

$$R_{\text{вых}} = \left| \frac{U_{\text{вых1}} - U_{\text{вых2}}}{I_{\text{вых1}} - I_{\text{вых2}}} \right|$$

Сопротивление нагрузки R_n ($R_{n1} + R_{n2}$) в минимальном положении сопротивления $R_{n2} = 560$ Ом, в максимальном положении сопротивления $R_{n2} = 10560$ Ом.

Рассчитать входные и выходные значения сопротивлений усилителя с отрицательной обратной связью, без отрицательной обратной связи и с шунтирующим конденсатором, используя формулы (4.1) и (4.2.)

10. Сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Укажите назначение элементов усилителя.
2. Приведите амплитудную характеристику усилителя, как снять её экспериментально?
3. Укажите на амплитудной характеристике области активного усиления, насыщения.
4. Приведите амплитудно-частотную характеристику усилителя, как снять её экспериментально?
5. Приведите определение нелинейных искажений, как определить их появление экспериментально?
6. Как экспериментально измерить выходное сопротивление усилительного каскада?
7. Как влияет сопротивление нагрузки на K_i ?
8. Как экспериментально снять зависимость K_u , K_i от R_n ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИЗУЧЕНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Цель лабораторной работы: изучение свойств и характеристик неинвертирующего, инвертирующего и дифференциального усилителей.

Операционный усилитель (ОУ) – это высококачественный усилитель постоянного тока с большим коэффициентом усиления, выполненный по интегральной технологии и предназначенный для выполнения различных операций над аналоговыми сигналами при работе в схеме с отрицательной обратной связью (ООС).

Операционный усилитель является усилителем постоянного тока с высокой верхней граничной частотой, благодаря очень высокому коэффициенту усиления (десятки и сотни тысяч) и широкому диапазону усиливаемых частот за счёт введения различных обратных связей позволяет создавать усилительные каскады, реализующие множество функциональных преобразований. Традиционными областями применения операционных усилителей являются: аналоговая техника, аппаратура обработки сигналов, радиоизмерительная техника, также ОУ находят широкое применение для генерации электрических колебаний различной формы и частоты.

Параметры реальных ОУ отличаются от параметров идеального ОУ, следовательно их стремятся приблизить к параметрам идеального ОУ. Идеальный ОУ – это усилитель постоянного тока, имеющий:

- дифференциальный вход с усилением по напряжению дифференциального сигнала $K_u \rightarrow \infty$ и полным входным сопротивлением $Z_{вх}$ бесконечно большим на всех частотах;

- бесконечный коэффициент ослабления синфазных сигналов;

- нулевой дрейф, шум и сдвиг нуля;

- нулевые входные токи смещения и сдвига;

- нулевое выходное сопротивление;

- выходной сигнал напряжения, имеющий возможность одинаково изменяться в сторону, как положительного напряжения, так и отрицательного напряжения относительно потенциала точки покоя выхода.

На практике широко применяются инвертирующие и неинвертирующие сумматоры на ОУ. На рис. 5.1 представлена схема инвертирующего сумматора.

При использовании идеального ОУ можно считать, что сумма входных токов усилителя, вызванных напряжениями $U_{вх1}$, $U_{вх2}$, $U_{вх3}$ (рис. 5.1) равна току, протекающему по $R_{ос}$, то есть можно записать следующее выражение:

$$(U_{вх1}/R_1) + (U_{вх2}/R_2) + (U_{вх3}/R_3) = -U_{вых}/R_{ос}.$$

Используя вышеприведённое выражение, запишем следующую формулу:

$$U_{вых} = - \left(\frac{U_{вх1}}{R_{вх1}} + \frac{U_{вх2}}{R_{вх2}} + \frac{U_{вх3}}{R_{вх3}} \right) R_{ос}. \quad (5.1)$$

Для частного случая, когда $R_{вх1} = R_{вх2} = R_{вх3} = R_{вх}$:

$$U_{вых} = -(U_{вх1} + U_{вх2} + U_{вх3}) \frac{R_{ос}}{R_{вх}}.$$

При сравнении практических и теоретических значений коэффициентов усиления учитывать, что разброс значений входящих в схему сопротивлений составляет до 10%.

