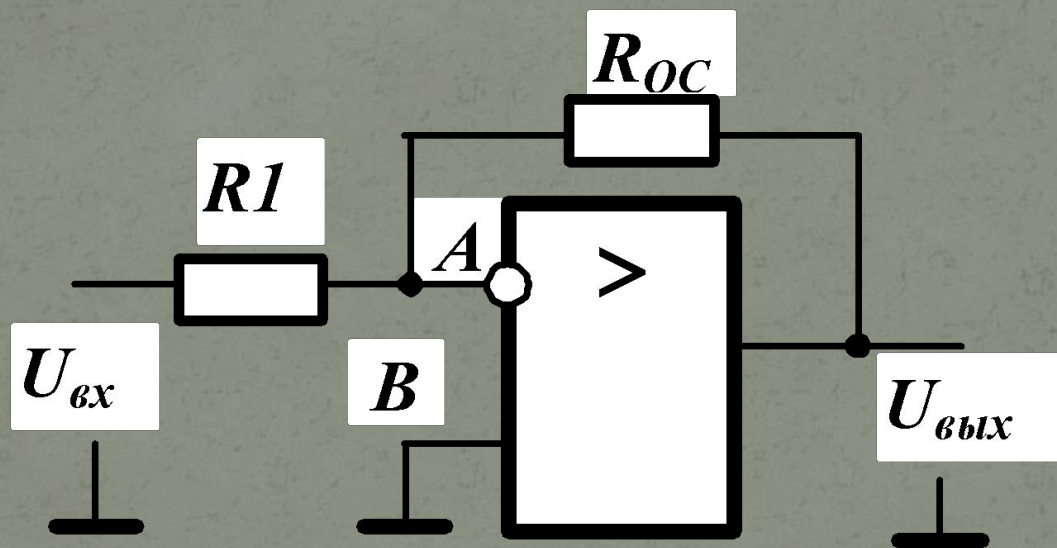


# Инвертирующий усилитель



Простейший инвертирующий усилитель

Неинвертирующий вход заземлен, т.е. находится под нулевым напряжением. Входной сигнал через резистор  $R_1$  подается на инвертирующий вход. Операционный усилитель охвачен параллельной отрицательной обратной связью по напряжению через резистор  $R_{OC}$ .

$$U_A = U_B = 0;$$

Следовательно, потенциал точки  $A$  в первом приближении, равен потенциалу общей шины – «земли». Поэтому эта точка получила наименование «виртуальной земли».

Выражения для токов  $I_{вх}$ ,  $I_{OC}$ :

$$I_{вх} = \frac{U_{вх} - U_A}{R_1} = \frac{U_{вх}}{R_1}$$

$$I_{OC} = \frac{U_A - U_{вых}}{R_{OC}} = -\frac{U_{вых}}{R_{OC}}$$



Приравнивая их и учитывая, что  $K = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$ , получаем для коэффициента усиления инвертирующего усилителя

$$K_{\text{и ус}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = -\frac{R_{\text{OC}}}{R_1}$$

где знак минус указывает на изменение фазы выходного сигнала по сравнению с фазой входного на  $180^\circ$  (выходное напряжение находится в противофазе, инверсно, с входным напряжением). В связи с этим, если входной сигнал нарастает, то усиленный выходной – спадает, и наоборот, спадающему входному сигналу соответствует нарастающий выходной.

