

**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**

Руководство к лабораторной работе

Исследование схем

на операционном усилителе

по курсу

Введение в микросхемотехнику

радиоэлектронных устройств

Для студентов всех форм обучения



Ростов-на-Дону

Издательство Южного федерального университета

2015

УДК 621.375.147(076.5)

Кравец А.В., Шибаета Е.М. Руководство к лабораторной работе «Исследование схем на операционном усилителе» по курсу «Введение в микросхемотехнику радиоэлектронных устройств». – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 32 с.

В данной работе изложены краткие описания лабораторных работ и краткие сведения о программном обеспечении. Приведены домашние и лабораторные задания, методические указания по выполнению лабораторных заданий.

Соответствует программе курса «Введение в микросхемотехнику радиоэлектронных устройств» для студентов всех форм обучения по направлению «Радиотехника».

Табл. 13. Ил. 18. Библиогр.: 8 назв.

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

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципов работы функциональных узлов на операционном усилителе и определение их основных параметров.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Общие сведения

Операционный усилитель (ОУ) – это электронный усилитель, предназначенный для различных операций над аналоговыми величинами в схемах с отрицательной обратной связью (ООС). Чаще под ОУ понимают усилитель постоянного тока (УПТ) с дифференциальным входом, *большим* коэффициентом усиления K_0 , *малыми* входными токами $I_{вх}$, *большим* входным сопротивлением $R_{вх}$, *малым* выходным сопротивлением $R_{вых}$, достаточно *большой* граничной частотой усиления $f_{гр}$, *малым* смещением нуля $U_{см}$. Под *большими* и *малыми* понимаются такие величины, которые в простых расчетах можно считать соответственно бесконечными или нулевыми (идеальный ОУ).

Для идеального ОУ:

$$\begin{array}{lll} K_0 = \infty; & I_{вх} = 0; & R_{вх} = \infty; \\ R_{вых} = 0; & f_{гр} = \infty; & U_{см} = 0. \end{array}$$

Основное назначение операционного усилителя – построение схем с точно синтезированной передаточной функцией, которая зависит практически только от свойств цепи обратной связи (ОС). На основе ОУ создаются прецизионные масштабирующие усилители, генераторы функций, стабилизаторы напряжения и тока, активные фильтры, логарифмирующие и потенцирующие усилители, интеграторы и дифференциаторы и т.д.

Независимо от сложности внутреннего устройства первый каскад состоит из дифференциального усилителя (ДУ), который определяет входные свойства ОУ. Второй каскад служит для усиления и согласования по сопротивлению входного и выходного каскадов. Оконечный (выходной) каскад служит для согласования большого выходного сопротивления усилительных каскадов с низкоомной нагрузкой, т.е. позволяет получить малое выходное сопротивление.

Операционные усилители обычно питаются от симметричных источников, обеспечивающих одинаковые по величине положительное и отрицательное напряжение $+U_{\text{п}}$, $-U_{\text{п}}$ относительно нулевого провода ("земли"). Для большинства современных ОУ напряжение питания можно менять в достаточно широких пределах от ± 3 до ± 18 В.

Выходное напряжение ОУ связано со входным дифференциальным сигналом простым выражением

$$U_{\text{вых}} = K_0(U_{\text{вх+}} - U_{\text{вх-}}), \quad (1)$$

где K_0 – коэффициент усиления без обратной связи. Величина K_0 для разных типов ОУ изменяется в диапазоне $10^3 - 10^7$.

Вследствие большого коэффициента усиления ОУ является высокочувствительным элементом, усиливающим как малые полезные сигналы, так и собственные шумы и внешние наводки. Несимметрия внутренних элементов, нестабильность параметров приводит к тому, что без отрицательной обратной связи ОУ просто непригоден для работы в линейном режиме, так как напряжение $U_{\text{вых}}$ под влиянием шумов, наводок, температурных уходов будет принимать значения, близкие к напряжению источников питания (режим насыщения выходного каскада). Основной причиной, по которой K_0 делают большим, является обеспечение высокой стабильности параметров при глубокой ООС.

2.2. Основные параметры операционных усилителей

Коэффициент усиления ОУ (K_0) равен отношению приращения выходного напряжения (тока) к вызвавшему это приращение входному сигналу (току) при отсутствии ОС.

Входное сопротивление ($R_{вх}$) определяется как отношение $\Delta U_{вх}/\Delta I_{вх}$ при заданной частоте сигнала. Необходимо помнить, что входное сопротивление ОУ и входное сопротивление схемы – это два разных понятия, величина их может отличаться на несколько порядков. Типовые значения $R_{вх}$ на низких частотах для ОУ с биполярными входами – 10^4 – 10^8 Ом, для ОУ с полевыми входами – 10^7 – 10^{12} Ом.

Выходное сопротивление $R_{вых}$ – это внутреннее выходное сопротивление ОУ, которое можно определить как отношение $U_{хх}/I_{кз}$ (напряжение холостого хода / ток короткого замыкания), составляющее для разных ОУ величину порядка десятков – сотен Ом. Типовое значение $R_{вых}$ для ОУ широкого применения 100–1000 Ом.

Входной ток смещения ($I_{вх}$) – ток, протекающий во входную цепь ОУ, необходимый для нормальной работы входных биполярных транзисторов (для полевых – ток утечки затвора). Под $I_{вх}$ подразумевают среднее арифметическое двух токов $I_{вх+}$ и $I_{вх-}$. Для разных типов ОУ входной ток смещения изменяется в широких пределах: для биполярных входных транзисторов – 10^{-5} – 10^{-8} А, для полевых – 10^{-9} – 10^{-12} А. В справочных данных обычно приводятся сильно завышенные значения $I_{вх}$.

Разность входных токов (ток сдвига) $\Delta I_{вх} = |I_{вх+} - I_{вх-}|$ определяется при заданном значении входного напряжения. Разность $\Delta I_{вх}$ вызывает на выходе ОУ некоторое смещение (приведенное ко входу оно составляет величину 1–5 мВ и зависит от величины резисторов, подключаемых ко входам).

Напряжение смещения ($U_{см}$) определяется как разность напряжений на входах, при котором $U_{вых} = 0$ при

оговоренных сопротивлений резисторов, подключаемых ко входам.

Для того чтобы при подаче равного напряжения на оба входа усилителя выходное напряжение было близко к нулю, ОУ необходимо сбалансировать. Балансировка ОУ обычно достигается подачей дополнительного тока в цепь коллекторов входного ДУ с помощью переменного резистора, подключаемого к специальным выводам ($R_{\text{бал}}$ на рис. 1). Некоторые типы ОУ таких выводов не имеют и балансируются по входу (140УД5).

Частота единичного усиления (f_1) – это частота, на которой $|K_0(f_1)| = 1$.

Характерная зависимость коэффициента усиления от частоты приведена на рис. 1, где ЛАХ пересекает уровень 0 дБ в точках f_1 .

