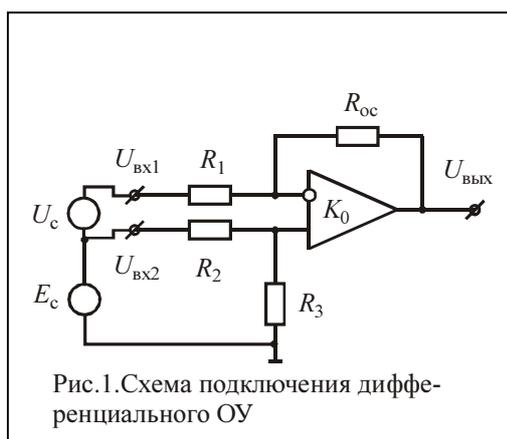


Лабораторная работа № 1

Моделирование измерительных усилителей

Часть 1. Теоретические сведения по работе измерительных усилителей

Во многих случаях измерения сигнала сенсора U_c проходит на фоне большой помехи или большой синфазной составляющей E_c . Для её подавления применяется дифференциальное включение усилителя (рис.1).



В этом случае измеряемый сигнал прикладывается между двумя входами. Для того, чтобы обеспечить равенство коэффициентов передачи по обоим входам ОУ ($m_1 = m_2$) необходимо, как известно, выполнение условий: $R_{oc}/R_1 = R_3/R_2$. В частности, при полной симметрии схемы:

$$\begin{cases} R_{oc} = R_3 \\ R_1 = R_2 \\ m_1 = m_2 = \frac{R_{oc}}{R_1} = \frac{R_3}{R_2} = m \\ U_{вых} = (+) \frac{R_{oc}}{R_1} (U_{вх2} - U_{вх1}) \end{cases}$$

Т.е. в идеальном случае синфазная составляющая в сигналах $U_{вх1}$ и $U_{вх2}$ должна подавляться. Но этого не происходит по нескольким причинам.

Во-первых, сам операционный усилитель (ОУ) обладает ограниченным коэффициентом ослабления синфазного сигнала – КОСС₁. КОСС обычно задается в логарифмическом масштабе

$$КОСС = 20 \lg \left(\frac{K_d}{K_c} \right), \quad (1)$$

где K_d - дифференциальный коэффициент усиления, K_c - коэффициент передачи синфазного сигнала. Типичные величины $K_{c1} = 10^{-3} \div 10^{-4}$, $КООС_1 = (70 \div 80)$ дБ, а для прецизионных ОУ - более 100 дБ.

Кроме того, из-за ограниченной точности внешних резисторов коэффициенты передачи по входам не равны ($m_1 \neq m_2$) и, следовательно, синфазный сигнал «просачивается» на выход с большим значением, чем обеспечивает собственно ОУ

$$K_{c2} = \frac{R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_{oc}}{R_1 \cdot (R_3 + R_{oc})} \approx \frac{\Delta m}{1+m} \approx \delta m, \quad (2)$$

где δm - относительная погрешность резистивных делителей. Суммарный коэффициент ослабления синфазного сигнала составит

$$КОСС_{\Sigma} = 20 \lg \left(\frac{K_d}{K_{c1} + K_{c2}} \right), \quad (3)$$

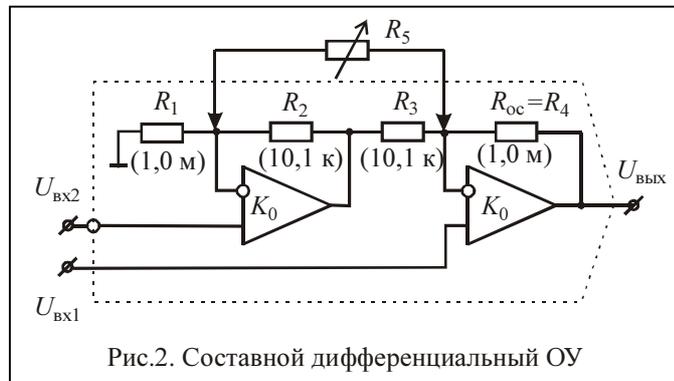
Из последней формулы следует, что теоретически подстройкой резисторов можно обеспечить сколь угодно большой КОСС. Но это будет справедливо только в локальной точке и при неизменных условиях. Дополнительные погрешности в величину $\delta(m)$ вносят также выходные сопротивления источников сигналов.

Второй недостаток простого дифференциального усилителя – входное сопротивление схемы определяется не параметрами дифференциального усилителя, а номиналами входных резисторов. Следовательно, реализовать большее входное сопротивление ОУ не удастся.

Третий недостаток – для изменения коэффициента передачи нужно одновременно (синфазно) и точно менять отношение $R_{oc}/R_1 = R_3/R_2$, что практически невозможно.

