

## Практическое занятие №15

# ИНВЕРТИРУЮЩИЙ СУММАТОР, НЕИНВЕРТИРУЮЩИЙ СУММАТОР, РАЗНОСТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ, ИНТЕГРАТОР

### Теоретические сведения

### ИНВЕРТИРУЮЩИЙ СУММАТОР

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

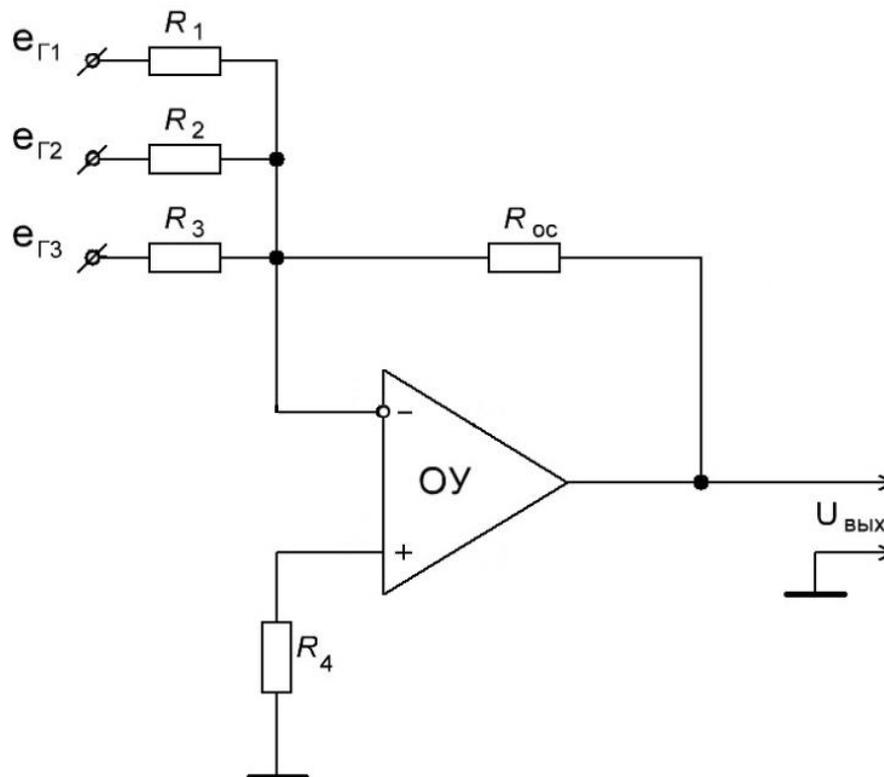


Рис. 1. Инвертирующий сумматор

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

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

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

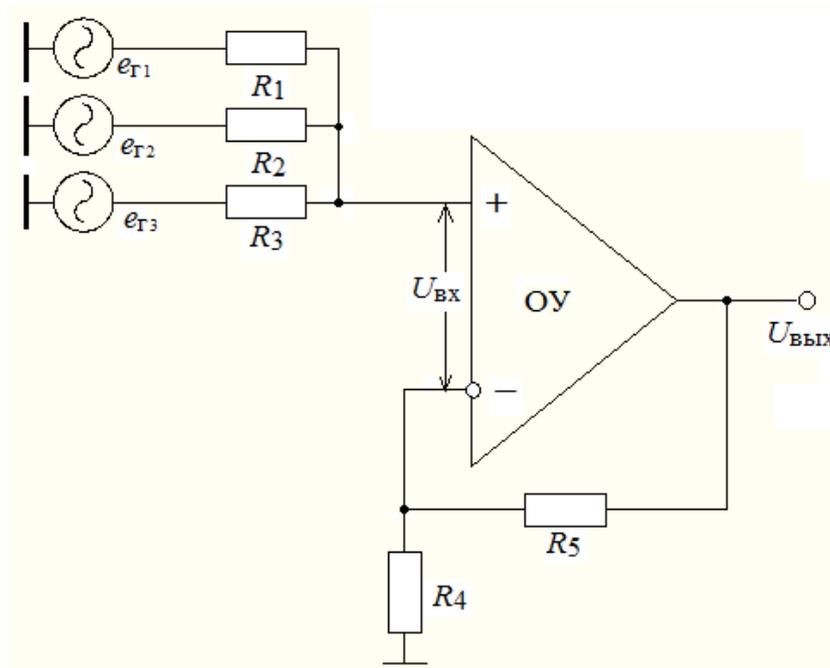


Рис. 2. Неинвертирующий сумматор

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:

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

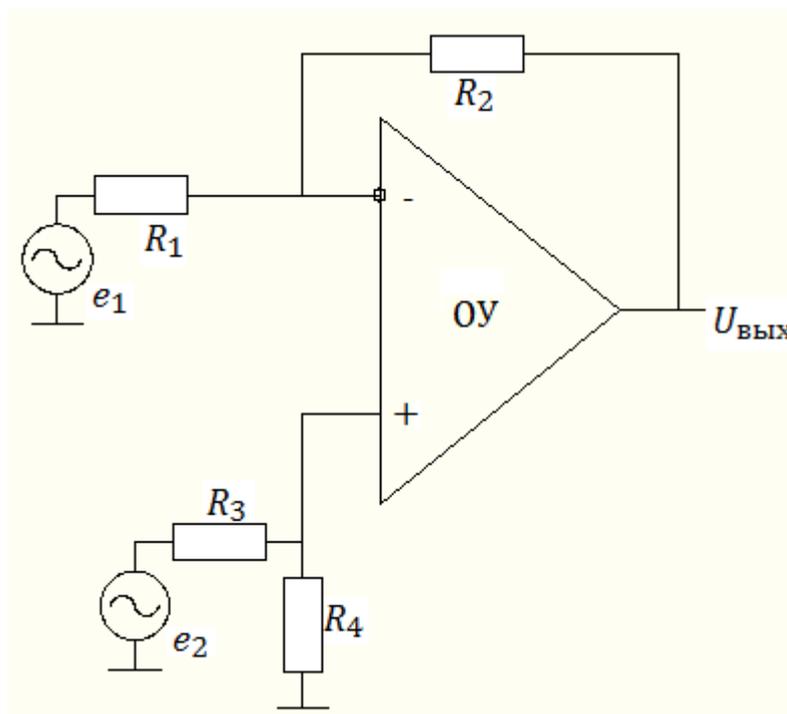


Рис. 3. Схема разностного усилителя

### 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

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

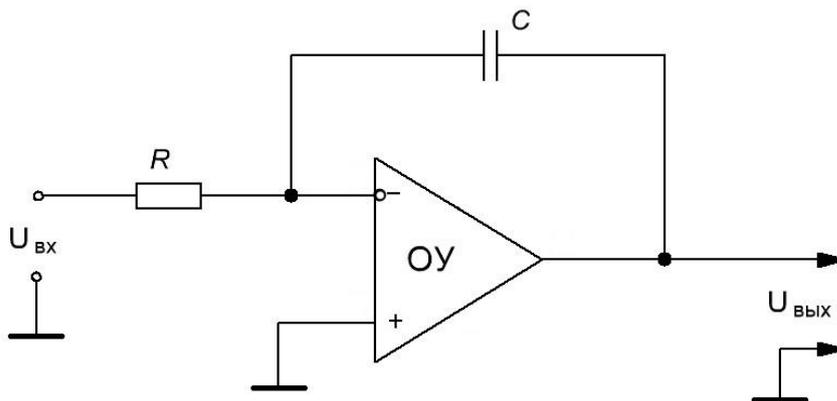


Рис. 4. Схема интегратора на ОУ

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  $\varphi_u$  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:  $R = 1$  кОм;  $C = 0,1$  мкФ. Найти значения выходного напряжения через 1 мкс и 10 мкс после подачи входного сигнала.