

Практическое занятие №15

ИНВЕРТИРУЮЩИЙ СУММАТОР, НЕИНВЕРТИРУЮЩИЙ СУММАТОР, РАЗНОСТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ, ИНТЕГРАТОР

Теоретические сведения

ИНВЕРТИРУЮЩИЙ СУММАТОР

Получим выражение для выходного напряжения инвертирующего сумматора (рис. 1).

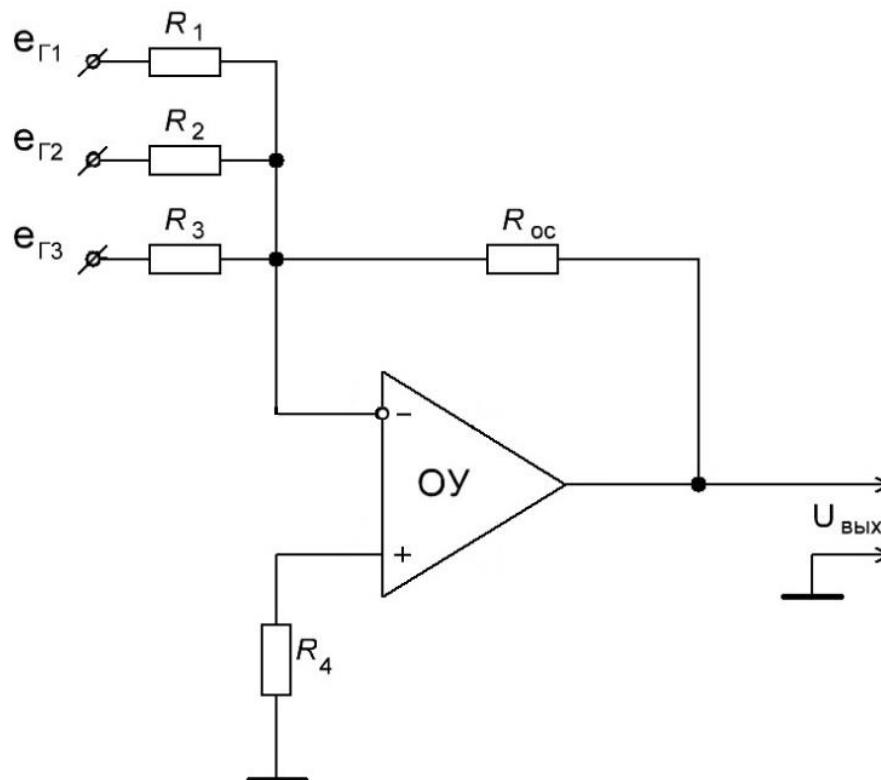


Рис. 1. Инвертирующий сумматор

Поскольку у идеального операционного усилителя ($K_{UOУ} \rightarrow \infty$, $R_{выхOУ} \rightarrow \infty$, т.е. входные токи ОУ не протекают) потенциалы инвертирующего и неинвертирующего входов равны, получим для схемы на рис. 1 $\varphi_{И} = \varphi_{НИ} = 0$. Тогда по первому и второму законам Киргофа получим для узла $\varphi_{И}$:

$$\begin{aligned} I_{OC} &= I_1 + I_2 + I_3 \quad \text{или} \\ \frac{\varphi_{И} - U_{ВЫХ}}{R_{OC}} &= \frac{E_{Г1} - \varphi_{И}}{R_1} + \frac{E_{Г2} - \varphi_{И}}{R_2} + \frac{E_{Г3} - \varphi_{И}}{R_3} \quad \text{или} \quad (1) \\ \frac{-U_{ВЫХ}}{R_{OC}} &= \frac{E_{Г1}}{R_1} + \frac{E_{Г2}}{R_2} + \frac{E_{Г3}}{R_3}. \end{aligned}$$

Отсюда

$$U_{\text{ВЫХ}} = -R_{\text{ОС}} \left(\frac{E_{r1}}{R_1} + \frac{E_{r2}}{R_2} + \frac{E_{r3}}{R_3} \right). \quad (2)$$

Выражение (2) показывает, что можно регулировать усиление по каждому входу, выбирая нужное сопротивление входной ветви R_1, R_2, R_3, \dots (входов сумматора может быть много).