Для устранения отмеченных недостатков применяются специализированные измерительные усилители, основной задачей которых является усиление малых сигналов на фоне весьма значительных синфазных помех. Это является главным отличием измерительных усилителей от других масштабирующих усилителей.

В частности, для повышения входного сопротивления дифференциального усилителя можно применять составной дифференциальный усилитель на двух ОУ в неинвертирующем включении (рис.2). Такое включение ОУ обеспечивает, как известно, очень большое входное сопротивление.



В случае выполнения условия $R_{oc}/R_1 = R_3/R_2 = m$

$$U_{\text{ВЫХ}} = (m + 1) \cdot (U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}}) \quad (4)$$

$$\text{КОСС} = 20 \lg \left(\frac{m+1}{1-(1-\delta m)/(1+\delta m)} \right) \approx 20 \lg \left(\frac{m+1}{2\delta m} \right) \quad (5)$$

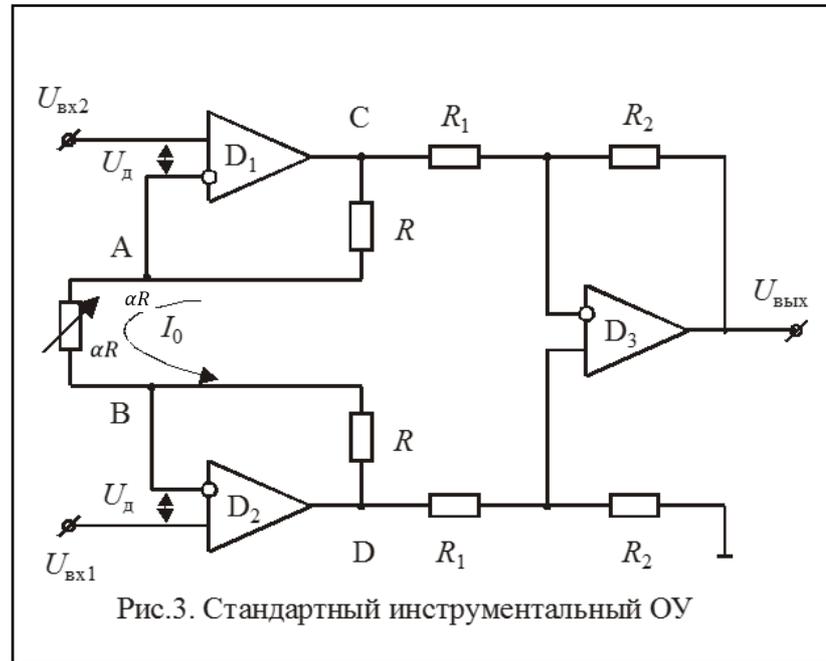
Например, при $\delta m \leq 0,1\%$ и $m = 99$, что соответствует номиналам, указанным на рис.2, имеем $m = 100$, $\text{КОСС} \geq 80$ дБ.

Для еще большего повышения КОСС в схеме рис.2 один из резисторов (например, R_1) делается подстраиваемым. Для осуществления регулировки коэффициента передачи вводится дополнительный регулируемый резистор R_5 . Тогда

$$U_{\text{ВЫХ}} = \left(m + 1 + \frac{R_1 + R_{oc}}{R_5} \right) \cdot (U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}}) \quad (6)$$

и возможна регулировка усиления с помощью только одного резистора R_5 . Однако, и в составном ОУ КОСС будет определяться все теми же четырьмя резисторами.

Более высокий КОСС обеспечивает схема измерительного (инструментального) усилителя на 3-х ОУ (рис.3): на входе включены повторители D_1 и D_2 , а на выходе дифференциальный каскад D_3 с коэффициентом передачи $m = R_2/R_1$.



Входное сопротивление определяется повторителями D_1 и D_2 и поэтому очень велико по обоим входам ($R_{вх} \approx r_c$), где r_c - сопротивление синфазному сигналу. Тем самым исключается влияние выходных сопротивлений источников сигналов.

Коэффициент подавления синфазного сигнала будет определяться только выходным дифференциальным каскадом и не будет зависеть от входных каскадов.

Проанализируем коэффициент передачи в инструментальном усилителе:

1. Учитывая, что $U_d \rightarrow 0$, имеем

$$U_A = U_{вх2}, \quad U_B = U_{вх1}.$$

2. Соответственно потенциалы точек C и D могут быть рассчитаны исходя из того, что по ним идет один и тот же ток I_0 ($I_{вх}(ОУ) \ll I_0$). Тогда

$$\begin{cases} U_C = U_A + I_0 R \\ U_D = U_B - I_0 R \\ I_0 = \frac{U_A - U_B}{\alpha R} \\ 0 \leq \alpha \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

