

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Исследование и расчет схем с использованием операционных усилителей

Методические указания
к выполнению лабораторной работы

Севастополь
2007

УДК 621.396.6

Исследование и расчет схем с использованием операционных усилителей

: Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине "Аналоговая схемотехника" для студентов дневной и заочной форм обучения специальности " / .Тестоедов, Васин – Севастополь: СевНТУ, 2007.–12с.

Ц е л ь у к а з а н и й : Обеспечить студентам возможность самостоятельной подготовки к выполнению и защите лабораторной работы.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры электронной техники , протокол № от 2007 г.

Рецензент:
университета.

Севастопольского национального технического

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой расчета и обеспечения оптимальных режимов работы схем с использованием операционных усилителей в электронных устройствах. Экспериментально исследовать основные методы включения операционных усилителей.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Операционные усилители (ОУ) являются законченным функциональным устройством с большим собственным коэффициентом усиления (>50000) и большим входным сопротивлением ($>1\text{МОм}$). В аналоговой электронике ОУ используются как базовые элементы для реализации различных функциональных устройств: усилителей постоянного и переменного тока, компараторов, сумматоров, логарифматоров и пр.

Операционный усилитель имеет два входа прямой и инверсный, таким образом, он усиливает только разностный сигнал и, следовательно, подавляет синфазный (сигнал, имеющий одинаковую амплитуду и фазу). Если на оба входа ОУ наводится одинаковая (синфазная) помеха, то она не только не усиливается, но и будет уменьшена. Как будет показано ниже, в большинстве схем усилителей на ОУ коэффициент передачи определяется соотношением резисторов, а не параметрами ОУ. Это обеспечивает высокую температурную стабильность усилителей, поскольку при изменении температуры сопротивление резисторов изменяется одинаково, а их соотношение остается постоянным. Поскольку коэффициент передачи практически не зависит от параметров ОУ, такие схемы имеют высокую повторяемость.

При расчете схем на ОУ можно использовать приближение идеального ОУ с бесконечным коэффициентом усиления, бесконечно большим входным сопротивлением и напряжением смещения между входами равным нулю. В этом случае, при наличии отрицательной обратной связи (ООС), можно считать, что потенциалы на прямом и инверсном входах равны, а ток во входные цепи ОУ не течет, то есть равен нулю. При таких допущениях расчет схем на ОУ сводится к расчету резистивных или резистивно-емкостных цепей.

Рассмотрим инвертирующий усилитель представленный на рис. 1.

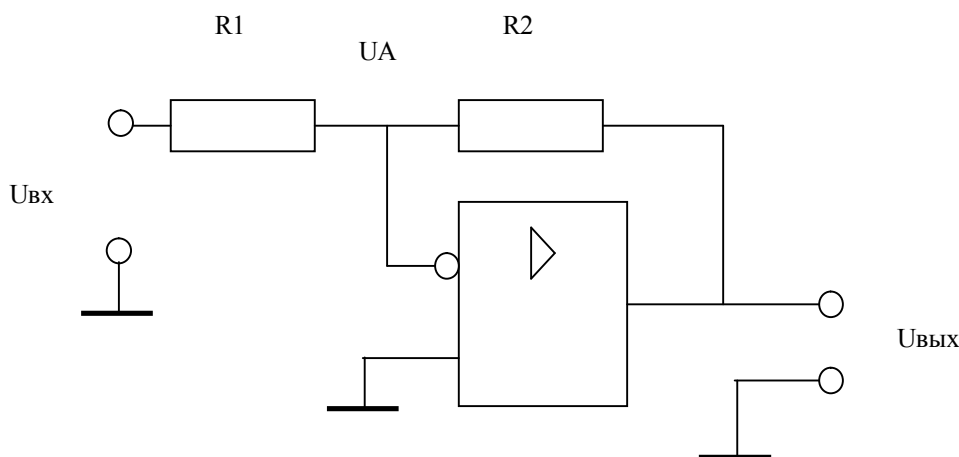


Рисунок 1. Инвертирующий усилитель

В этой схеме входной сигнал подается через резистор $R1$ на инвертирующий вход ОУ и на этот же вход с выхода через $R2$ подается обратная связь. Неинвертирующий вход ОУ подсоединен к земле. Коэффициент усиления схемы по напряжению k равен отношению выходного напряжения $U_{вых}$ к входному $U_{вх}$

$$k = U_{вых} / U_{вх} \quad (1)$$

Поскольку потенциалы на входах ОУ равны (идеальный ОУ с ООС), потенциал инверсного входа равен нулю. Следовательно, напряжение на выходе $U_{вых}$ равно падению напряжения на резисторе $R2$.