В частном случае, когда $R_1 = R_2 = R_3 = R_{\text{ОС}}$, $U_{\text{ВЫХ}}$ просто равно сумме входных напряжений, взятых с обратным знаком:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -(E_1 + E_2 + E_3). \quad (3)$$

НЕИНВЕРТИРУЮЩИЙ СУММАТОР

Для неинвертирующего сумматора (рис. 2) выражением для выходного напряжения будет

$$U_{\text{ВЫХ}} = \varphi_{\text{И}} \left(1 + \frac{R_5}{R_4} \right) = \varphi_{\text{НИ}} \left(1 + \frac{R_5}{R_4} \right) =$$

$$= \left(\frac{E_{r1}}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_3}} + \frac{E_{r2}}{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_3}} + \frac{E_{r3}}{1 + \frac{R_3}{R_1} + \frac{R_3}{R_2}} \right) \left(1 + \frac{R_5}{R_4} \right). \quad (4)$$

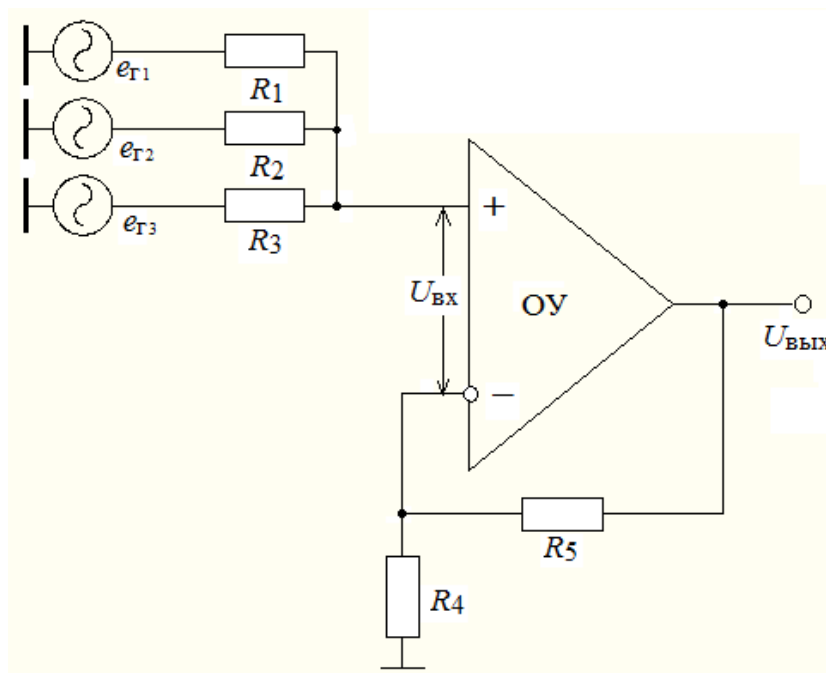


Рис. 2. Неинвертирующий сумматор

Если принять $R_1 = R_2 = R_3$, то

$$U_{\text{ВЫХ}} = \left(\frac{E_{r1}}{3} + \frac{E_{r2}}{3} + \frac{E_{r3}}{3} \right) \left(1 + \frac{R_5}{R_4} \right) = \frac{1}{3} (E_{r1} + E_{r2} + E_{r3}) \left(1 + \frac{R_5}{R_4} \right). \quad (5)$$

При $R_5 = 2R_4$

$$U_{\text{ВЫХ}} = \left(\frac{E_{r1}}{3} + \frac{E_{r2}}{3} + \frac{E_{r3}}{3} \right) 3 = E_{r1} + E_{r2} + E_{r3}, \quad (6)$$

т.е. сумматор будет просто суммировать входные напряжения.

РАЗНОСТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ.

Разностный усилитель (рис. 3) 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:

$$U_{\text{ВЫХ}} = K_{U_{\text{ИНВ}}} E_1 + K_{U_{\text{НЕИНВ}}} E_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} = -\frac{R_2}{R_1} E_1 + \frac{R_1 + R_2}{R_1} \frac{R_4}{R_3 + R_4} E_2. \quad (7)$$

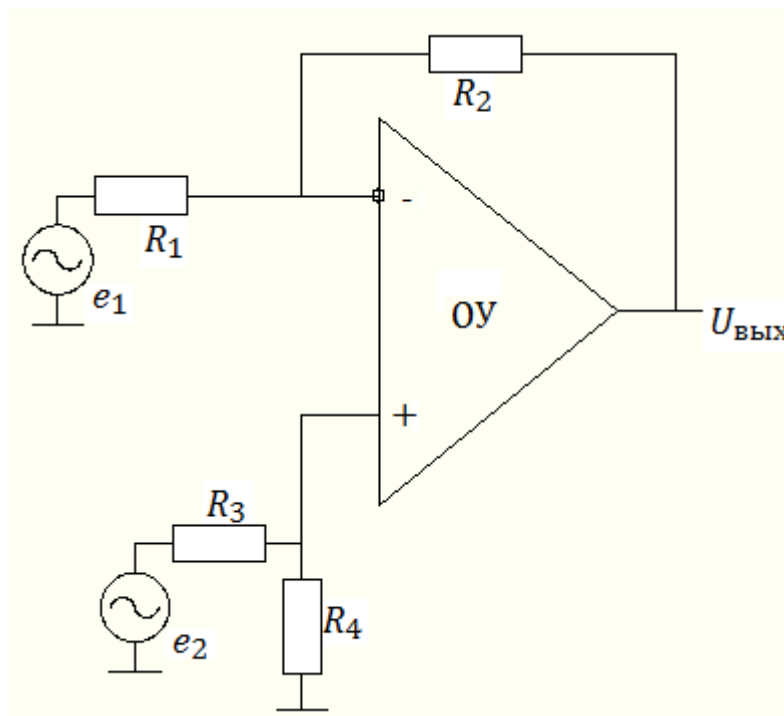


Рис. 3. Схема разностного усилителя

ИНТЕГРАТОРЫ НА ОУ

Простейшая схема интегратора на ОУ показана на рис. 4. Поскольку у идеального операционного усилителя потенциалы обоих входов равны, получим для схемы на рис. 4 $\varphi_{\text{И}} = \varphi_{\text{НИ}} = 0$. Тогда по первому и второму законам Киргофа получим для узла $\varphi_{\text{И}}$:

$$I_C = I_R = (U_{\text{ВХ}} - 0) / R = U_{\text{ВХ}} / R. \quad (8)$$

Напряжение на конденсаторе u_C и выходное напряжение усилителя изменяются по закону

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = u_C - 0 = u_C = \frac{1}{C} \int_0^t i_C dt = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_{\text{ВХ}}(t) dt. \quad (9)$$

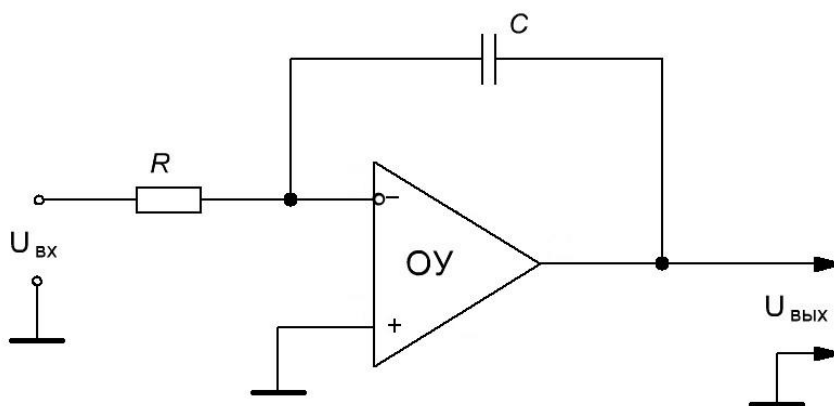


Рис. 4. Схема интегратора на ОУ

При подаче на вход скачка напряжения с амплитудой $U_{\text{ВХ}} = \text{const}$ выходное напряжение