В свою очередь,

$$U_{вых} = (U_D - U_C) \cdot m \quad (8)$$

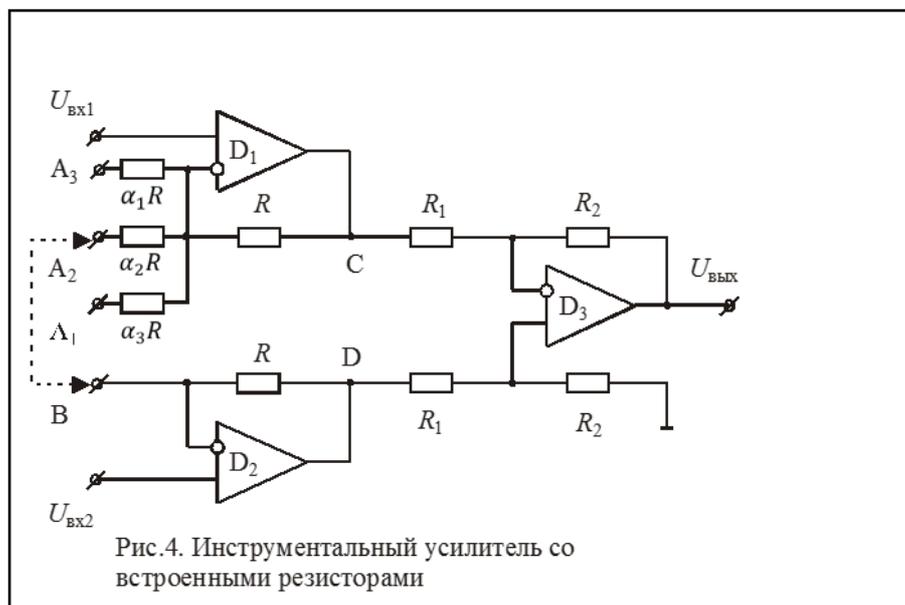
Решая (7) и (8), получим:

$$U_{\text{ВЫХ}} = (U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}}) \cdot m \left(1 + \frac{2}{\alpha} \right). \quad (9)$$

Таким образом, коэффициент передачи меняется одним резистором αR одновременно по двум входам. При интегральном исполнении характеристики D_1 и D_2 оказываются в значительной степени коррелированными, что улучшает параметры измерительного усилителя – уменьшает суммарное напряжение смещения нуля $U_{\text{см0}}$ и шумы ОУ, стабилизируется отношение и, в целом, увеличивается стабильность коэффициента передачи. При этом КОСС значительно возрастает и составит

$$\text{КОСС} \approx 20 \lg \left(\frac{K_D}{K_C} \right) = 20 \lg \left[\frac{m \cdot (1 + 2/\alpha)}{\delta(m)} \right] \quad (10)$$

Измерительный усилитель выпускается, в основном, в двух модификациях:



- С выносным резистором αR (рис. 3), в котором имеются выводы для подключения внешнего переменного резистора αR . Но температурный коэффициент сопротивления (ТКС) внутреннего и внешнего резисторов оказываются разными и, следовательно, в диапазоне температур меняется величина α и общий коэффициент передачи.

- Со встроенными наборами резисторов αR (рис.4). Замыкая нужную точку делителя с помощью внешней перемычки, реализуем стандартный набор

стабильных коэффициентов передачи $K = 1, 10, 100, 1000$. Разумеется, при применении внешнего регулировочного резистора и некотором ухудшении стабильности можно реализовать и промежуточные коэффициенты усиления.

Типичные параметры для инструментального усилителя:

$$R_{\text{вх}} = (1 \div 10) \text{ ГОм};$$

$$\text{КОСС} \geq (100) \text{ дБ (при } K_{\text{д}} \geq 100);$$

$$U_{\text{см0}} \leq 0.1 \text{ мВ};$$

$$\text{ТК}(U_{\text{см0}}) = (5 \div 10) \text{ мкВ}/^{\circ}\text{С},$$

частота единичного усиления $f_{\text{T}} \geq (10 - 20) \text{ МГц}$,

коэффициент нелинейных искажений (КНИ) не более 0,005 % (при $K = 1$).

По своим характеристикам лучшие современные интегральные инструментальные усилители приближаются к устройствам метрологического уровня.

В Таблице1 приведены параметры некоторых интегральных инструментальных усилителей.