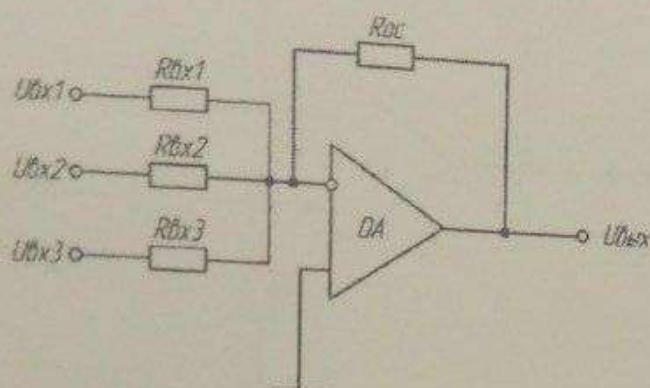


Рис. 5.1 Схема инвертирующего сумматора ($R_{вх} = 10 \text{ кОм}$, $R_{ос} = 10 \text{ кОм}$)

В схеме неинвертирующего усилителя (рис. 5.2) входной сигнал поступает на неинвертирующий вход ОУ, а на инвертирующий вход подаётся сигнал обратной связи. В неинвертирующем усилителе ОУ охвачен последовательный ООС по напряжению.

Поскольку $U_{вх}$ и сигнал ООС подаются на разные входы ОУ, то для идеального ОУ $U_{вх}$ определяется следующим выражением:

$$U_{вх} = U_{вых} (R1 / (R1 + R_{ос})) \quad (5.2)$$

Тогда коэффициент усиления неинвертирующего усилителя по напряжению определяется следующим выражением:

$$K_{н.инв} = 1 + R_{ос} / R1$$

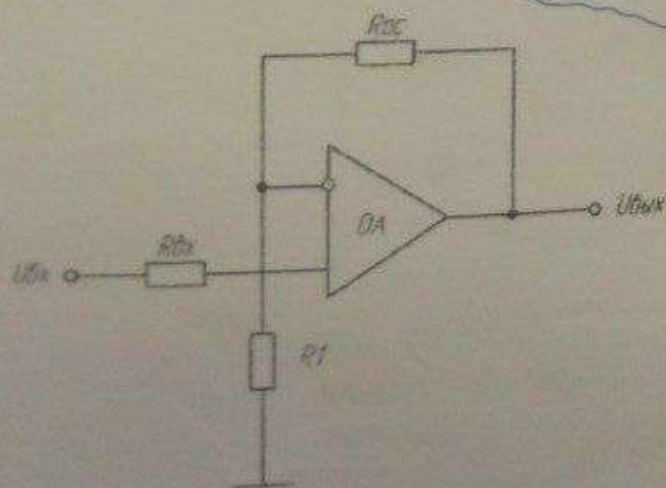


Рис. 5.2 Схема неинвертирующего усилителя ($R_{вх} = 10 \text{ кОм}$, $R1 = 5,6 \text{ кОм}$, $R_{ос} = 10 \text{ кОм}$)

Сравнивая $K_{и.неинв}$ и $K_{и.инв}$, можно записать следующую формулу:

$$K_{и.неинв} = 1 + K_{и.инв}.$$

Дифференциальный (разностный) усилитель (рис. 5.3) на ОУ можно рассматривать как совокупность инвертирующего и неинвертирующего вариантов. Входные сигналы подаются как на инвертирующий вход, так и на неинвертирующий.

Для $U_{вых}$ разностного усилителя запишем следующее выражение:

$$U_{вых} = K_{и.инв} U_{вх1} + K_{и.неинв} U_{вх2} R1 / (R_{вх2} + R1),$$

подставляя $K_{и.неинв}$ и $K_{и.инв}$ получаем

$$U_{вых} = -\frac{R_{ос}}{R_{вх1}} U_{вх1} + \left(1 + \frac{R_{ос}}{R_{вх1}}\right) U_{вх2} \frac{R1}{R_{вх2} + R1}. \quad (5.3)$$

Для частного случая, когда $R_{ос} = R1 = R_{вх1} = R_{вх2}$ запишем выражение:

$$U_{вых} = U_{вх2} - U_{вх1} \quad (5.4)$$

Из формулы (5.3) следует, что устройство может осуществлять вычитание двух напряжений с коэффициентом пропорциональности, равным единице. Недостатком разностного усилителя является сложность регулировки коэффициента усиления и разная величина входных сопротивлений. Эти недостатки устраняются в устройствах на нескольких ОУ, так как разностный усилитель можно рассматривать как сумму инвертирующего и неинвертирующего усилителей.

