

Типовые схемы включения операционных усилителей

Операционные усилители используются в трех основных схемах включения: инвертирующей, неинвертирующей и комбинированной. Рассмотрим их.

1. Инвертирующее включение

Схема инвертирующего включения операционного усилителя приведена на рис. 1.

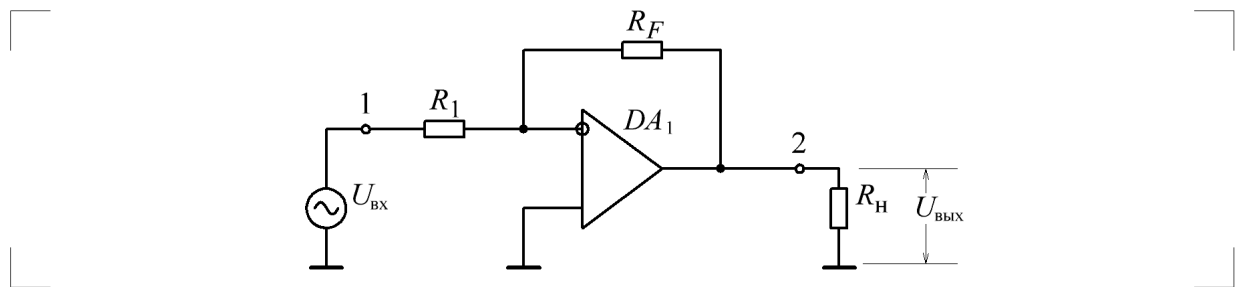


Рис. 1

Найдем коэффициент усиления по напряжению от точки подключения источника сигнала (точка 1) до точки подключения нагрузки (точка 2). В соответствии с теорией обратной связи коэффициент передачи по напряжению усилительного тракта, охваченного отрицательной обратной связью выражается формулой

$$K_{12F} = \frac{K_{12}}{1 - T_{ВХ}(0)} + k_{12}, \quad (1)$$

где k_{12} – коэффициент прямого прохождения сигнала по цепи обратной связи, K_{12} – коэффициент передачи в условиях разорванной обратной связи, $T_{ВХ}(0)$ – коэффициент петлевой передачи при коротком замыкании входных зажимов.

Если операционный усилитель обладает идеальными свойствами, то $k_{12} = 0$ в силу нулевого выходного сопротивления операционного усилителя (рис. 2).

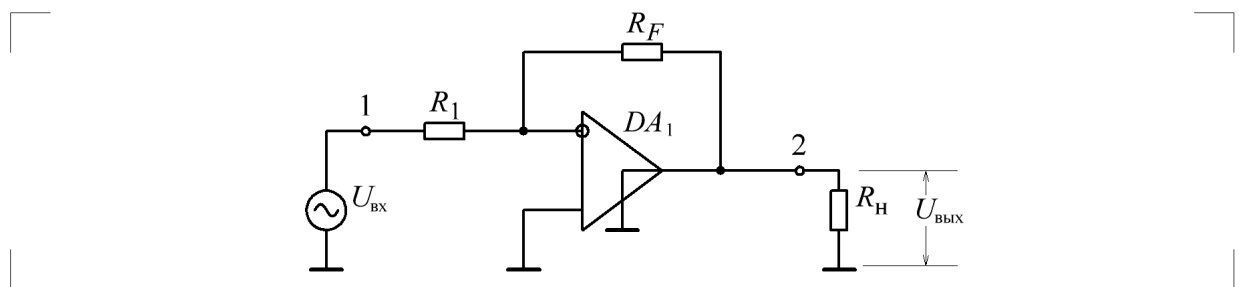


Рис. 2

Для нахождения $T_{ВХ}(0)$ сделаем разрыв петли обратной связи так, как это

показано на рис. 3.