$$U_{\text{ВЫХ}} \approx -U_{\text{ВХ}} t / (RC) = -u_{\text{ВХ}} t / \tau. \quad (10)$$

Задачи для решения

1. В схеме инвертирующего сумматора на рис. 1 $E_{Г1} = 0,1 \text{ В}$, $E_{Г2} = -2 \text{ В}$, $E_{Г3} = 0,05 \text{ В}$, $R1 = R2 = 500 \text{ Ом}$, $R3 = 1 \text{ кОм}$, $R_{\text{ОС}} = 3 \text{ кОм}$. Чему равны выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ и ток в цепи обратной связи $I_{\text{ОС}}$?

(Подсказка: ток в цепи обратной связи протекает между узлами с потенциалами $U_{\text{ВЫХ}}$ и φ_u через резистор $R_{\text{ОС}}$.)

2. В схеме инвертирующего сумматора на рис. 1 $E_{Г1} = 0,3 \text{ В}$, $E_{Г2} = 1 \text{ В}$, $R1 = 300 \text{ Ом}$, $R2 = 100 \text{ Ом}$, $R3 = 500 \text{ Ом}$, $R_{\text{ОС}} = 2 \text{ кОм}$. Каким должно быть напряжение $E_{Г3}$, чтобы напряжение на выходе схемы было равно 2 В?

3. В схеме неинвертирующего сумматора на рис. 2 $E_{Г1} = 0,25 \text{ В}$, $E_{Г2} = 0,3 \text{ В}$, $E_{Г3} = -2 \text{ В}$, $R1 = R2 = R3 = 2 \text{ кОм}$, $R4 = 10 \text{ кОм}$, $R5 = 25 \text{ кОм}$. Чему равны выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ и ток в цепи обратной связи $I_{\text{ОС}}$ (через резистор $R5$)? Операционный усилитель считать идеальным.

(Подсказка: ток в цепи обратной связи протекает между узлами $U_{\text{ВЫХ}}$ и «землей» через последовательно включенные резисторы $R5$ и $R4$.)

4. В схеме неинвертирующего сумматора на рис. 2 $E_{Г1} = 0,4 \text{ В}$, $E_{Г3} = 0,1 \text{ В}$, $R1 = 100 \text{ Ом}$, $R2 = 200 \text{ Ом}$, $R3 = 300 \text{ Ом}$, $R4 = 2 \text{ кОм}$, $R5 = 10 \text{ кОм}$. Каким должно быть напряжение $E_{Г2}$, чтобы напряжение на выходе схемы было равно 5 В?

5. В схеме разностного усилителя на рис. 3 $R1 = 1 \text{ кОм}$, $R2 = 15 \text{ кОм}$, $R3 = 200 \text{ Ом}$, $R4 = 100 \text{ Ом}$, $E_2 = 0,3 \text{ В}$. Какое нужно подать напряжение E_1 , чтобы на выходе было напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = -10 \text{ В}$?

6. Для интегратора (рис. 4) найти R , при котором выходное напряжение

изменяется по закону: $U_{\text{ВЫХ}} = -10 \int_0^t U_{\text{ВХ}} dt$, если $C = 1 \text{ мкФ}$.

7. На вход интегратора (рис. 4) подается скачок напряжения $U_{\text{вх}}$ с амплитудой 1 В. Параметры схемы: $R = 1 \text{ кОм}$; $C = 0,1 \text{ мкФ}$. Найти значения выходного напряжения через 1 мкс и 10 мкс после подачи входного сигнала.