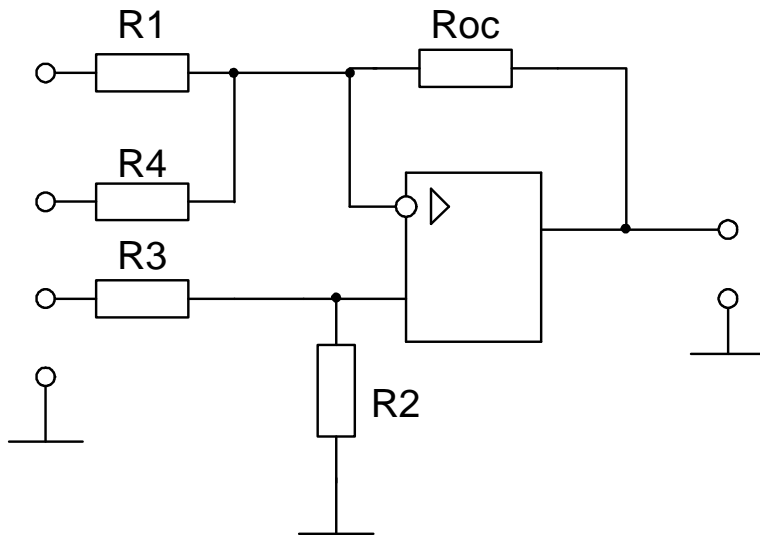


Рис.3.5. Схема разностного сумматора

2. Рассчитать коэффициент ослабления синфазного сигнала.

$$K_{\text{осс}} = U_{\text{вх}} / U_{\text{вых}}$$

Для расчета $K_{\text{осс}}$, объединив входы усилителя разности и подав на них гармонический сигнал ($U_m=1$ В, $f=500$ Гц) от генератора, измерить с помощью осциллографа амплитуду входного и выходного сигналов.

Объяснить результат измерения.

Задание 4. Исследовать суммирующий усилитель.

Собрать схему суммирующего усилителя, для чего на макете поставить переключатели в следующие положения: $S1 - 1$, $S2 - 0$, $S3 - 0$, $S4 - 0$. Затем, подключив на вход и на выход схемы двухканальный осциллограф произвести следующие измерения: $R1 = 10$ кОм, $R_{\text{ос}} = 1000$ кОм, $R2 = 100$ кОм, $R3 = 10$ кОм, $R4 = 10$ кОм (Рис.3.5).

1. Повторить пункт 1 задания 3

Задание 5. Исследовать дифференцирующий усилитель.

Собрать схему дифференцирующего усилителя, для чего на макете ($R1 = 500$ Ом, $C=100$ нФ) поставить переключатели в следующие положения: $S5 - 0$, $S6 - 0$, $S8 - 0$, $S7 - 0$. Затем, подключив на вход и на выход схемы двухканальный осциллограф

произвести следующие измерения: $R_{oc} = 100 \text{ кОм}$, $R_2 = 100 \text{ кОм}$ (см. рис. 3.6).

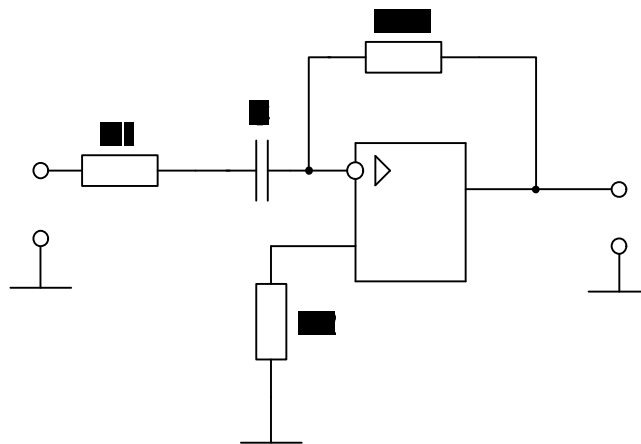


Рис. 3.6. Схема дифференциатора на ОУ

1. Снять АЧХ коэффициента усиления (зависимость коэффициента усиления от частоты $K = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}}$) в диапазоне частот $10 \dots 10^4$ Гц при входном гармоническом сигнале амплитудой $U_{\text{ВХ}} = 20 \text{ мВ}$. Результаты измерений занести в табл. 1, рассчитать K и построить график $K(f)$.

Таблица 1

$F, \text{ Гц}$	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
$\text{Lg}(f)$	1	1.2	1.7	2	2.3	2.7	3	3.3	3.7	4
$U_{\text{ВЫХ}}$										
K										

Повторить измерения пункта 1 задания 5 для $C = 47 \text{ нФ}$ ($S7 - 1$) и $C = 100 \text{ пФ}$ ($S7 - 2$).

2. Зарисовать осциллограммы входного и выходного сигналов дифференцирующего усилителя при подаче на его вход от генератора: а) гармонического сигнала; б) последовательности треугольных импульсов; в) последовательности прямоугольных импульсов, с частотой 500 Гц и амплитудой 20 мВ (при $C = 100 \text{ нФ}$).