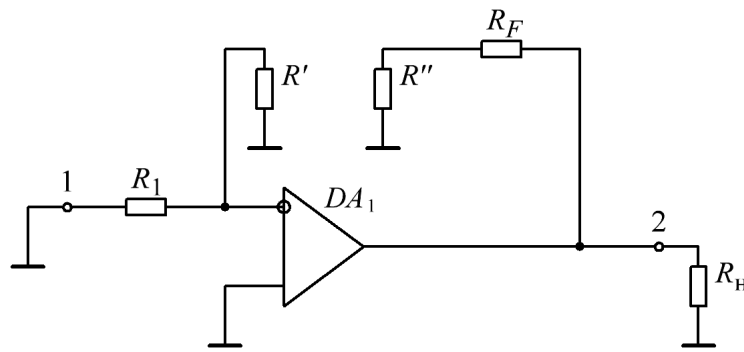


Рис. 3

Вследствие нулевого выходного сопротивления операционного усилителя $R' = R_F$, а $R'' = R_1$ из-за бесконечного входного. Петлевая передача находится следующим образом

$$T_{\text{вх}}(0) = K_- \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_F},$$

где K_- – коэффициент передачи по напряжению для инвертирующего входа операционного усилителя.

Исходный коэффициент передачи схемы при разорванной обратной связи

$$K_{12} = \frac{R_F}{R_1 + R_F} K_-.$$

Подставляя найденные значения в формулу (1), получаем

$$K_{12F} = \frac{\frac{R_F}{R_1 + R_F} K_-}{1 - \frac{R_1}{R_1 + R_F} K_-} = \frac{R_F K_-}{R_1 + R_F - R_1 K_-}.$$

При $K_- \rightarrow -\infty$ получаем, что

$$K_{12F} = -\frac{R_F}{R_1}$$

не зависит от точного значения K_- и определяется только элементами цепи обратной связи, точнее отношением сопротивлений резисторов.

Рассмотрим численный пример. Пусть выбраны следующие номиналы резисторов $R_1 = 1$ кОм, $R_F = 10$ кОм, а $K_- = -1000$ (не очень большое значение для операционного усилителя). Тогда приближенное значение коэффициента

усиления составит минус 10, а точное – минус 9,89.

Выбор конкретных значений сопротивлений в большой степени произволен. Важно, чтобы они существенно превышали собственное выходное сопротивление операционного усилителя и были много меньше его входных сопротивлений.

Инвертирующий повторитель напряжения получается при $R_1 = R_F$.

2. Неинвертирующее включение

Схема неинвертирующего включения операционного усилителя приведена на рис. 4.

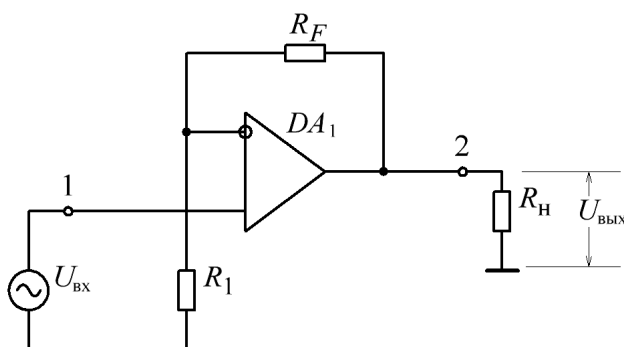


Рис. 4

В силу нулевого выходного сопротивления операционного усилителя коэффициент прямой передачи сигнала по цепи обратной связи $k_{12} = 0$ (рис. 5).

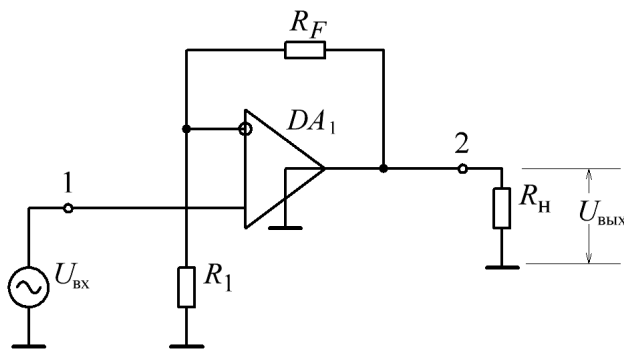


Рис. 5

Для нахождения $T_{вх}(0)$ сделаем разрыв петли обратной связи так, как это показано на рис. 6.