$$U_{вых} = I * R2 \quad (2)$$

Через резисторы $R1$ и $R2$ протекает один и тот же ток, так как входное сопротивление ОУ бесконечно большое. Следовательно, ток I можно определить из входного напряжения $U_{вх}$ и величины резистора $R1$

$$I = - U_{вх} / R1 \quad (3)$$

Отметим, что через $R2$ протекает ток той же величины, что и через резистор $R1$, но с обратным знаком, поскольку на инверсном входе нулевой потенциал и следовательно, $U_{вых} = - U_{вх}$. Подставив выражения (2) и (3) в (1) получим формулу для расчета коэффициента усиления для схемы инвертирующего усилителя, представленного на рис. 1.

$$k = - R2 / R1 \quad (4)$$

Минус в выражении (4) означает инверсию входного сигнала. Коэффициента усиления определяется отношением резисторов, а их конкретные номиналы ограничиваются только требуемым входным сопротивлением усилителя, которое равно $R1$ и минимальным значением $R1+R2$, которое подключено параллельно выходу ОУ и нагрузке. Следовательно, минимальное значение $R2+R1$ определяется максимальным током данного ОУ.

Отрицательная обратная связь может быть реализована в виде резистивного Т – образного моста. В этом случае можно производить регулировку коэффициента усиления резистором (или другим элементом) относительно земли. Рассмотрим инвертирующий усилитель с Т-образной ООС, представленный на рис. 2.

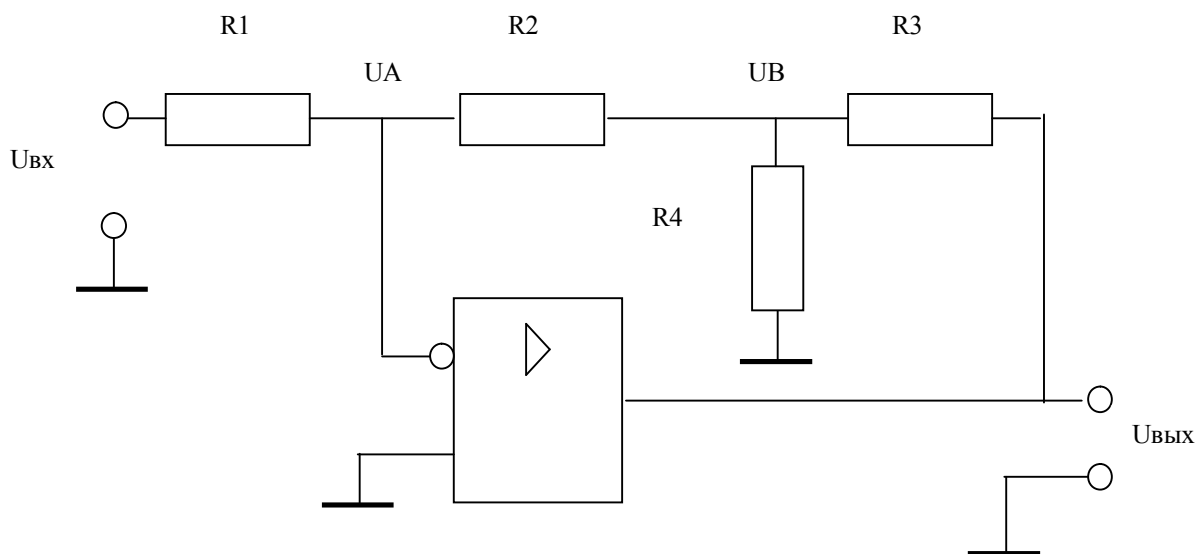


Рисунок 1. Инвертирующий усилитель с Т – образной ООС.