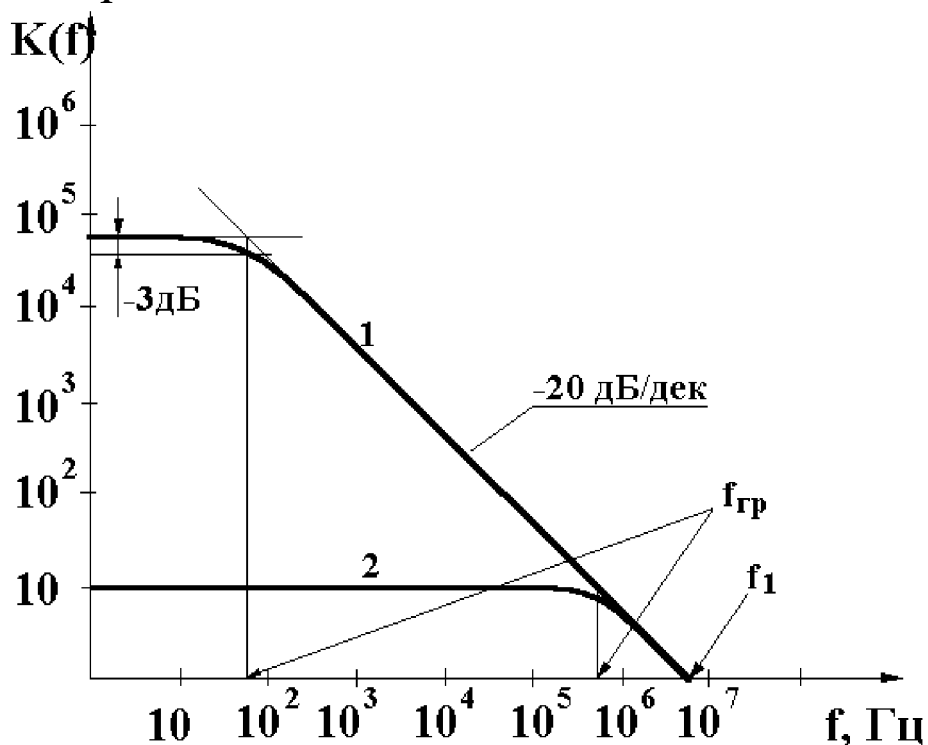


Рис. 1. Аппроксимированная логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ)

Граничная частота ($f_{гр}$) определяется как частота, на которой коэффициент усиления уменьшается на 3 децибела: $|K(f_{гр})| = 0,707|K(0)|$. Область частот $0 - f_{гр}$ называют полосой

пропускания. Введение ООС *расширяет* полосу пропускания (график 2 на рис. 1).

Скорость нарастания выходного напряжения определяется как $dU_{\text{вых}}/dt$ при воздействии импульса большой амплитуды. Измеряется в В/мкс. Для разных ОУ меняется в пределах от 0,1 (прецизионные ОУ) до 100 В/мкс (быстродействующие ОУ). Этот параметр становится важным, если ОУ используется в качестве компаратора (различителя) уровней сигналов в быстродействующих схемах.

Коэффициент ослабления синфазного сигнала равен отношению синфазного входного напряжения к дифференциальному, вызывающих одно и то же $U_{\text{вых}}$. Измеряется в децибелах. Для разных ОУ изменяется в пределах от 50 (140УД5А) до 120 дБ (140УД24).

Максимальный выходной ток ($I_{\text{вых.мах}}$). Для ОУ, имеющих внутреннюю защиту от короткого замыкания по выходу, это выходной ток короткого замыкания в режиме ограничения; для ОУ без защиты от КЗ – предельный выходной ток, который нельзя превышать. Для разных ОУ изменяется в диапазоне 1– 400 мА.

Существуют также другие параметры, характеризующие ток потребления, шумовые, температурные, частотные, фазовые, временные и другие свойства ОУ. В конкретных применениях любой из этих параметров может стать самым важным и определяющим выбор типа ОУ.

2.3. Схемы включения операционных усилителей

Как уже упоминалось выше, нормальная работа ОУ в линейном режиме возможна только в схемах с глубокой ООС. Для понимания работы таких схем полезно ввести понятие **виртуального, или мнимого, заземления.**

Инвертирующий усилитель

Рассмотрим схему на рис. 2.

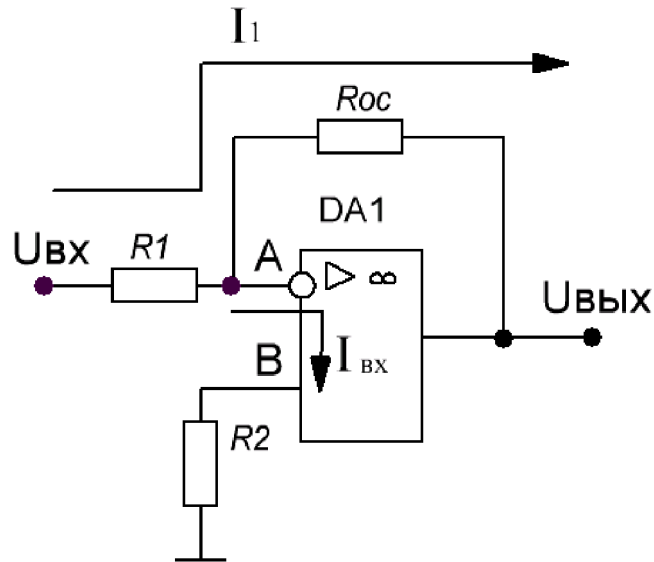


Рис. 2. Инвертирующий усилитель

Потенциал на неинвертирующем входе $U_B = 0$. Так как ОУ находится в линейном режиме, из (1) следует:

$$U_B - U_A = U_{\text{вых}}/K_0.$$

Например, при $U_{\text{вых}} \sim 5 \text{ В}$, $K_0 \sim 2 \cdot 10^5$ получаем $U_A \sim 25 \text{ мкВ}$. Такое малое напряжение (оно сравнимо с величиной термоЭДС при $\Delta T \sim 1^\circ\text{C}$) даже невозможно измерить обычным цифровым вольтметром. Отсюда следует, что потенциалы на входах ОУ можно с хорошей точностью считать равными. Если один из входов ОУ заземлить, на втором входе будет также поддерживаться нулевой потенциал, **хотя напрямую входы ОУ гальванически не связаны**. Этот эффект называется *виртуальным*, или *мнимым*, заземлением.

Таким образом, из $U_B = 0$ следует $U_A = 0$,

$$U_{\text{вх}} - U_A = U_{\text{вх}} \text{ (падение напряжения на } R_1);$$

$$U_{\text{вых}} - U_A = U_{\text{вых}} \text{ (падение напряжения на } R_{\text{oc}}).$$

Поскольку входной ток ОУ очень мал ($I_{\text{вх}} \ll I_1$), им можно пренебречь, тогда получим:

$$I_1 = U_{ВХ}/R_1 = -U_{ВЫХ}/R_{ОС}.$$

Это означает, что для инвертирующего усилителя

$$K_U = -\frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = -\frac{R_{ОС}}{R_1}.$$

Для минимизации влияния токов смещения неинвертирующий вход заземляется через резистор, равный параллельному соединению всех резисторов, подключенных к инвертирующему входу ОУ:

$$R_2 = R_1 || R_{ОС}.$$

Входное сопротивление этой схемы равно $R_{ВХ.ОС} = R_1$, так как $U_A = 0$ (мнимое заземление).

Выходное сопротивление $R_{ВЫХ.ОС} \approx 0$, так как

$$R_{ВЫХ.ОС} = \frac{R_{ВЫХ}}{1 + K_{Uoy} \cdot \gamma} \rightarrow 0,$$

где

$$\gamma = \frac{R_1}{R_{ОС}}. \quad (2)$$

При $R_{ВЫХ} = 200 \text{ Ом}$, $K_0 = 2 \cdot 10^5$, $\gamma = 0,1$ $R_{ВЫХ.ОС} = 10^{-2} \text{ Ом}$ – сопротивление обычного медного провода диаметром 0,3 мм и длиной всего 5 см!