Дифференциальные усилители применяются, как правило, в тех случаях, когда нежелательные помехи наводятся на соединительных проводниках. Эта проблема часто возникает при наличии промышленных помех, когда чувствительные электронные измерительные приборы должны работать рядом с мощными электроаппаратами, от которых могут исходить значительные помехи.

Внешний вид модуля «Схемы на операционных усилителях» представлен на рис. 5.4.

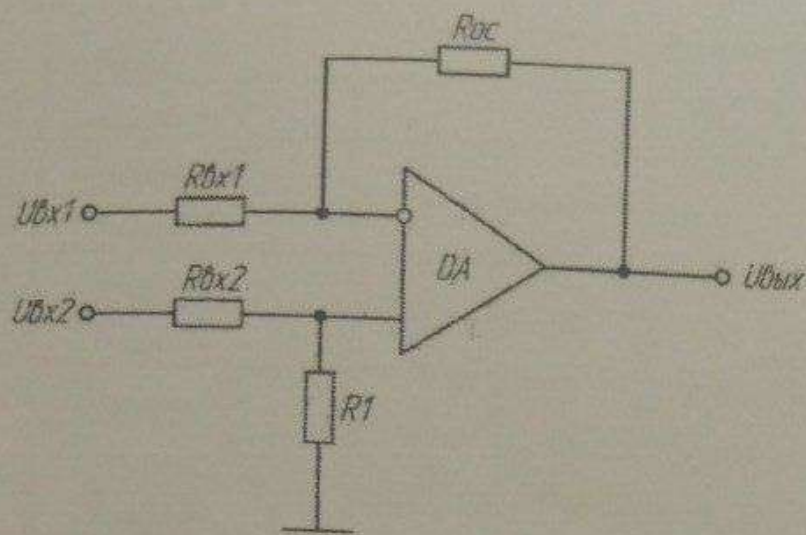


Рис. 5.3. Схема дифференциального усилителя
 $R_{0x1} = R_{0x2} = R_1 = R_{0c} = 10 \text{ кОм}$

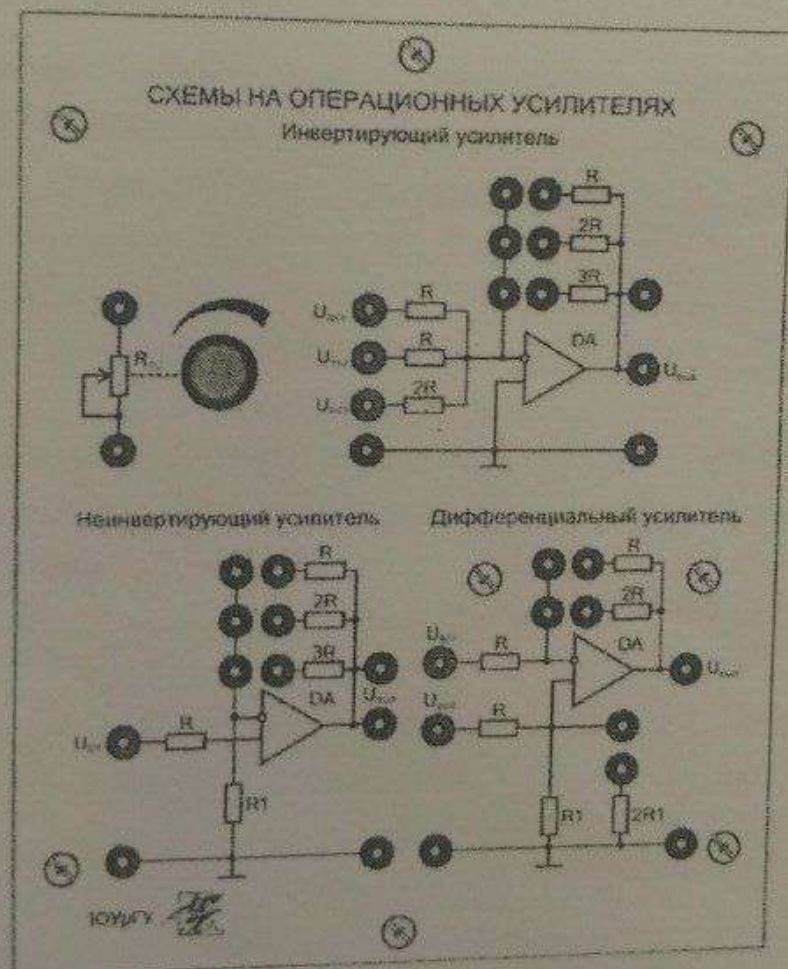


Рис. 5.4. Внешний вид передней панели лабораторного модуля «Схемы на операционных усилителях»