Потенциал в точке UB может быть выражен через $U_{вых}$. Поскольку неинвертирующий вход ОУ заземлен, то и $UA=0$. Следовательно,

$$UB = U_{вых} * \frac{R2 \parallel R4}{R3 + R2 \parallel R4} \quad (5)$$

С другой стороны потенциал UB определяется падением напряжения на резисторе $R2$ при протекании входного тока $I_{вх}$.

$$U_B = I_{BX} * R_2 \quad (6)$$

$$I_{BX} = -\frac{U_{BX}}{R_1} \quad (7)$$

Подставив (7) в (6) и приравняв (6) и (5) получим

$$U_{ВЫХ} = -U_{ВХ} * \frac{R_2}{R_1} * \left(\frac{R_3}{R_2 || R_4} \right) = -U_{ВХ} * \frac{R_2}{R_1} * \left(\frac{R_3 * (R_2 + R_4)}{R_2 * R_4} + 1 \right)$$

Тогда коэффициент передачи равен

$$k = -\frac{R_2}{R_1} * \left(\frac{R_3 * (R_2 + R_4)}{R_2 * R_4} + 1 \right) \quad (8)$$

Из выражения (8) видно, коэффициент передачи усилителя определяется произведением двух коэффициентов

$$k = k_1 * k_2$$

где, $k_1 = -\frac{R_2}{R_1}$

$$k_2 = \frac{R_3 * (R_2 + R_4)}{R_2 * R_4} + 1$$

Если сопротивление резистора $R_3 = 0$, то $k_2 = 1$ и $k = k_1$.

Если резисторы выбрать так, что $R_2 \gg R_4$ и $R_3 \gg R_4$, то

$$k = -\frac{R_2}{R_1} * \frac{R_3}{R_4} \quad (9)$$

Если в качестве R_4 использовать подстроечный резистор или транзистор, то можно управлять коэффициентом усиления относительно земли.

Рассмотрим неинвертирующий усилитель представленный на рис. 3.

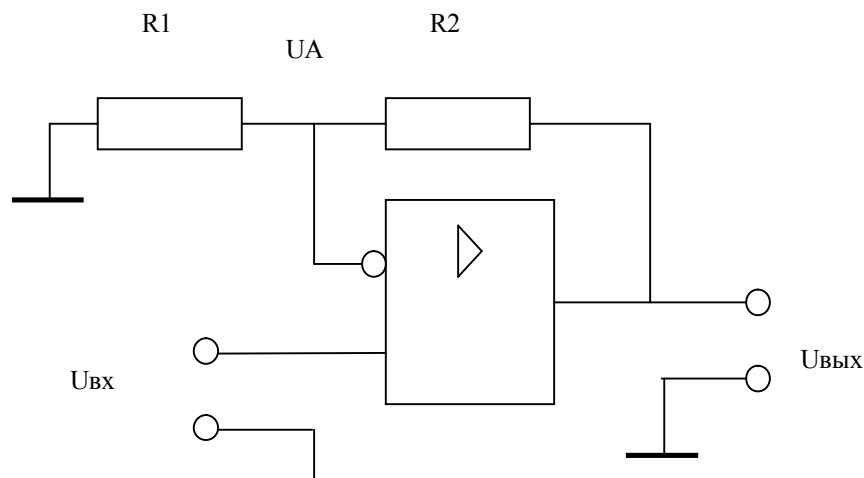


Рисунок 3. Неинвертирующий усилитель.