При заданной ЭДС источника сигнала E_r с внутренним сопротивлением R_r формула примет вид

$$K_U = -\frac{U_{ВЫХ}}{E_r} = -\frac{R_{ОС}}{R_1 + R_r}.$$

Ток выходной цепи ОУ, протекающий через резисторы R_H и $R_{ОС}$, включенные параллельно для приращений тока, равен

$$I_{ВЫХ} = I_H + I_{ОС} = \frac{U_{ВЫХ}}{R_H} + \frac{U_{ВЫХ}}{R_{ОС}}.$$

Значение выходного тока большинства типов ОУ не должно превышать нескольких миллиампер.

Неинвертирующий усилитель

Неинвертирующий усилитель можно получить, подавая сигнал на неинвертирующий вход, а цепь ООС – на инвертирующий, как показано на рис. 3.

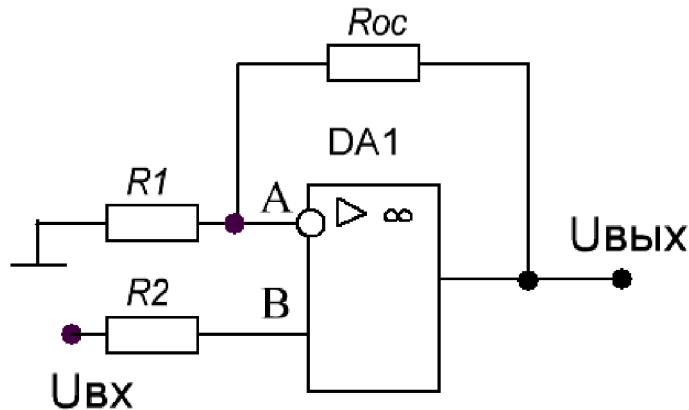


Рис. 3. Неинвертирующий усилитель

Напряжение ОС снимается с делителя:

$$U_A = U_{\text{ВЫХ}} \cdot R_1 / (R_1 + R_{\text{ОС}}).$$

Так как $U_A = U_{\text{ВХ}}$, то коэффициент усиления равен

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{K_{\text{УОУ}}}{1 + K_{\text{УОУ}} \cdot \gamma} \approx \frac{1}{\gamma} = \frac{R_1 + R_{\text{ОС}}}{R_1} = 1 + \frac{R_{\text{ОС}}}{R_1}.$$

Входное сопротивление схемы

$$R_{\text{ВХ.ОС}} = R_{\text{ВХ}}(1 + \gamma K_U),$$

где $\gamma = \frac{R_1}{R_{\text{ОС}} + R_1}$,

как всегда при последовательной ООС входное сопротивление увеличивается.

Выходное сопротивление

$$R_{\text{ВЫХ.ОС}} \approx 0,$$

так как $R_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_{\text{ВЫХ.оу}}}{1 + K_{\text{Уоу}} \cdot \gamma} \rightarrow 0.$

Повторитель

Если в схеме на рис. 6 принять $R_1 = \infty$ и $R_{OC}=0$, то $K_{OC} = 1$ и $U_{ВЫХ} = U_{ВХ}$, т. е. имеем повторитель с коэффициентом передачи, равным единице (рис. 4).

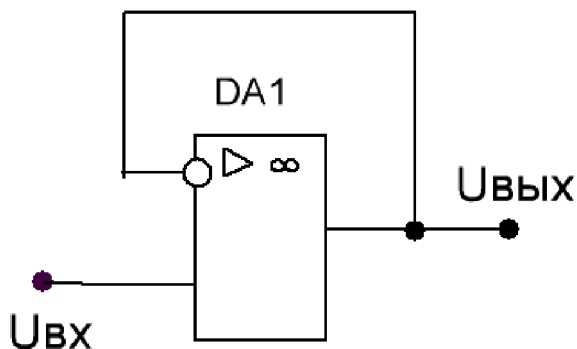


Рис. 4. Схема повторителя на ОУ

Для схемы повторителя с коэффициентом усиления $K_{OC} = 1$ глубина обратной связи $F = K_{OY}$ и выражения для выходного и входного сопротивлений запишутся в виде

$$R_{вх\ повт} = R_{вх\ ОУ} (1 + K_{OY}),$$

$$R_{вых\ повт} = \frac{R_{вых\ ОУ}}{1 + K_{OY}}.$$

Входное сопротивление повторителя получается чрезвычайно высоким ($\sim 10^{12}$ Ом), однако практически столь высокие значения $R_{ВХ}$ не достигаются из-за влияния шунтирующего действия утечек и синфазного входного сопротивления ОУ (сопротивления между входами ОУ и землей).

Разностный усилитель

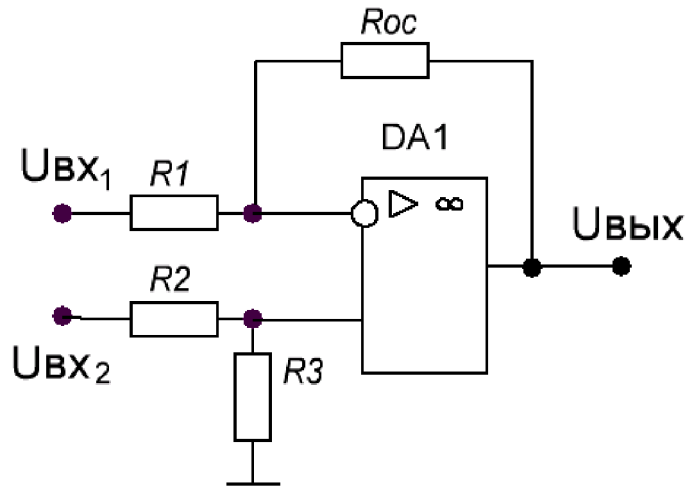


Рис. 5. Схема разностного усилителя

Разностный усилитель (рис. 5) усиливает разность сигналов, приложенных ко входам ОУ. Зная коэффициенты усиления по инвертирующему и неинвертирующему входам, можно получить выражение для выходного напряжения разностного усилителя, используя метод суперпозиции:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{вых}} &= -K_{\text{инв}} U_{\text{вх1}} + K_{\text{неинвер}} U_{\text{вх2}} \frac{R_3}{R_3 + R_2} = \\
 &= \frac{-R_{oc}}{R_1} U_{\text{вх1}} + \frac{R_1 + R_{oc}}{R_1} \frac{R_3}{R_3 + R_2} U_{\text{вх2}}.
 \end{aligned}$$

Если

$$R_2 = R_1, \quad R_3 = R_{oc}, \quad R_3 / R_2 = R_{oc} / R_1 = m,$$

то

$$U_{\text{вых}} = -mU_{\text{вх1}} + U_{\text{вх2}} \frac{(m+1)m}{m+1} = m(U_{\text{вх2}} - U_{\text{вх1}}).$$

В разностном усилителе помехи, попадающие или возникающие на его входах, оказываются синфазными сигналами и не усиливаются, так как схема усиливает только разностный

сигнал. Для хорошего подавления синфазных сигналов требуется точный подбор резисторов R_1 , R_2 , R_3 и R_{oc} . Способность усиливать полезный сигнал на фоне сильных синфазных помех позволяет применять разностный усилитель в различных измерительных схемах.

Недостатком разностного усилителя (рис. 8) является различное входное сопротивление по инвертирующему и неинвертирующему входам, а также трудность регулирования его коэффициента усиления (требуется одновременное изменение двух точно подобранных резисторов).