Таблица 1. Параметры интегральных инструментальных усилителей

Модель	Усиление	$U_{сво}$ [мВ]	ТК($U_{сво}$) [мкВ/С]	$I_{вх}$ [нА]	Погрешность Усиления	КОСС [дБ]/на Гц	Полоса пропускания [кГц]	Скорость Нарастания [В/мкс]	E_n [В]	I_n [мА]	Примечание
AD 623	$1 \cdot 10^3$	0,2	2,5	25	0,35	90/0 Гц (K=10)	2 (K=10 ³)	0,3	$\pm 2,5$ - ± 6	0,6	1
AD 625	$1 \cdot 10^4$	0,05	1	15	0,05	105/0 (K=10) 70/60 Гц	25 (K=10 ³)	5	± 6 - ± 18	5	2
AD 8255	5	0,15	2	-	0,1 K=5	80/10 кГц	900 (K=5)	-	$\pm 1,7$ - ± 18	1,2	3
INA 116	$1 \cdot 10^3$	1	0,4	25 фА	0,02	106/0 (K=100)	7 (K=10 ³)	0,8	$\pm 4,5$ - ± 18	1	1
INA 118	$1 \cdot 10^4$	0,12	20	5	0,2	110/0 (K=10)	7 (K=10 ³)	0,9	$\pm 1,4$ - ± 18	0,4	1
INA 217	$1 \cdot 10^3$	2	20	-	0,5	70/0 (K=1)	80 (K=100)	-	$\pm 4,5$ - ± 18	12	
MAX 4197	100	0,2	2	-	0,05 K=100	86/0 (K=100)	3,1/ K=100	-	2,7- 7,5	0,1	3,4
MAX 4199	10	0,3	3	-	45 K=10	76/0 (K=10)	45 K=10	-	2,7- 7,5	0,06	4
MAX 4461	1,10, 100	0,3	1,5		0,6	90/0 (K=1)	25 K=100	-	2,9- 5,2	1,4	2
LT 1167	$1 \cdot 10^4$	0,2	0,3	0,35	0,08	88/0 (K=1)	12 K=10 ³	-	$\pm 2,3$ - ± 18	1,3	1
LT 2053	$1 \cdot 10^3$	0,02	0,05	-	0,01	90/0 (K=1)	0,2 K=10 ³	-	2,7- 10	1,3	4,5
PGA 204	1,10, 10 ² , 10 ³	0,05	5	20	0,05	110/0 (K=100)	1 K=10 ³	0,7	$\pm 4,5$ - ± 18	6,5	6
PGA207	1,2, 5,10	1,5	2	-	0,05	80/0 (K=1)	600 K=10	-	$\pm 4,5$ - ± 18	13,5	7

Примечания.

1. 3 ИОУ в корпусе.
2. 3 широкополосных ИОУ в корпусе.
3. ИОУ с фиксированным усилением.
4. Предусмотрен режим ожидания с малым энергопотреблением.
5. ОУ типа ПКД (3 кГц).
6. ИОУ с программируемым усилением.
7. Широкополосный ИОУ с ПТ-входом.

Часть 2. Моделирование измерительных операционных усилителей

2.1 Оценка характеристик измерительного усилителя на одном ОУ (ИОУ-1) в динамическом режиме

1. Откройте файл demonstration.ms10 (рис. 1).

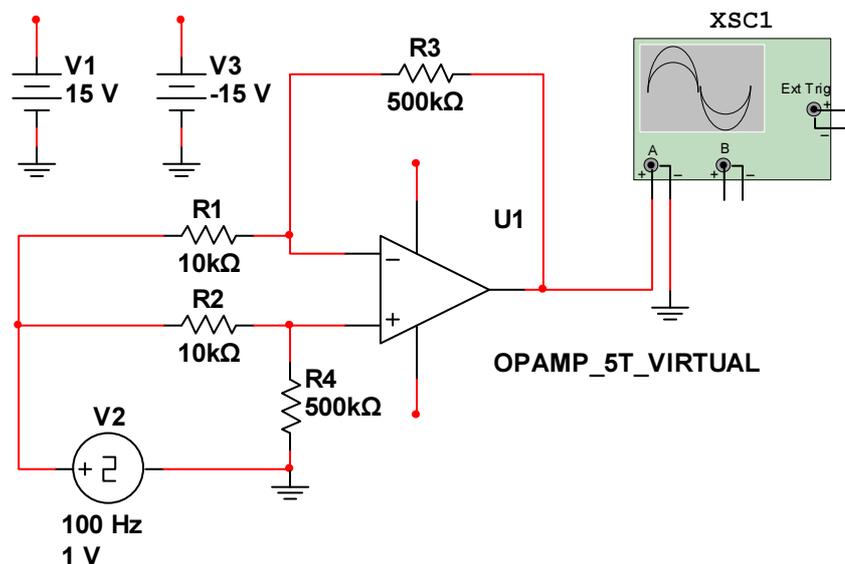


Рис.1 Схема моделирования ИОУ на одном усилителе для оценки характеристик в динамическом режиме.

Схема ИОУ-1 на 5-ти выводном ОУ, приведенная на рис.1, предназначена для оценки влияния синфазной составляющей на выходное напряжение дифференциального каскада в динамическом режиме. Для большей наглядности дифференциальный сигнал в данном случае отсутствует.