В этой схеме входной сигнал подается на неинвертирующий вход ОУ. Напряжение отрицательной обратной связи формируется резистивным делителем R1 и R2 с выхода ОУ. Коэффициент усиления схемы по напряжению k равен отношению выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ ко входному $U_{\text{вх}}$

$$k = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}} \quad (10)$$

Напряжение на инвертирующем входе U_A равно

$$U_A = U_{\text{вых}} * \frac{R1}{R1 + R2} \quad (11)$$

Поскольку потенциалы на входах ОУ равны (идеальный ОУ с ООС), потенциалы инвертирующего и неинвертирующего входа равны. Следовательно, $U_A = U_{\text{вх}}$, тогда

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} * \frac{R1 + R2}{R1} \quad (12)$$

Используя соотношения (10), (11) и (12) получаем выражение для коэффициента усиления по напряжению

$$k = \frac{U_{\text{вх}} * \frac{R2}{R1} + U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{R2}{R1} + 1 \quad (13)$$

В полученном выражении в отличие от (4) и (8) отсутствует минус. Это говорит о том, что входной сигнал не инвертируется. Неинвертирующее включение отличается от инвертирующего еще и тем, что коэффициент передачи по напряжению не может быть меньше единицы.

2. ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

В лабораторной работе используются промышленные источники постоянного тока, генераторы переменного сигнала и осциллограф инструкцию по их эксплуатации необходимо тщательно изучить. Кроме того, студентам предоставляются монтажные платы, соединительные провода, полная номенклатура резисторов и конденсаторов и операционный усилитель.

Получив задание, студент должен рассчитать схему заданной конфигурации и проверить правильность расчета, смоделировав схему на компьютере. Для моделирования схемы можно использовать программные пакеты WORKBENCH или PROTEUS.

При расчете схемы необходимо в одно из резистивных плеч поставить подстроечный резистор, поскольку по заданию требуется с помощью этого резистора изменять коэффициент передачи усилителя в необходимых пределах. Расчет следует начинать без учета подстроечного резистора (одна граница диапазона), а затем вычислить величину сопротивления подстроечного резистора исходя из другой границы диапазона.

Убедившись в правильности расчетов и выборе номиналов элементов, на монтажной плате собирается схема, к которой с соединительными проводами подключаются источник питания генератор и осциллограф. Перед включением схемы необходимо убедиться в наличии заземления у приборов. Также нужно тщательно проверить правильность подсоединения приборов к схеме, обратив особое внимание на подключение земли схемы и приборов.

Установив необходимые значения напряжений источника питания и напряжения и частоту генератора, с помощью осциллографа отснять диаграммы напряжений на входах и выходе схемы по постоянному и переменному току.

3.ЗАДАНИЯ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

Номер варианта	Включение ОУ	Диапазон изменения коэффициента передачи
1	Инвертирующее	1 -20
2	Инвертирующее	10 -50
3	Инвертирующее	20 - 60
4	Инвертирующее	1 - 50
5	Неинвертирующее	10 -40
6	Неинвертирующее	20 - 80
7	Неинвертирующее	30 - 100
8	Неинвертирующее	10 -80
9	Инвертирующее с Т-мостом	5 - 50
10	Инвертирующее с Т-мостом	2 -20
11	Инвертирующее с Т-мостом	4 -40
12	Инвертирующее с Т-мостом	8- 80

4.ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист с указанием названия работы, группы и фамилий исполнителей;
- раздел «Постановка задач исследования», в котором кратко формулируются расчетные и экспериментальные задачи;
- раздел «Предварительные расчеты», в котором приводятся принципиальная схема усилителя, описание ее работы, условия расчета, исходные данные и результаты расчета;
- раздел «Результаты эксперимента», в котором описываются условия каждого эксперимента, приводятся результаты непосредственных измерений ;
- раздел «Выводы», в котором оценивается степень согласия расчетных и экспериментальных результатов по каждому пункту задания.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ

- 1.В чем отличие идеального ОУ от реального?
- 2.Чему равно входное сопротивление усилителя при инвертирующем и неинвертирующем включении ОУ?
3. Какие функции выполняют схемы, приведенные в Приложении А?
4. Получите выражения для коэффициентов передачи схем, приведенных в Приложении А.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Малахов В.П. Схемотехника аналоговых устройств: Учебник для втузов – Одесса.: АстоПринт,2000.– 212с.

2. Гальперин М.В. Практическая схемотехника в промышленной автоматике. – М.: Энергоиздат, 1987. – 320с.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Т2– М.: Мир, 1993. – 371с.