Для устранения различия и увеличения входных сопротивлений применяется схема разностного усилителя, изображенная на рис. 6.

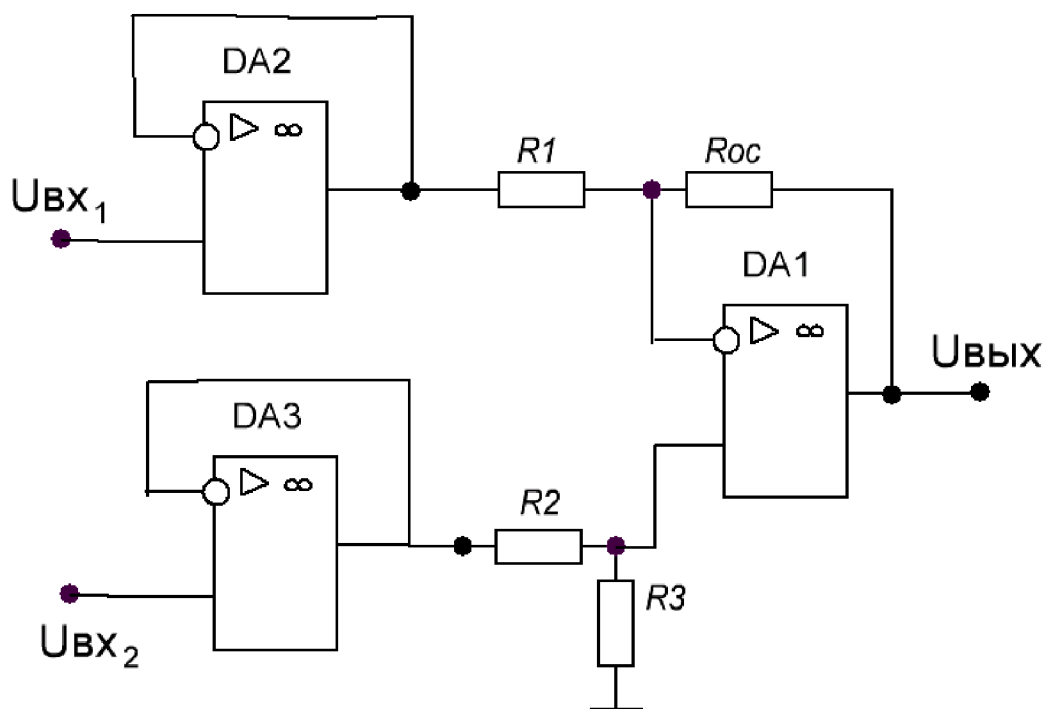


Рис. 6. Разностный усилитель с повторителями

Здесь на обоих входах усилителя включены повторители на ОУ, обеспечивающие равное и высокое входное сопротивление схемы.

Сумматоры

Инвертирующий сумматор

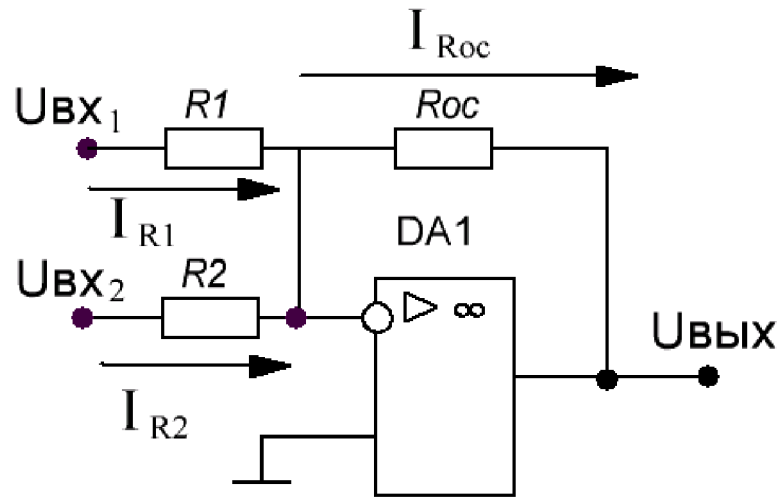


Рис. 7. Инвертирующий сумматор на ОУ

Благодаря малому потенциалу ОУ на инвертирующем входе его можно использовать в качестве суммирующего усилителя (рис. 7). Из данного рисунка видно, что здесь каждый из входов ОУ оказывается разделенным друг от друга низким потенциалом ОУ на инвертирующем входе. Ток в каждом из резисторов на входе определяется только приложенным к нему напряжением и не зависит от тока в других резисторах:

$$I_{Roc} = I_{вх1} + I_{вх2} ,$$

учитывая

$$I_{вх1} = \frac{U_{вх1}}{R_1} , \quad I_{вх2} = \frac{U_{вх2}}{R_2} , \quad I_{Roc} = \frac{U_{вых}}{R_{oc}} .$$

Поэтому входные сигналы независимо друг от друга вызывают на выходе появление напряжения, величина которого пропорциональна отношению R_{oc}/R . При одновременном действии нескольких сигналов на входе

$$U_{\text{вых}} = - \left(U_1 \frac{R_{oc}}{R_1} + U_2 \frac{R_{oc}}{R_2} + \dots + U_n \frac{R_{oc}}{R_n} \right),$$

где $\frac{R_{oc}}{R_1}$; $\frac{R_{oc}}{R_2}$ – коэффициенты суммирования (усиления).

Если $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$, то

$$U_{\text{вых}} = - \left(\frac{R_{oc}}{R} \right) (U_1 + U_2 + \dots + U_n),$$

где $\alpha = R_{oc} / R$ имеет смысл коэффициента передачи.

При $R_{oc} = R$ напряжение будет равно

$$U_{\text{вых}} = -(U_1 + U_2 + \dots + U_n).$$

Неинвертирующий сумматор

В ряде случаев необходимо произвести простое суммирование, при котором выходное напряжение равно сумме входных напряжений без инверсии. Пусть надо получить $U_{\text{вых}} = U_1 + U_2$. Очевидно, что в этом случае сигналы необходимо подать на прямой вход и сохранить условие баланса коэффициентов (рис. 8).

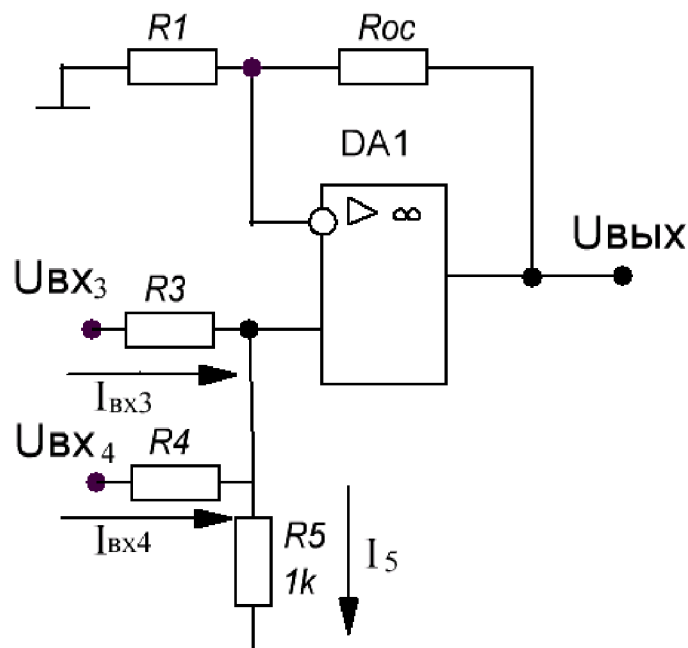


Рис. 8. Неинвертирующий сумматор на ОУ

Условия баланса коэффициентов:

$$\frac{R_{oc}}{R_1} = \frac{R_5}{R_3} = \frac{R_5}{R_4} = \dots = \frac{R_5}{R_n},$$

$$R_5 = R_3 = R_4 = \dots = R_n,$$

причем $R'_{oc} = R'_1 = R'_2$. Коэффициент передачи по инвертирующему входу должен быть равен 2.