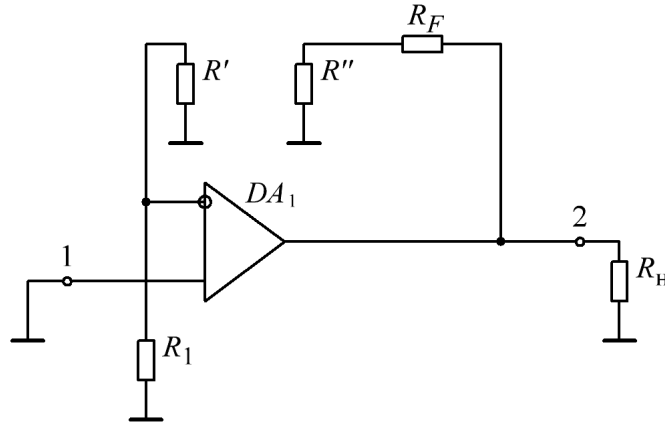


Рис. 6

Вследствие нулевого выходного сопротивления операционного усилителя $R' = R_F$, а $R'' = R_1$ из-за бесконечного входного. Петлевая передача находится следующим образом

$$T_{\text{вх}}(0) = K_- \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_F},$$

где K_- - коэффициент передачи по напряжению для инвертирующего входа операционного усилителя.

Исходный коэффициент передачи схемы при разорванной обратной связи $K_{12} = K_+$. В данном случае источник сигнала подключен к неинвертирующему входу.

Подставляя найденные значения в формулу (1), получаем

$$K_{12F} = \frac{K_+}{1 - \frac{R_1}{R_1 + R_F} K_-} = \frac{(R_1 + R_F) K_+}{R_1 + R_F - R_1 K_-}.$$

При $K_- \rightarrow -\infty$ и $K_+ \rightarrow +\infty$ получаем, что

$$K_{12F} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

не зависит от точных значений K_- и K_+ и определяется только элементами цепи обратной связи, точнее отношением сопротивлений резисторов.

Повторитель напряжения с единичным коэффициентом усиления можно получить при выполнении одного из двух или обоих условий: $R_1 \rightarrow \infty$, $R_F = 0$ (рис. 7).

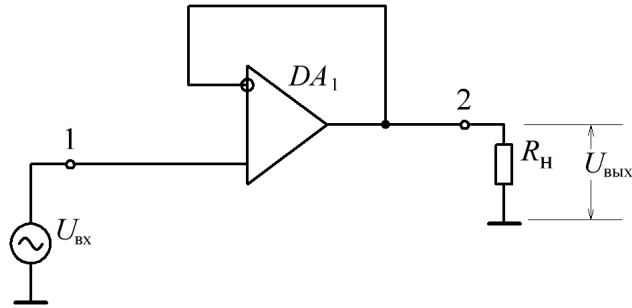


Рис. 7

3. Комбинированное включение

При комбинированном включении источники сигналов подключены к каждому из входов (рис. 8).

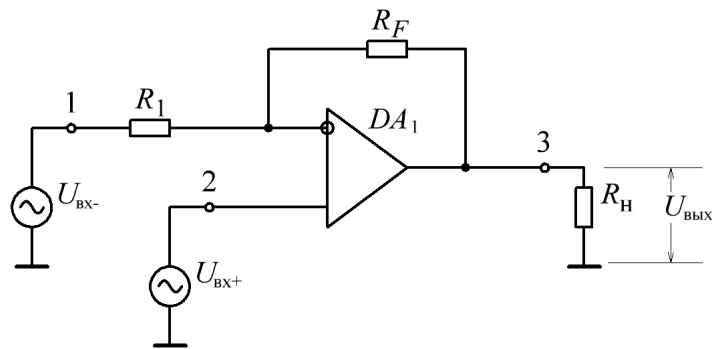


Рис. 8

Поскольку схема линейна, справедлив принцип суперпозиции, и передачу сигналов от каждого источника можно рассматривать независимо. Тогда

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}+} K_{12F+} + U_{\text{ВХ}-} K_{12F-} = U_{\text{ВХ}+} \left(1 + \frac{R_F}{R_1} \right) - U_{\text{ВХ}-} \frac{R_F}{R_1} .$$

Как следует из формулы, схема комбинированного включения обеспечивает взвешенную разность входных сигналов.