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучение характеристик инвертирующего усилителя

1.1. Рассчитать выходное напряжение $U_{\text{вых, расч}}$ инвертирующего усилителя при различных значениях входных напряжений $U_{\text{вх1}}$, $U_{\text{вх2}}$, $U_{\text{вх3}}$ (по указанию преподавателя) используя формулу (5.1), где $R_{\text{вх1}} = R_{\text{вх2}} = R_{\text{ос}} = R = 10 \text{ кОм}$, $R_{\text{вх3}} = 2R = 20 \text{ кОм}$. Результаты заносить в табл. 5.1.

1.2. Повторить расчеты по п. 1.1. при $R_{\text{ос}} = 2R$ и $R_{\text{ос}} = 3R$. Результаты заносить в табл. 5.1.

1.3. Согласно рис. 5.5 выполнить электрические соединения модулей для изучения инвертирующего усилителя. **Монтаж схемы производить при отключенном питании.**

1.4. Перевести мультиметр в режим измерения постоянного напряжения с пределом 20 В.

1.5. Задавая различные значения входных напряжений $U_{\text{вх1}}$, $U_{\text{вх2}}$, $U_{\text{вх3}}$ (в том числе значения $U_{\text{вх1}}$, $U_{\text{вх2}}$, $U_{\text{вх3}}$, используемые в расчетах по п. 1.1 – 1.2), измерять мультиметром выходное напряжение $U_{\text{вых, эксп}}$ для различных значений сопротивления обратной связи $R_{\text{ос}}$ (R , $2R$, $3R$). Результаты измерений заносить в табл. 5.1.

1.6. Провести анализ расхождений расчетных и экспериментальных данных (табл. 5.1), сделать вывод.