Выберем $R_1 = R_{oc}/n = R_{oc}/2$.

Тогда схема будет выглядеть, как показано на рис. 11.

Можно осуществить суммирование с весовыми коэффициентами, т.е. получить, например, $U_{вых} = U_1 + 2U_2$ и т.д. При этом необходимо соблюсти условие баланса коэффициентов, как указывалось выше.

Рассмотрим в качестве примера универсальную схему вычитания (рис. 9), предназначенную одновременно для суммирования и вычитания любого числа входных напряжений.

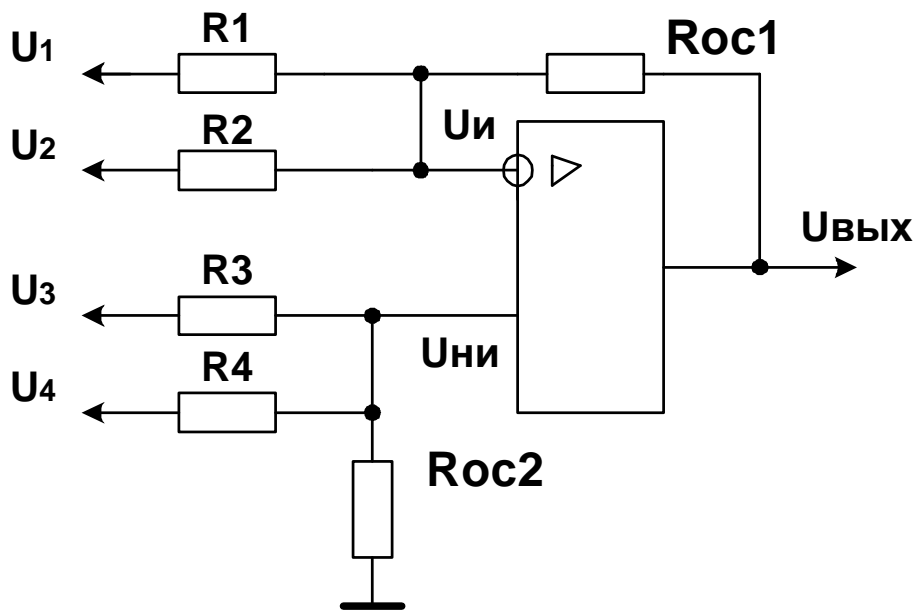


Рис. 9. Схема сложения-вычитания на ОУ

Составим уравнения суммирования токов, потребляемых от четырех источников при условии:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_{oc1} = R_{oc2} = R;$$

$$\frac{U_1 - U_u}{R} + \frac{U_2 - U_u}{R} = \frac{U_u - U_{вых}}{R};$$

$$\frac{U_3 - U_{ни}}{R} + \frac{U_4 - U_{ни}}{R} = \frac{U_{ни}}{R}.$$

Так как $U_{II} = U_{НИ}$, после преобразований уравнений получим:

$$U_1 + U_2 - 3U_{II} = -U_{вых},$$

$$U_3 + U_4 - 3U_{НИ} = 0.$$

Отсюда получаем

$$U_3 + U_4 - U_1 - U_2 = U_{вых}.$$

В общем случае для правильной работы этой схемы необходимо выполнение следующих условий: сумма коэффициентов усиления инвертирующей части схемы должна быть равна сумме коэффициентов усиления ее неинвертирующей части. Иными словами, должно быть выполнено следующее равенство:

$$R_{oc}/R_1 + R_{oc}/R_2 + \dots + R_{oc}/R_m = R'_{oc}/R'_1 + R'_{oc}/R'_2 + \dots + R'_{oc}/R'_n,$$

где m – число инвертирующих входов, n – число неинвертирующих входов.

В рассмотренной выше схеме данное условие выполняется. Может возникнуть вопрос, как обеспечить выполнение данного условия (условия баланса) в схеме, которая проектируется заново? Оказывается, что схему можно сделать балансной, добавив к ней дополнительный вход, на который подается нулевой потенциал. Этот вход добавляется к той половине усилителя, суммарный коэффициент которого меньше.

3. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Внимательно изучить данное методическое руководство к лабораторной работе.
2. Изучить по предлагаемым в конце методического руководства литературным источникам принципиальные схемы каскадов на ОУ, основные характеристики, их назначения, достоинства и недостатки.
3. Ознакомиться с программой Micro Cap 10 и методикой определения основных качественных показателей каскадов, изучить лабораторное задание и методику выполнения лабораторной работы.
4. Рассчитать входные и выходные сопротивления схем и их коэффициенты усиления по напряжению (для схем со многими входами, произвести расчеты по каждому входу).
5. Подготовить ответы на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях.

4. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

Ознакомиться с программой Micro Cap 10 для исследования схем на операционном усилителе.

1. Собрать схему инвертирующего усилителя на ОУ.

2. Снять амплитудную характеристику для инвертирующей схемы, определить коэффициент усиления по напряжению на линейном участке, зарисовать осциллограммы. Повторить для других схем. Сравнить полученные результаты.

3. Определить верхнюю и нижнюю граничную частоту, рассчитать полосу пропускания для инвертирующей схемы. Повторить для других схем. Сравнить полученные результаты.

4. Определить входное сопротивление инвертирующей схемы. Повторить для других схем. Сравнить полученные результаты.

5. Измерить выходное сопротивление инвертирующей схемы. Повторить для других схем. Сравнить полученные результаты.

6. Исследовать разностную схему.

7. Исследовать схемы сумматоров.

8. Проанализировать результаты экспериментов и сделать заключение.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАДАНИЯ

1.Собрать схему инвертирующего усилителя на ОУ (рис. 10).

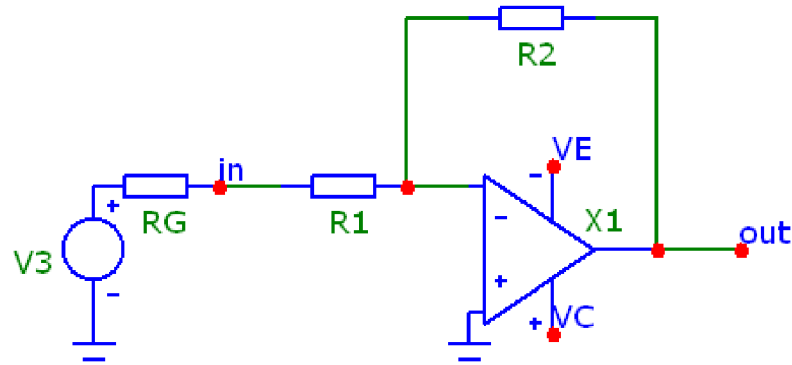


Рис. 10. Схема инвертирующего усилителя на ОУ

Выбрать параметры схемы из табл. 1 согласно варианту.