Диф. каскад выполнен на ОУ U1. Коэффициент передачи схемы $m = R_{oc}/R_1 = R_3/R_2$ (номинальное значение) задается резисторами R_1 - R_4 , питание ОУ обеспечивают источники постоянного напряжения V1, V2. Синфазная составляющая вырабатывается генератором прямоугольных импульсов V3. Осциллограф XSC1 предназначен для просмотра результатов моделирования.

2. Запустите моделирование и уясните работу схемы. Зафиксируйте осциллограмму выходного сигнала при $\delta m=0$ и оцените по осциллограмме K_C .

2.2 Исследование работы ИОУ-1 в статическом режиме

1. Откройте файл dif.ms10 (рис.2).

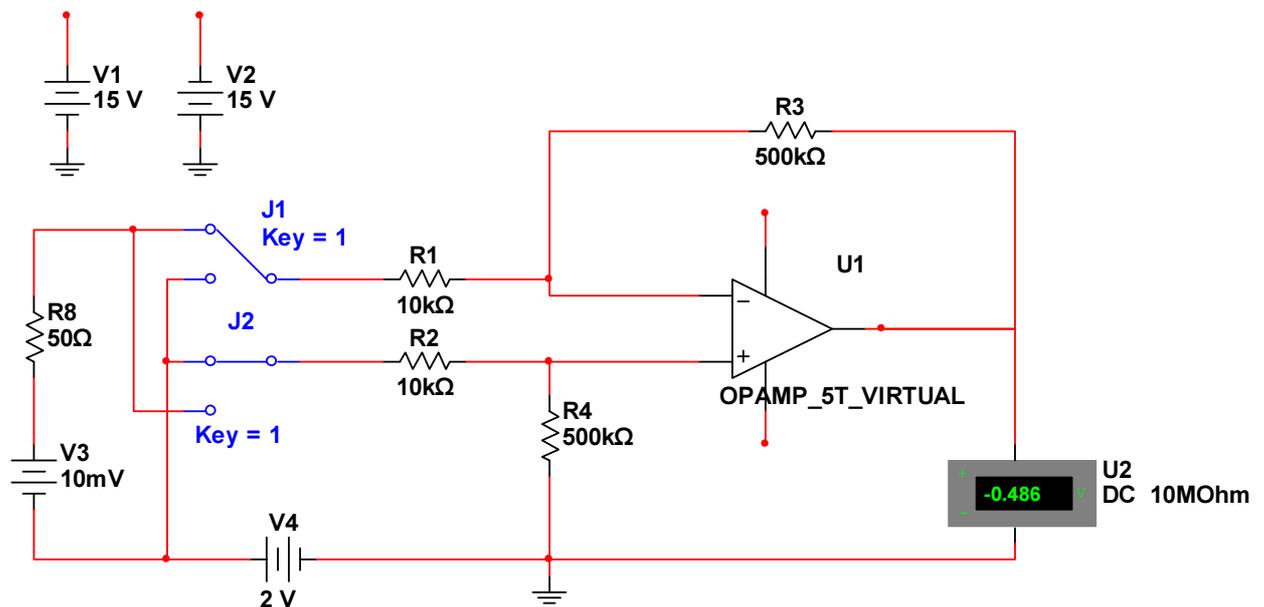


Рис.2 Схема моделирования ИОУ на одном усилителе для оценки характеристик в статическом режиме.

Схема, приведенная на рис.2, была получена из предыдущей схемы путем добавления источника дифференциального сигнала (источник постоянного напряжения V3) с конечным внутренним сопротивлением, представленным в виде управляемого резистора R5 (величина сопротивления устанавливается источником V6), а также добавлением ключей J1, J2, предназначенных для изменения полярности сигнала на входах дифференциального усилителя.

2. Запустите моделирование и уясните работу схемы.
3. Рассчитайте и измените параметры схемы (рис.2) в соответствии с данными, приведенными в табл.1. для вашего варианта.

Откройте окно свойств ОУ, установите и зафиксируйте его параметры.

Таблица 1. Параметры моделирования ИОУ-1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Амплитуда вх. диф. сигнала $U_d=V_3$, [мВ]	15	5	10	15	15	10	15	5	10	15
K_d	55	50	60	65	75	75	80	85	100	90
$R_3=R_4$ [кОм]	550	600	650	700	750	800	750	850	900	650
Напряжение синфаз. сигнала $V_4=E_{C0}$, [В]	2.5	1.0	1.5	-2.0	-2.5	2.0	2.5	-1.0	-2.5	-2,0
Величина сопротивления датчика, $N = R_8/R_1$	0,10	0,05	0,04	0,06	0,05	0,07	0,08	0,05	0,03	0,09
Входные токи ОУ [нА]	10	15	20	25	30	1	0,5	2	1,5	1
Разность вх. токов ОУ, [нА]	1,0	2,0	1,5	2,0	2,5	0,1	0,05	0,02	0,1	0,05
Напряжение смещен. $U_{CM01}=V_7$, [мВ]	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5
КОСС ₁ (ОУ), [дБ]	80	85	75	80	70	85	80	80	70	85
$\delta R_2 \times 10^{-3}$	5	4	3	-5	-4	-3	5	4	3	-4