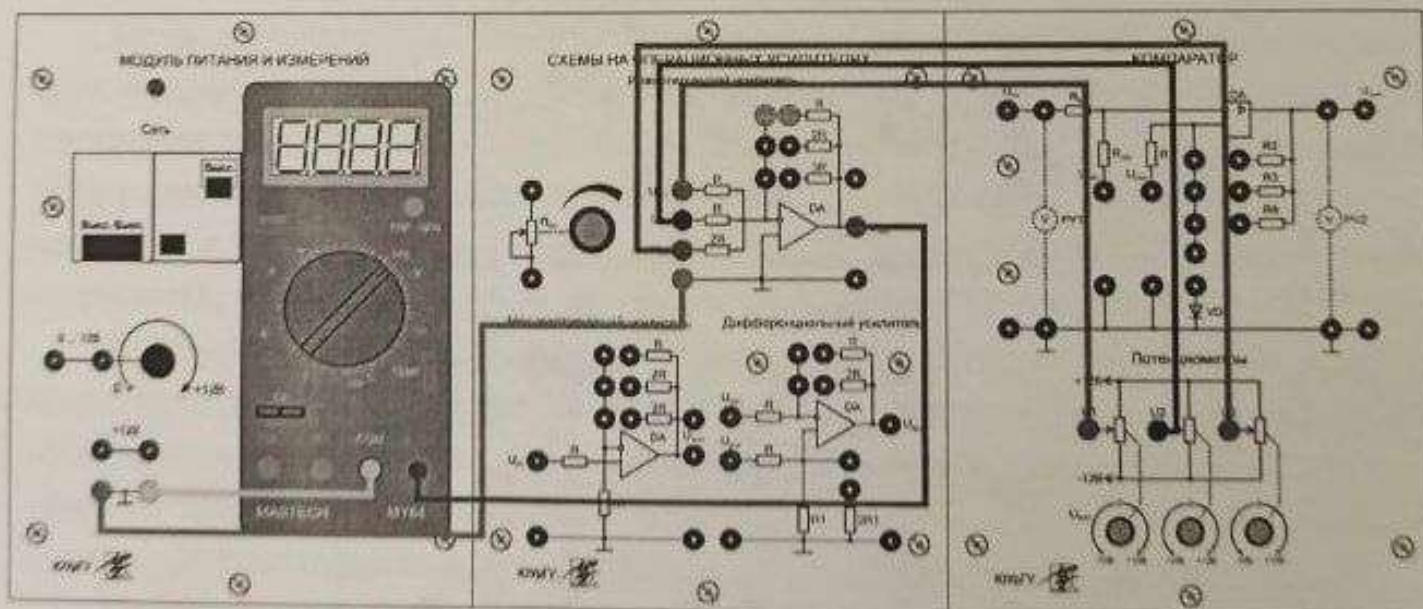


Рис. 5.5. Схема соединений лабораторных модулей для изучения инвертирующего усилителя

Таблица 5.1

[illegible]

2. Исследование характеристик неинвертирующего усилителя

2.1. Рассчитать выходное напряжение $U_{\text{вых.расч}}$ неинвертирующего усилителя при различных значениях входного напряжения $U_{\text{вх}}$ (по указанию преподавателя) используя формулу (5.2), где $R_{\text{вх}} = R_{\text{ос}} = R = 10 \text{ кОм}$, $R_1 = 5,6 \text{ кОм}$. Результаты заносить в табл. 5.2.

2.2. Повторить расчеты по п. 2.1. при $R_{oc} = 2R$ и $R_{oc} = 3R$. Результаты заносить в табл. 5.2.

2.3. Согласно рис.5.6 выполнить электрические соединения модулей для изучения неинвертирующего усилителя. Монтаж схемы производить при отключенном питании.

2.4. Перевести мультиметр в режим измерения постоянного напряжения с пределом 20 В.

2.5. Задавая различные значения входного напряжения $U_{вх}$ (в том числе значения $U_{вх}$, используемые в расчетах по п. 2.1 – 2.2), измерять мультиметром выходное напряжение $U_{вых\text{ эксп}}$ для различных значений сопротивления обратной связи $R_{ос}$ ($R, 2R, 3R$). Результаты измерений заносить в табл. 5.2.

2.6. Используя данные таблицы 5.1 построить амплитудные характеристики $U_{\text{вх}} = f(U_{\text{вых}})$ неинвертирующего усилителя на ОУ при различных сопротивлениях обратной связи $R_{\text{ос}}$ (R , $2R$, $3R$). Провести анализ расхождений расчетных и экспериментальных характеристик, сравнить tg угла наклона характеристик.

неинвертирующего входа $R1$ ($R1, R1||2R1$). Результаты измерений заносить в табл. 5.3.

3.6. Провести анализ расхождений расчетных и экспериментальных данных (табл. 5.3), сделать вывод.

4. Сделать обобщающий вывод по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Приведите определение операционного усилителя.
2. Приведите определение амплитудной характеристики операционного усилителя.
3. Какие каскады используются в схемотехнике операционного усилителя?
4. Приведите схему инвертирующего операционного усилителя. Запишите связь между входным и выходным напряжениями.
5. В чем разница между инвертирующим и неинвертирующим входом операционного усилителя?
6. Приведите схему неинвертирующего операционного усилителя. Запишите связь между входным и выходным напряжениями.
7. Приведите определение коэффициента ослабления синфазного сигнала.
8. Приведите схему включения операционного усилителя в режиме дифференциального усилителя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЛЬТРОВ

Цель лабораторной работы: Изучение принципов построения, свойств и характеристик активных фильтров.

Активные RC фильтры предназначены для выделения из спектра сигнала области частот и передачи этих частот с выхода на вход. Все частоты, лежащие вне полосы пропускания, должны быть подавлены.

При использовании в качестве элемента схемы операционного усилителя (ОУ) можно синтезировать характеристику любого RLC – фильтра без применения катушек индуктивности. Такие безиндуктивные фильтры известны под названием «активные фильтры» из-за наличия в структурной схеме активного элемента (усилителя).

Активные фильтры можно использовать для реализации фильтров нижних и верхних частот, полосовых фильтров, выбирая тип фильтра в зависимости от наиболее важных свойств, таких, как максимальная равномерность усиления в