Таблица 1

	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6
RG	100	50	1k	2k	500	300
R1	1k	2k	3k	4k	5k	6k
R2	22k	40k	34k	45k	10k	110k
Тип ОУ	LF155	LF351	LM207	LM709	NE5532	LM709A

Провести временной анализ схемы (рис. 11).

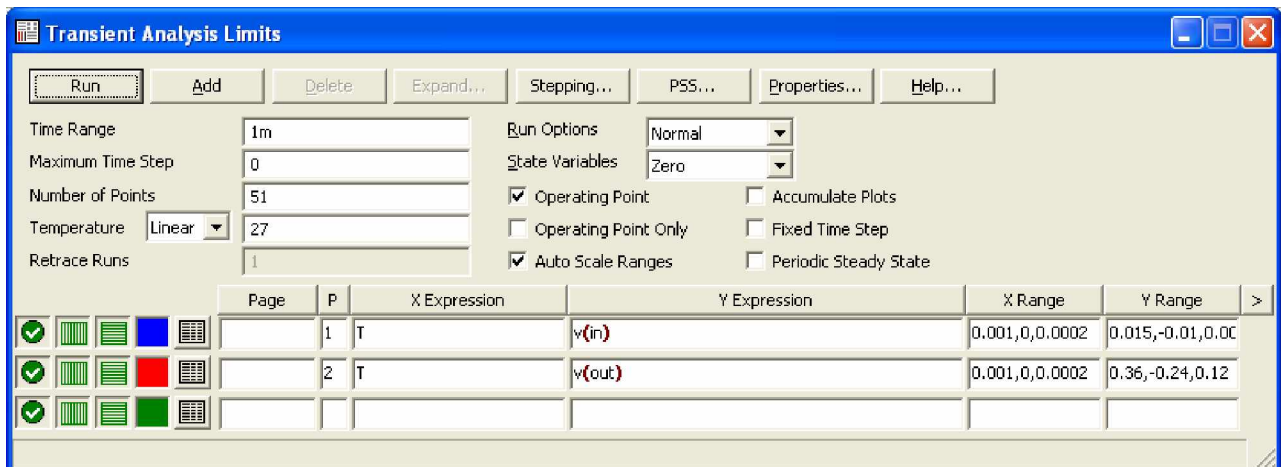


Рис. 11. Окно задания параметров временного анализа

Провести частотный анализ схемы (рис. 12).

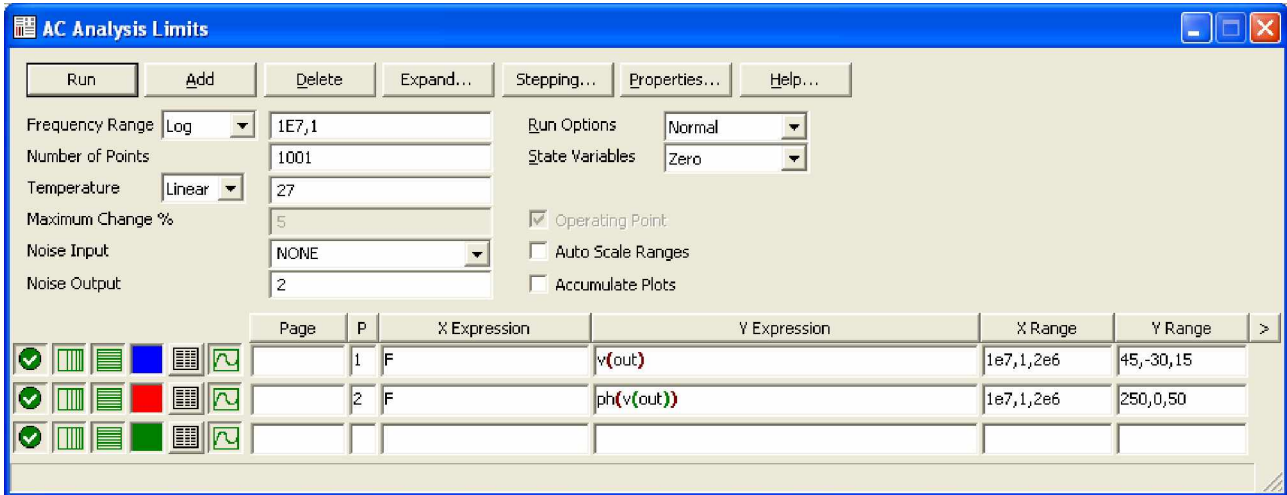


Рис. 12. Окно задания параметров частотного анализа

Повторить для двух других типов ОУ следующих двух вариантов, измерить полосы пропускания.

Определить коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление схемы в режиме анализа передаточной функции (рис. 13).

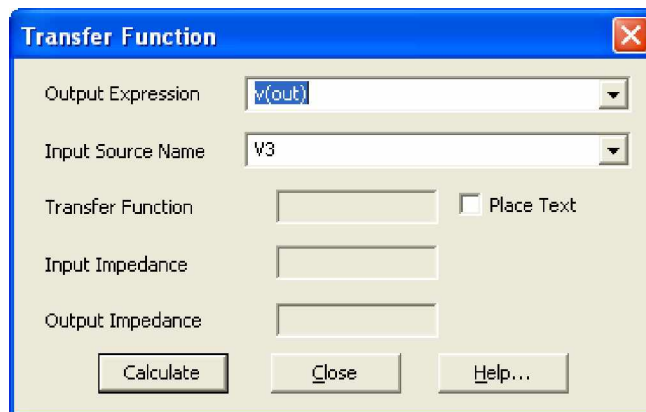


Рис. 13. Окно задания параметров анализа передаточной функции

Сравнить полученные результаты с расчетными, заполнить табл. 2

Таблица 2

	R_{BX}	$R_{ВЫХ}$	K_U
Расчетные данные			
Экспериментальные данные			

2. Собрать схему неинвертирующего усилителя на ОУ (рис. 14).

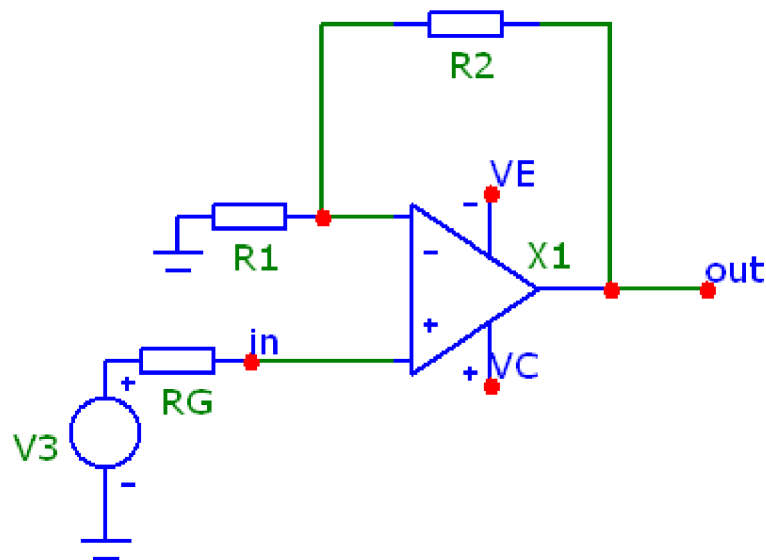


Рис. 14. Схема неинвертирующего усилителя на ОУ

Выбрать параметры схемы из табл. 1 согласно варианту.

Провести временной анализ схемы (аналогично п. 1).

Провести частотный анализ схемы (аналогично п. 1).

Повторить для двух других типов ОУ следующих двух вариантов, измерить полосы пропускания.