Приложение А

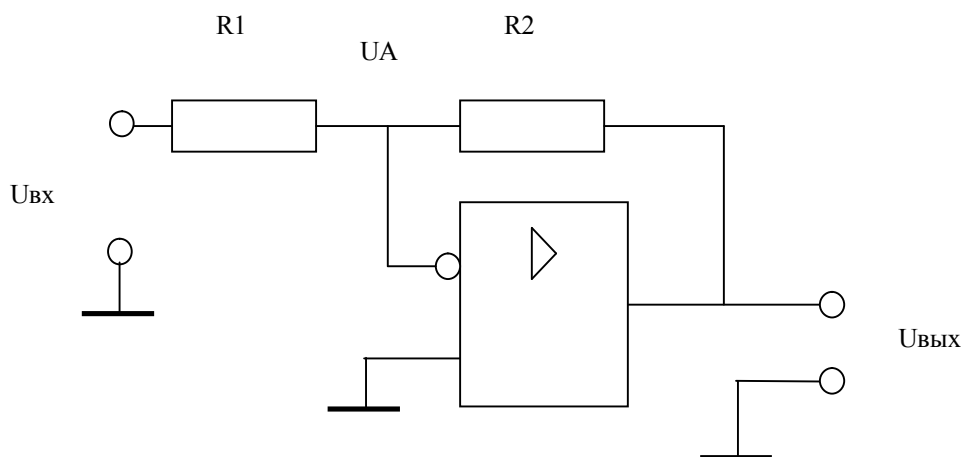


Рисунок П1. Схема 1.

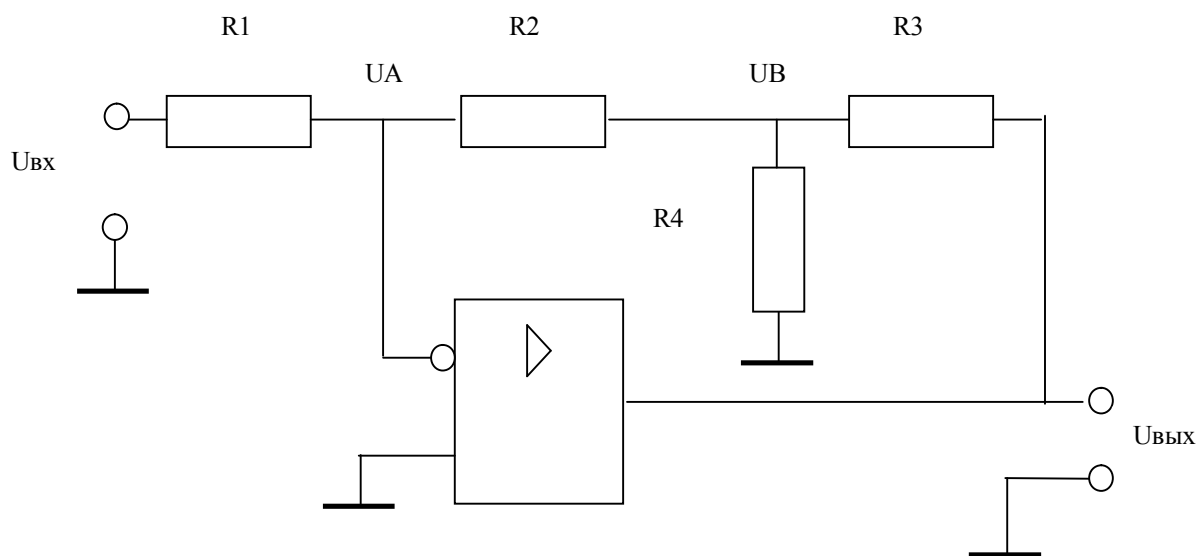


Рисунок П2. Схема 2.