- 1) Определите сопротивление резисторов R_1 , R_2 , необходимое для обеспечения заданного коэффициента дифференциального усиления

$$K_d = \frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2} \quad \rightarrow \quad R_1 = R_2 = \frac{R_3}{K_d}$$

- 2) Рассчитайте величину внутреннего сопротивления датчика напряжения

$$\frac{R_8}{R_1} = N \quad \rightarrow \quad R_8 = R_1 \cdot N$$

4. Зафиксируйте исходное выходное напряжение сбалансированного ИОУ-1 при отсутствии синфазного и дифференциального сигналов ($\delta m=0$, $V_3=0$, $V_4=0$). Подайте на входы дифференциального каскада синфазный сигнал E_{C0} . Запишите значение напряжения на выходе. Теперь, используя полученные данные, найдите КОСС ИОУ-1 для вашего случая. Объясните полученный результат.

5. Оцените влияние внутреннего сопротивления источника сигнала R_8 . При нулевом синфазном сигнале зафиксируйте значения $U_{\text{вых}}$ для разных значений сопротивления R_8 . Данные необходимо занести в таблицу 2.

Таблица 2. Влияние сопротивления датчика на ИОУ-1

	$R_8 = 0$	$R_8 = R_{8 \text{ nom}}$	$R_8 = 0,5R_3$	$R_8 = R_3$
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$				

6. Исследуйте влияние изменения синфазного сигнала V_4 на выходное напряжение при отклонении резистора R_2 от номинала на величину $\pm\delta R$. Напряжение синфазного сигнала $E_c = V_4$ должно изменяться в пределах $(-E_c \div 2E_c)$. Величины E_{c0} и δR указаны для вашего варианта в табл.1. Данные измерений необходимо занести в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты исследования КОСС ИОУ-1

Вариант		$U_{\text{вх}}=V_3,$ мВ	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$ ($V_4=-E_c$)	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$ ($V_4=0$)	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$ ($V_4=2*E_c$)	K_c	КОСС, дБ
1	$R_2=R_{2 \text{ min}}$	$U_{\text{д}}$					
2	$R_2=R_{2 \text{ nom}}$	$U_{\text{д}}$					
3	$R_2=R_{2 \text{ max}}$	$U_{\text{д}}$					
4	$R_2=R_{2 \text{ max}}$	$\pm U_{\text{д}}$					

7. Для точных измерений и подавления аддитивных погрешностей рекомендуется производить два последовательных измерения, при которых производится переполюсовка сигнала на входах диф. каскада. Полученные данные складываются по модулю и делятся на два, тем самым, исключая влияние синфазной составляющей. В нашем случае переполюсовка осуществляется с помощью ключей J_1, J_2 . Произведите измерения согласно этому способу для варианта 4 таблице 3.

8. Рассчитайте и внесите в таблицу 3 значения K_c и КОСС.

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{д}} \cdot K_{\text{д}} + U_{\text{с}} \cdot K_{\text{с}} \quad \rightarrow \quad K_{\text{с}} = \frac{U_{\text{вых}} - U_{\text{д}} \cdot K_{\text{д}}}{U_{\text{с}}}$$

$$\text{КОСС} = 20 \lg \left(\frac{K_{\text{д}}}{K_{\text{с}}} \right)$$

2.3 Исследование работы инструментального усилителя на 2-х ОУ (ИОУ-2)

в статическом режиме

1. Откройте схему dif_2.ms10 (рис.5).