Определить коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление схемы (аналогично п. 1).

Сравнить полученные результаты с расчетными, заполнить табл. 3.

Таблица 3

	$R_{вх}$	$R_{вых}$	K_U
Расчетные данные			
Экспериментальные данные			

3. Собрать схему повторителя на ОУ (рис. 15).

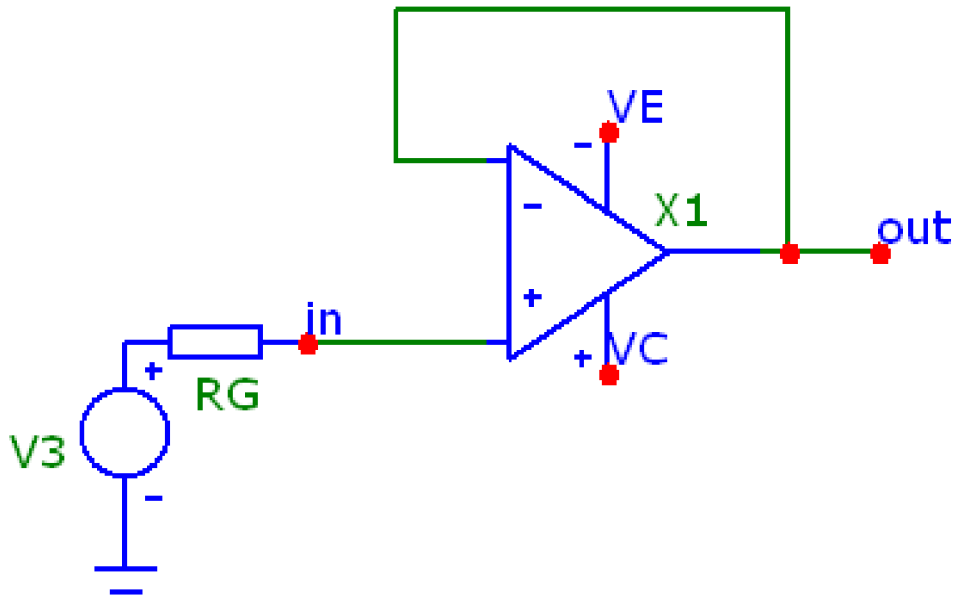


Рис. 15. Схема повторителя на ОУ

Провести временной анализ схемы (аналогично п. 1).

Провести частотный анализ схемы (аналогично п. 1).

Повторить для двух других типов ОУ следующих двух вариантов, измерить полосы пропускания.

Определить коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление схемы (аналогично п. 1).

Сравнить полученные результаты с расчетными, заполнить табл. 4.

Таблица 4

	$R_{вх}$	$R_{вых}$	K_U
Расчетные данные			
Экспериментальные данные			

4. Собрать схему разностного усилителя на ОУ (рис. 16).

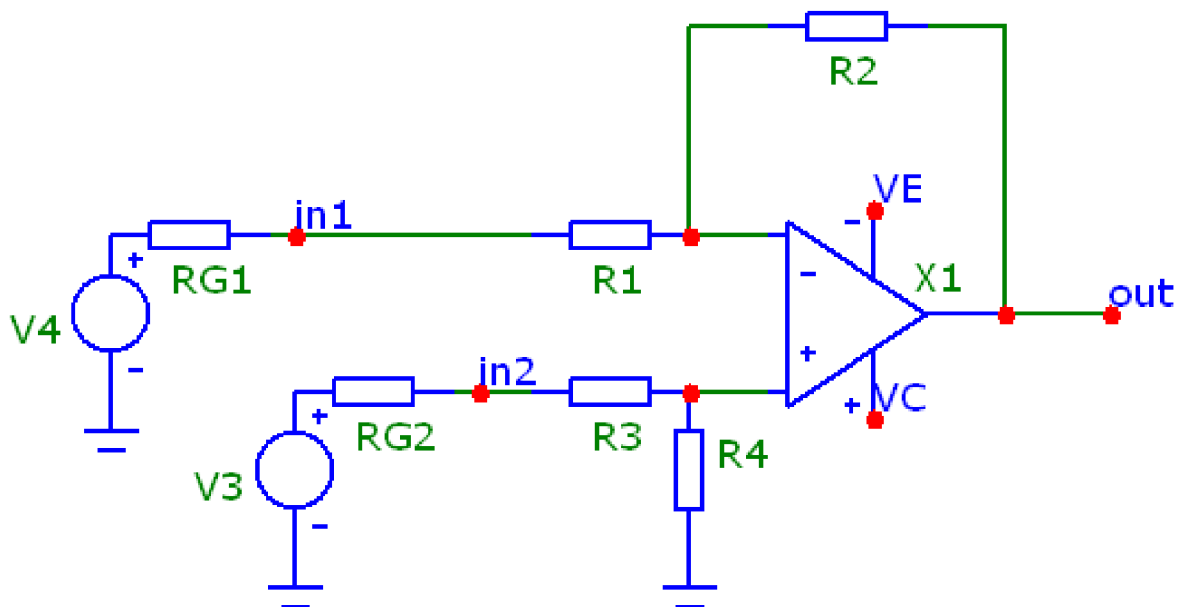


Рис. 16. Схема разностного усилителя на ОУ

Выбрать параметры схемы из табл. 5 согласно варианту.

Таблица 5

	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6
RG1	100	50	1k	2k	500	300
RG2	50	60	500	1k	400	300
R1	1k	2k	3k	4k	5k	6k
R2	22k	40k	34k	45k	10k	110k
R3	300	400	200	1k	500	100
R4	1k	2k	4k	3k	2k	1k
Тип ОУ	LF155	LF351	LM207	LM709	NE5532	LM709A

Подключить на вход схемы два генератора импульсов с параметрами заданными в табл. 6.

Таблица 6

		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6
V4	V2	3m	2m	1m	4m	5m	3m
	PW	400u	300u	200u	100u	250u	350u
	PER	1m	2m	3m	400u	500u	600u
V3	V2	5m	6m	3m	8m	9m	6m
	PW	800u	500u	350u	250u	500u	700u
	PER	2m	3m	1m	1m	2m	3m

Провести временной анализ схемы (аналогично п. 1).

Определить коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление схемы (аналогично п. 1) по каждому из входов.

Сравнить полученные результаты с расчетными, заполнить табл. 7.

Таблица 7

	R_{BX1}	R_{BX2}	$R_{ВЫХ}$	K_U
Расчетные данные				
Экпериментальные данные				

5. Собрать схему инвертирующего суммирующего усилителя на ОУ (рис. 17).

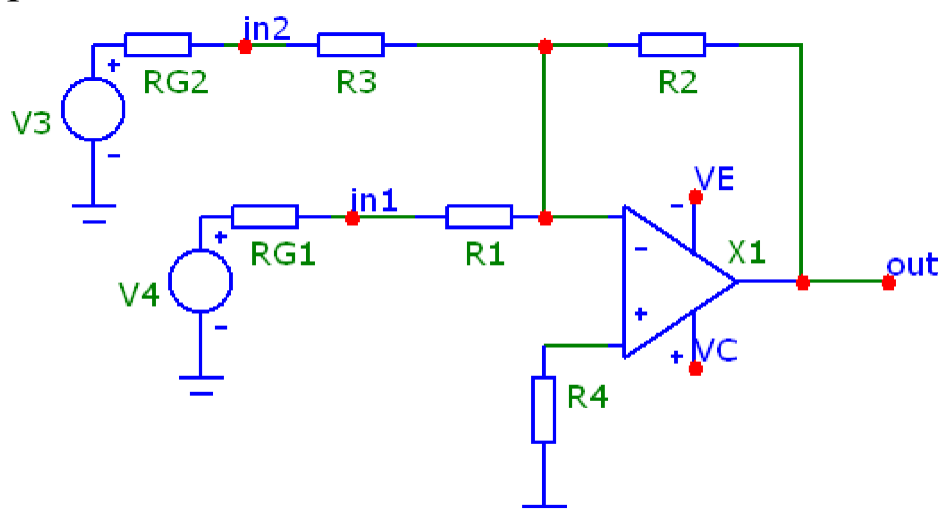


Рис. 17. Схема инвертирующего суммирующего усилителя на ОУ

Выбрать параметры схемы из табл. 8 согласно варианту.