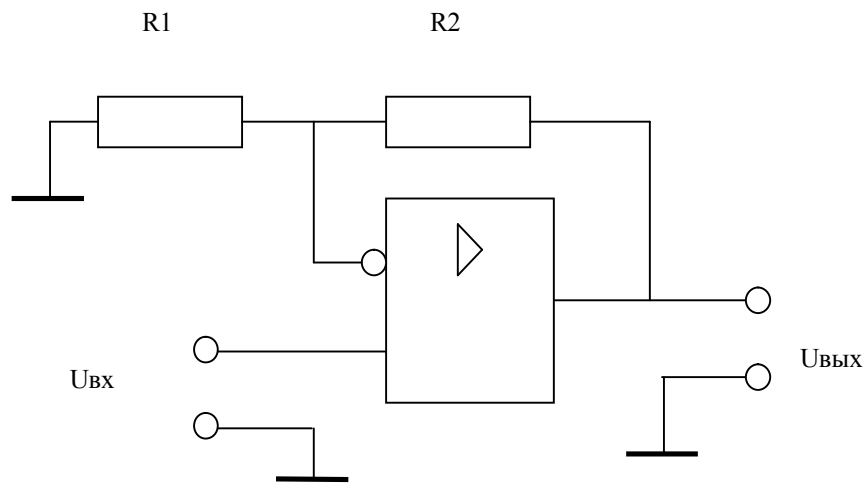


Рисунок П3. Схема 3.

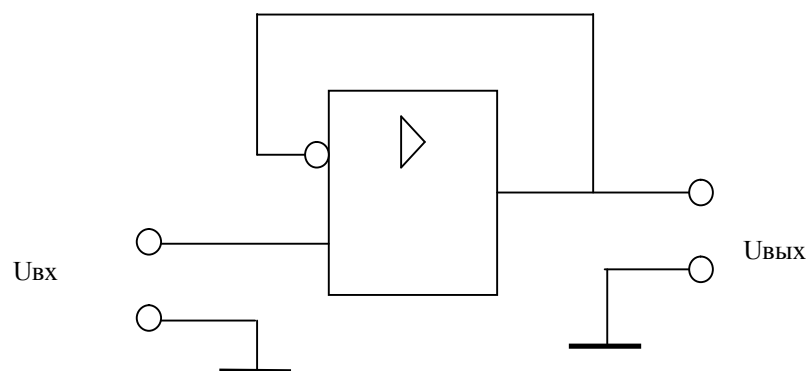


Рисунок П4. Схема 4.

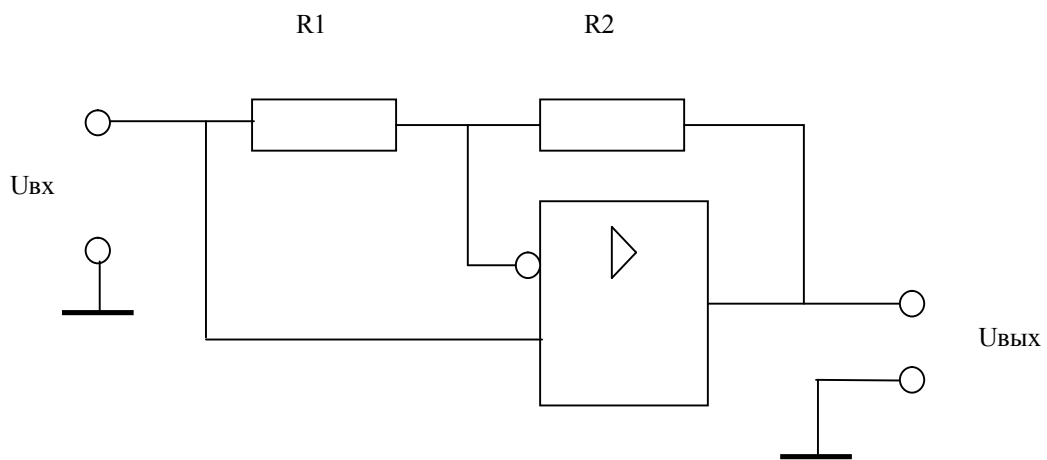


Рисунок П5. Схема 5.