Объяснить изменение формы выходного сигнала на выходе усилителя по сравнению с его входным сигналом.

Задание 6. Исследовать интегрирующий усилитель.

Собрать схему интегрирующего усилителя ($R_1=10$ кОм, $C=100$ нФ,) рис. 3.7.

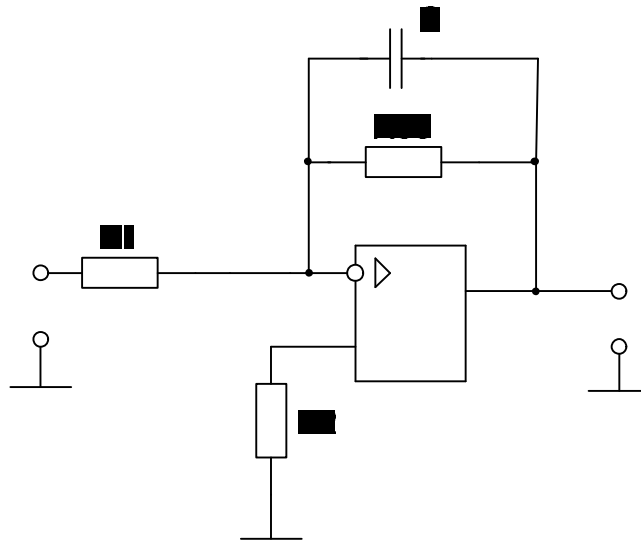


Рис. 3.7. Схема интегратора на ОУ

1. Повторить пункт 1 задания 5 настоящего описания при входном сигнале от генератора с амплитудой 20 мВ.

2. Повторить пункт 1 задания 5 настоящего описания для частот 1 кГц и 100 Гц.

Объяснить изменение формы выходного сигнала и причину уменьшения его амплитуды с увеличением частоты сигнала на входе.

Задание 7 . Последовательно соединить последовательно схемы дифференциатора и интегратора, подать на вход сигнал в виде последовательности прямоугольных импульсов с частотой 500 Гц и амплитудой 100 мВ. Сравнить и зарисовать полученные осциллограммы на входе и выходе. Сделать выводы

4. Содержание отчета

1. Заголовок: название работы, № группы, ФИО студента.
2. Результаты теоретических расчетов и графических построений.
3. Структурные схемы устройств на основе ОУ исследуемых в заданиях раздела 3;
4. Результаты измерений, расчеты и графики.
5. Выводы и сопоставление результатов измерений и теоретических расчетов.

5. Вопросы для самоподготовки

1. Схема и основные соотношения для неинвертирующего усилителя на ОУ;
2. Схема и основные соотношения для инвертирующего усилителя на ОУ;
3. Схема и основные соотношения для дифференциального усилителя на ОУ;
4. Схема и основные соотношения для дифференцирующего усилителя на ОУ;
5. Схема и основные соотношения для сумматора;
6. Схема и основные соотношения для интегрирующего усилителя на ОУ;
7. Основные параметры и характеристики ОУ.
8. Понятие об идеальном ОУ.
9. Классификация ОУ.
10. Условия, при которых реальный ОУ можно считать идеальным.

Библиографический список

1. Мамонкин И. Г. Усилительные устройства. – М.: Связь, 1977. – 357с.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учебное пособие для приборостроит. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 622 с.
3. Прянишников В.А. Электроника: Полный курс лекций. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб: Учитель и ученик: КОРОНА - принт, 2003. – 416 с.
4. Фолкенберри Л.. Применение операционных усилителей и линейных интегральных схем. –М.:Мир, 1995.– 250 с.
5. Титце У., Шенк К.. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство/ Пер. с нем.– М.:Мир, 1982.– 512 с.
6. Мошиц Г., Хорн П.. Проектирование активных фильтров Пер. с англ.– М.:Мир, 1984. – 320 с.
7. Мамонкин И.Г. Усилительные устройства. – 2-е изд. – М.: Связь, 1977. – С. 310-346.
8. Масленников В.В., Сироткин А.П. Избирательные RC-усилители. – М.: Энергия, 1980. – 217 с.

**Кравец Андрей Владимирович
Шабанов Дмитрий Валерьевич
Шмбаева Елена Михайловна
Снежкова Людмила Александровна**

Исследование типовых схем включения операционных
усилителей
Методические указания к лабораторным работам
по курсу
Схемотехника аналоговых электронных устройств

Ответственный за выпуск
Редактор: Маныч Э.И.
Корректоры: Маныч Э.И.

ЛР № 020565 от 23 июня 1997 г.
Подписано к печати
Формат 60X84 1/16 . Бумага офсетная. Офсетная печать.
Усл. п.л. – 1,6. Уч.- изд. л. – 1,5.
Заказ № Тираж. 100 экз.
«С»

Издательство Технологического института
Южного федерального университета
ГСП 17 А, Таганрог, 28, Некрасовский, 44
Типография Технологического института
Южного федерального университета
ГСП 17 А, Таганрог, 28, Энгельса, 1