Таблица 8

	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6
RG1	100	50	1k	2k	500	300
RG2	50	60	500	1k	400	300
R1	1k	2k	3k	4k	5k	6k
R2	22k	40k	34k	45k	10k	110k
R3	300	400	200	1k	500	100
R4	Рассчитать самостоятельно					
Тип ОУ	LF155	LF351	LM207	LM709	NE5532	LM709A

Подключить на вход схемы два генератора импульсов с параметрами заданными в табл. 9.

Таблица 9

		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6
V4	V2	3m	2m	1m	4m	5m	3m
	PW	400u	300u	200u	100u	250u	350u
	PER	1m	2m	3m	400u	500u	600u
V3	V2	5m	6m	3m	8m	9m	6m
	PW	800u	500u	350u	250u	500u	700u
	PER	2m	3m	1m	1m	2m	3m

Провести временной анализ схемы (аналогично п. 1).

Определить коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление схемы (аналогично п. 1) по каждому из входов.

Сравнить полученные результаты с расчетными, заполнить табл. 10.

Таблица 10

	$R_{вх1}$	$R_{вх2}$	$R_{вых}$	K_U
Расчетные данные				
Экспериментальные данные				

6. Собрать схему неинвертирующего суммирующего усилителя на ОУ (рис. 18).

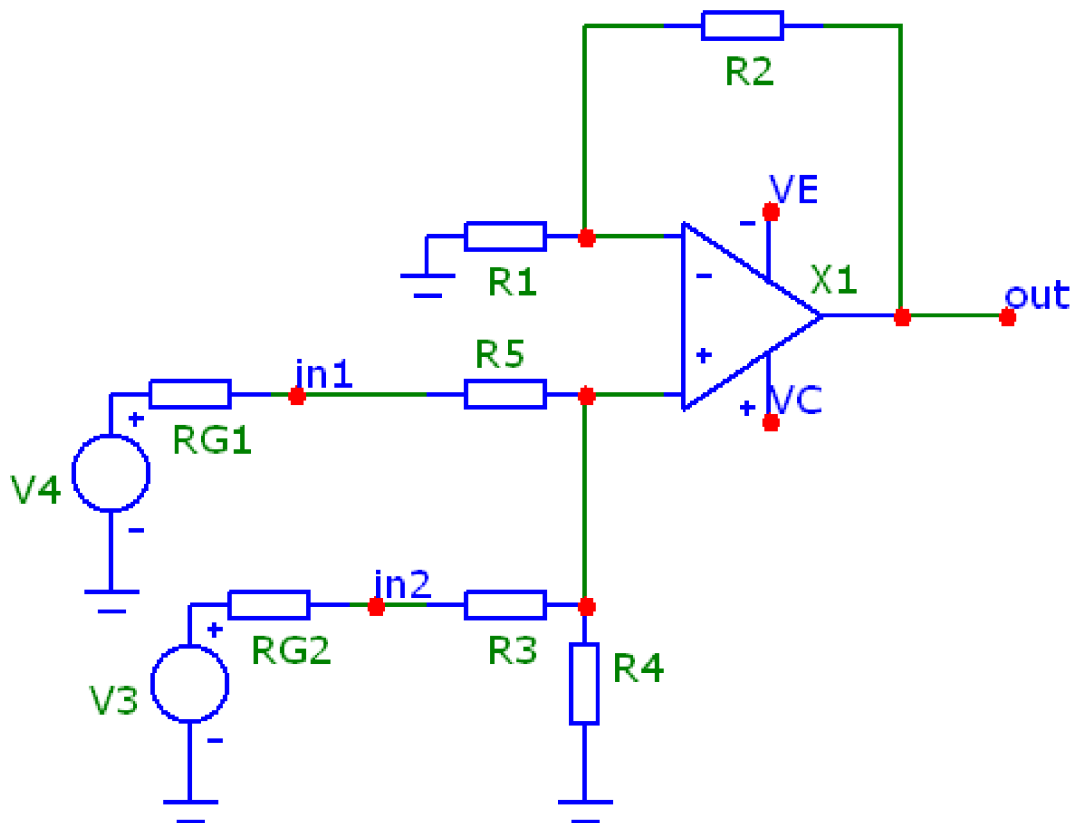


Рис. 18. Схема неинвертирующего суммирующего усилителя на ОУ

Выбрать параметры схемы из табл. 11 согласно варианту.

Таблица 11

	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6
RG1	100	50	1k	2k	500	300
RG2	50	60	500	1k	400	300
R1	1k	2k	3k	4k	5k	6k
R2	22k	40k	34k	45k	10k	110k
R3	300	400	200	1k	500	100
R4	1k	2k	4k	3k	2k	1k
R5	500	700	400	500	1k	200
Тип ОУ	LF155	LF351	LM207	LM709	NE5532	LM709A

Подключить на вход схемы два генератора импульсов с параметрами, заданными в табл.12.

Таблица 12

		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6
V4	V2	3m	2m	1m	4m	5m	3m
	PW	400u	300u	200u	100u	250u	350u
	PER	1m	2m	3m	400u	500u	600u
V3	V2	5m	6m	3m	8m	9m	6m
	PW	800u	500u	350u	250u	500u	700u
	PER	2m	3m	1m	1m	2m	3m

Провести временной анализ схемы (аналогично п. 1).

Определить коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление схемы (аналогично п. 1) по каждому из входов.

Сравнить полученные результаты с расчетными, заполнить табл. 13.

Таблица 13

	$R_{вх1}$	$R_{вх2}$	$R_{вых}$	K_U
Расчетные данные				
Экспериментальные данные				

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен быть выполнен в соответствии с требованиями ГОСТ ЕСКД и должен содержать:

1. Электрическую принципиальную схему установки.
2. Принципиальные схемы функциональных блоков на операционных усилителях.
3. Результаты измерений амплитудных характеристик в виде таблиц и графиков. Графики амплитудных характеристик каскада для всех схем привести на одном рисунке в одном масштабе.
4. Результаты измерений полосы пропускания.
5. Результаты измерений входных сопротивлений.
6. Результаты измерений выходных сопротивлений.
7. Результаты измерений коэффициентов усиления.
8. Выводы по полученным результатам.

Контрольные вопросы

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 инвертирующего сумматора.
5. Схема и основные соотношения для неинвертирующего сумматора.
6. Основные параметры и характеристики ОУ.
7. Понятие об идеальном ОУ.
8. Классификация ОУ.
9. Условия, при которых реальный ОУ можно считать идеальным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.Мамонкин И. Г. Усилительные устройства. – М.: Связь, 1977. – 357 с.
- 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 РС-усилители. – М.: Энергия, 1980. – 217 с.