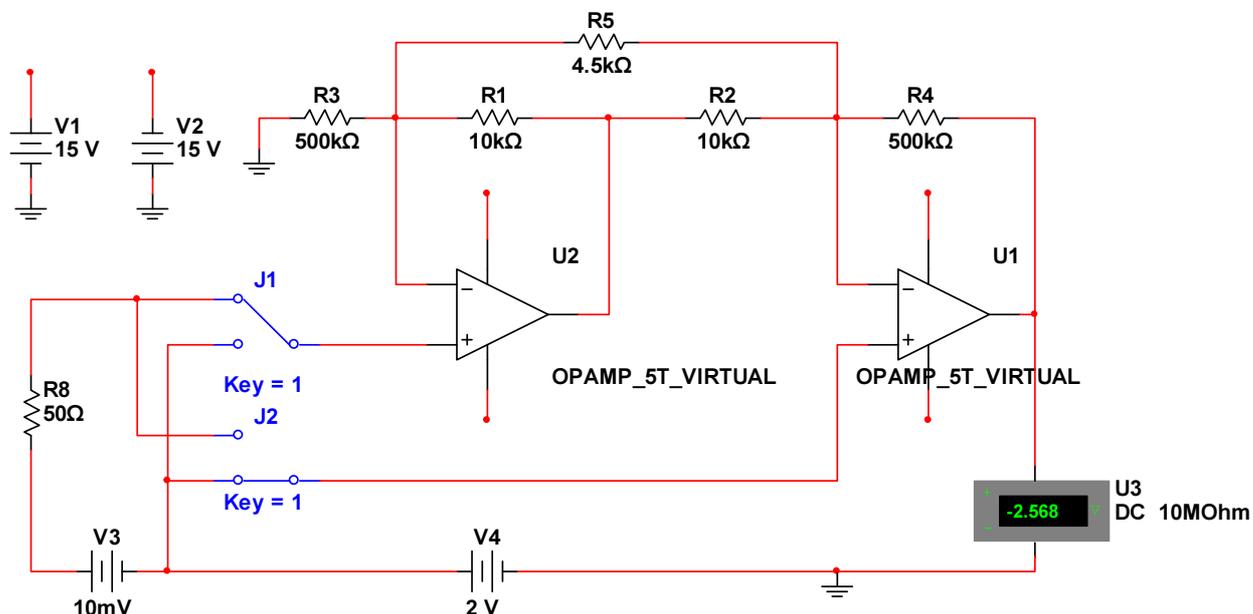


Рис.6 Схема моделирования инструментального усилителя на 2-х ОУ.

На рис.6 представлена схема ИОУ-2, выполненная на 2-х ОУ (U1,U2). Назначение элементов схемы аналогично схеме, приведенной на рис.2. Схема ИОУ-2 в отличие от ИОУ-1 обладает большим входным сопротивлением, а регулировка коэффициента усиления осуществляется резистором R_5 .

2. Запустите моделирование и уясните работу схемы.

3. Рассчитайте и измените параметры схемы ИОУ-2 в соответствии с дополнительными параметрами, приведенными в таблице 4. Остальные параметры должны соответствовать таблице 1.

Таблица 4. Дополнительные параметры к ИОУ-2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m	5	7	8	6	5	4	8	7	6	5
$KOCC_2$ (дБ)	85	75	80	70	85	80	80	70	85	80
U_{CM02} (мВ)	0,5	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5	0,5	0,4

1) Определите сопротивление резистора R_5

$$K_d = m + 1 + \frac{R_1 + R_3}{R_5} \quad \rightarrow \quad R_5 = \frac{R_1 + R_3}{K_d - m - 1}$$

4. Оцените влияние внутреннего сопротивления источника сигнала R_8 на выходной сигнал. Данные занесите в таблицу 5. Сравните результаты с результатами, полученными для ИОУ-1.

Таблица 5. Влияние сопротивления датчика на ИОУ-2

	$R_8 = 0$	$R_8 = R_{8\text{ ном}}$	$R_8 = 0,5R_1$	$R_8 = R_1$
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$				

5. Исследуйте влияние изменений синфазного сигнала V_4 на выходное напряжение ИОУ-2 при отклонении резистора R_2 от номинала на величину $\pm\delta R_2$. По результатам моделирования ИОУ-2 заполните таблицу 6.

Таблица 6. Результаты исследования КОСС ИОУ-2

Вариант		$U_{\text{вх}}=V_4,$ (мВ)	$U_{\text{вых}},$ ($V_4=-E_c$)	$U_{\text{вых}},$ ($V_4=0$)	$U_{\text{вых}},$ ($V_4=2 \times E_c$)	K_c	КОСС, дБ
1	$R_2=R_{2\text{ мин}}$	U_d					
2	$R_2=R_{2\text{ ном}}$	U_d					
3	$R_2=R_{2\text{ макс}}$	U_d					
4	$R_2=R_{2\text{ макс}}$	$\pm U_d$					

2.4. Исследование работы инструментального усилителя на 3-х ОУ (ИОУ-3)

в статическом режиме

1. Откройте схему iou.ms10 (рис.6).