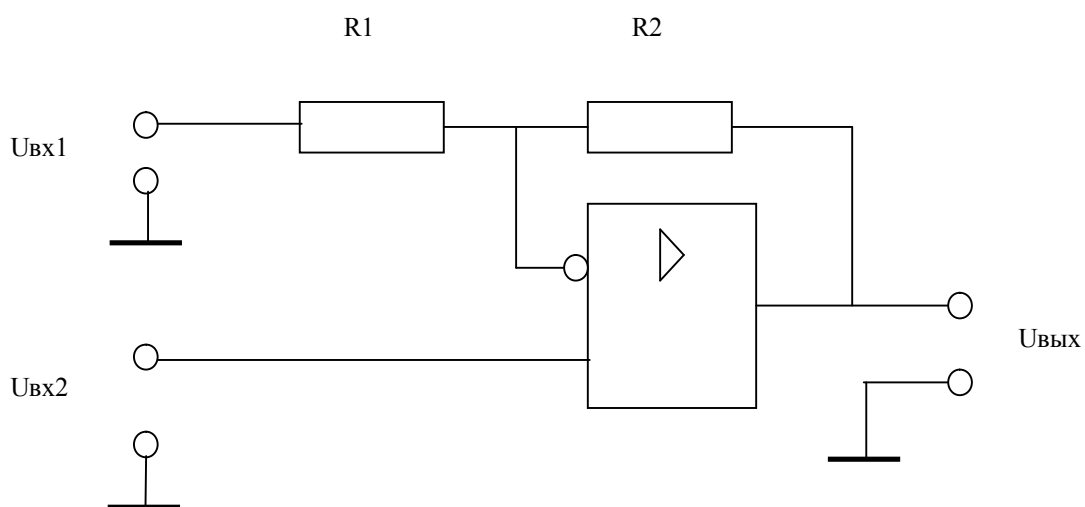


Рисунок П6. Схема 6.

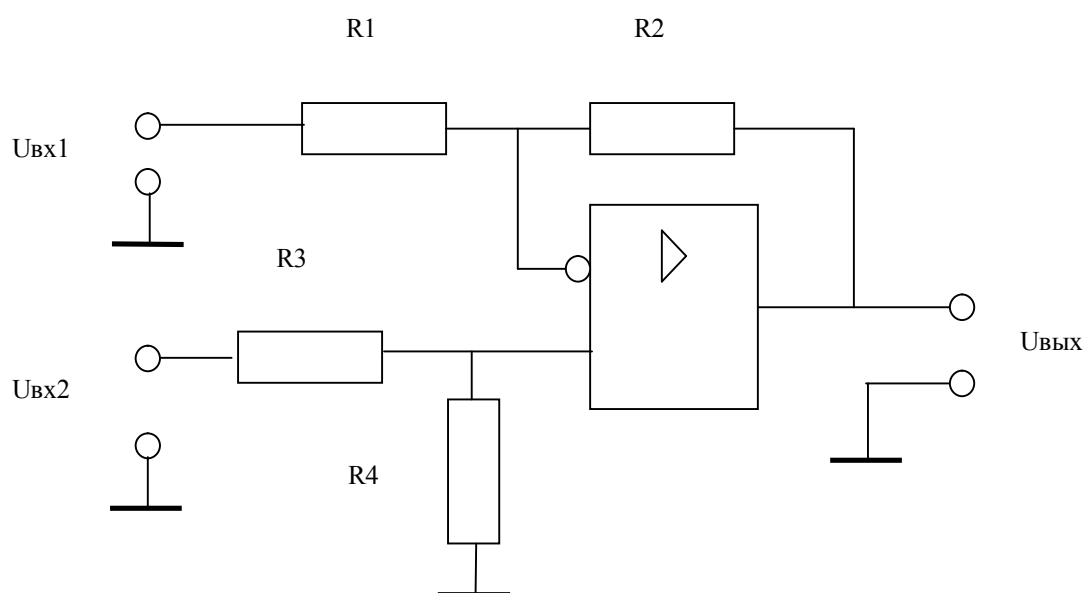


Рисунок П7. Схема 7.

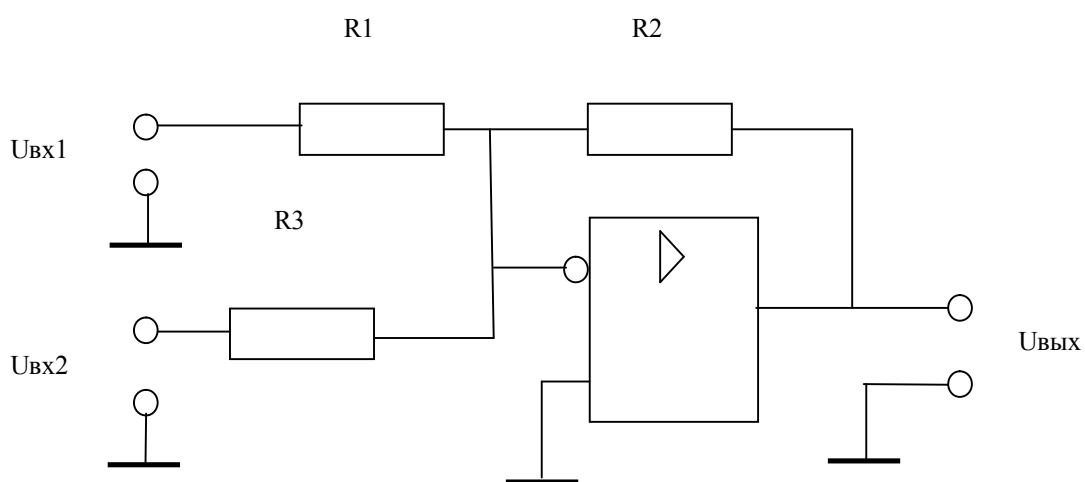


Рисунок П8. Схема 8.

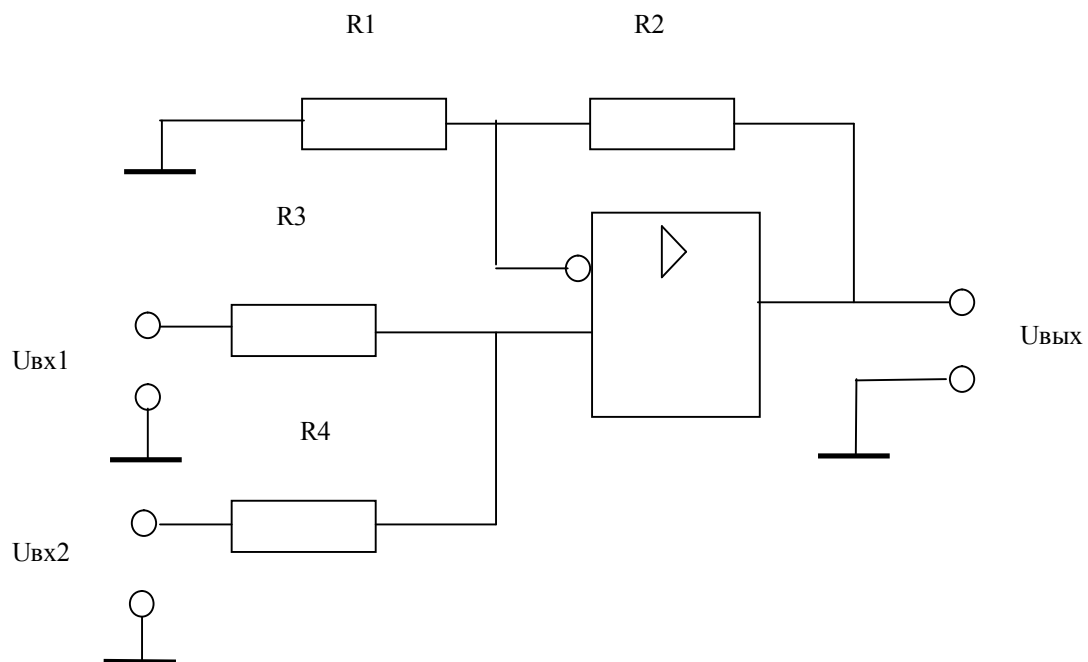


Рисунок П9. Схема 9.