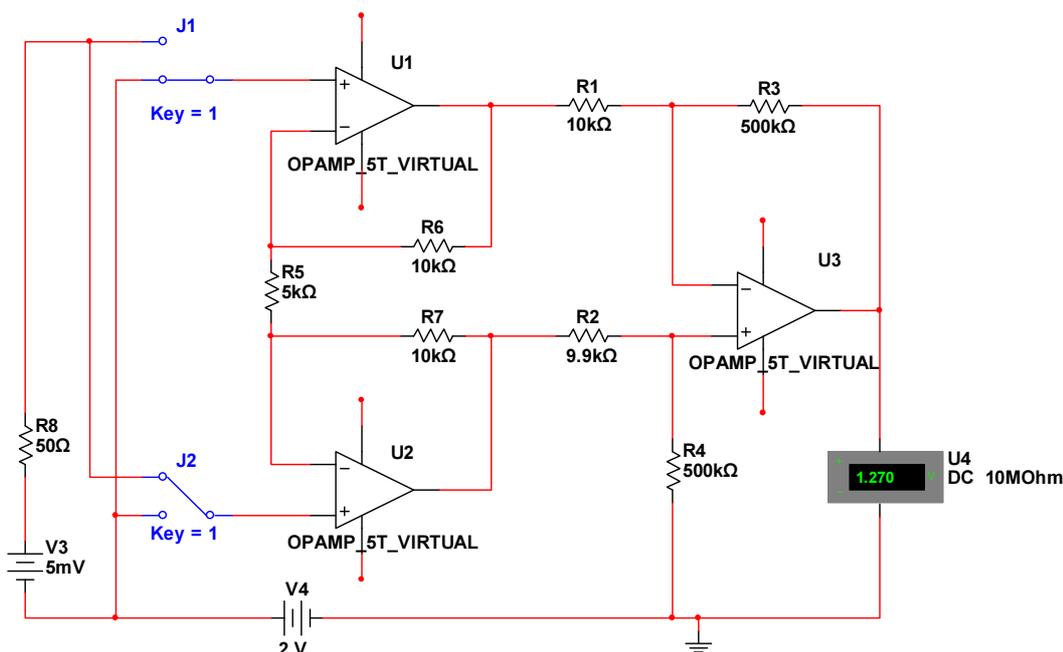


Рис.7 Схема моделирования инструментального усилителя на 3 ОУ.

На рис.7 представлена схема ИОУ-3, выполненная на 3-х ОУ (U1, U2, U3). Входные каскады (U1, U2) работают в режиме повторителей, а выходной каскад (U3) в режиме диф. усилителя с фиксированным коэффициентом передачи. Схема обладает большим входным сопротивлением, а регулировка коэффициента усиления осуществляется резистором R_5 . Назначение остальных элементов схемы аналогичны схеме, приведенной на рис.2.

2. Запустите моделирование и уясните работу схемы.
3. Рассчитайте и измените параметры схемы ИОУ-3 в соответствии с дополнительными данными, приведенными в табл. 7. Остальные параметры должны соответствовать табл. 1 и табл. 3

Таблица 7. Дополнительные параметры к ИОУ-3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_6=R_7$ [кОм]	20	10	15	10	20	15	20	10	15	10
$KOCC_3$ (дБ)	80	85	70	80	80	75	70	80	75	85
$U_{см3}$ (мВ)	0,5	0,4	0,5	0,3	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7

- 1) Определите величину резистора R_1 . Принять отношение $R_3/R_1 = m_2$

$$R_1 = R_3/m_2$$

- 2) Рассчитайте сопротивление резистора R_5 , задающего K_d

$$K_d = m \cdot \left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) \rightarrow \alpha = \frac{2}{\frac{K_d}{m} - 1}$$

$$R_5 = \alpha \cdot R_6$$

4. Оцените влияние внутреннего сопротивления источника сигнала R_8 на выходной сигнал. Данные занесите в таблицу 8. Сравните результаты с результатами, полученными для предыдущих схем.

Таблица 8. Влияние сопротивления датчика на ИОУ-3

	$R_8 = 0$	$R_8 = R_{8\text{ ном}}$	$R_8 = 0,5R_6$	$R_8 = R_6$
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$				

5. Исследуйте влияние изменений синфазного сигнала V_4 на выходное напряжение ИОУ-3 при отклонении резистора R_2 от номинала на величину $\pm\delta R_2$. По результатам моделирования ИОУ-3 заполните таблицу 9.

Таблица 9. Результаты исследования КОСС ИОУ-3

Вариант		$U_{\text{вх}}=V_4,$ (мВ)	$U_{\text{вых}},$ ($V_4=-E_c$)	$U_{\text{вых}},$ ($V_4=0$)	$U_{\text{вых}},$ ($V_4=2 \times E_c$)	K_c	КОСС, дБ
1	$R_2=R_{2\text{ min}}$	U_d					
2	$R_2=R_{2\text{ ном}}$	U_d					
3	$R_2=R_{2\text{ max}}$	U_d					
4	$R_2=R_{2\text{ max}}$	$\pm U_d$					

Объясните полученные результаты и сравните их с результатами, полученными для ИОУ-1 и ИОУ-2

Содержание отчета

- схемы моделирования,
- расчет параметров схем моделирования,
- результаты моделирования (осциллограммы, таблицы и графики),
- сопоставление результатов моделирования с теорией.

Контрольные вопросы

1. Функциональные схемы измерительных усилителей.
2. Достоинства и недостатки различных типов измерительных усилителей.
3. Основные соотношения для различных типов измерительных усилителей.
4. Каким образом можно увеличить КОСС измерительных усилителей?
5. Каким образом можно исключить влияние синфазных составляющих на результат измерения?