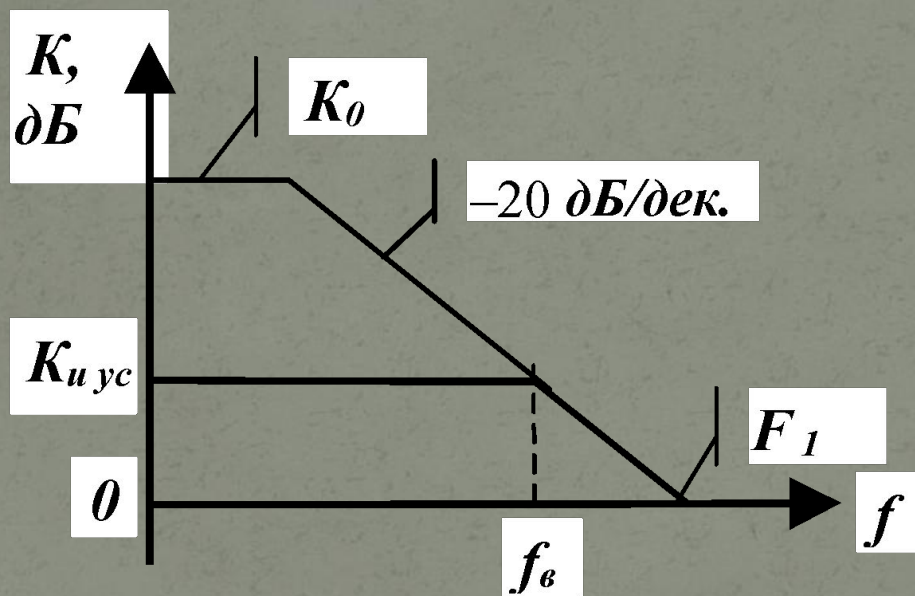
Так как напряжение в точке А равно нулю, то для источника входного сигнала «кажется», что между его входами включен резистор  $R_1$ , т.е.

$$R_{\text{вх и ус}} = R_1.$$

Большие коэффициенты усиления исходного ОУ соответствуют весьма узкому диапазону частот – от нуля до примерно нескольких десятков/сотен герц.

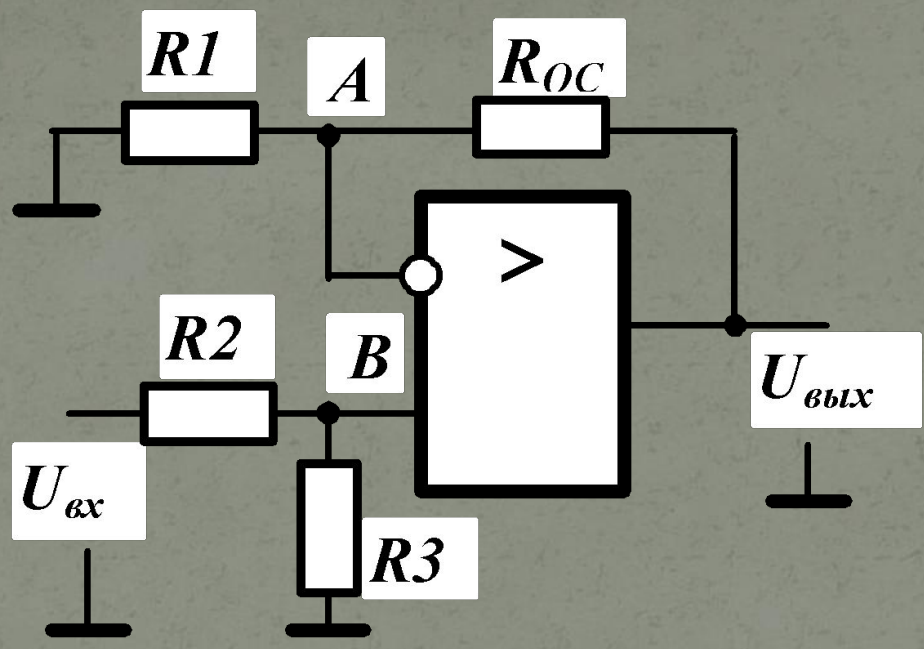
Равномерный коэффициент усиления инвертирующего усилителя простирается до верхней частоты, равной:

$$f_v = F_1 / K_{u\text{ ус}}$$



Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика ОУ и инвертирующего усилителя





Неинвертирующий усилитель

Входной сигнал поступает на неинвертирующий вход ОУ через делитель  $R_2$ ,  $R_3$ .  
Напряжение на прямом входе

$$U_B = U_{вх} \frac{R_3}{R_2 + R_3} = K_{дел} \cdot U_{вх}$$

где  $K_{дел}$  – коэффициент деления делителя  $R_2$ ,  $R_3$ .

Инвертирующий вход ОУ заземлен через резистор  $R_1$ . Напряжение на инвертирующем входе

$$U_A = U_{вых} \frac{R_1}{R_1 + R_{OC}}$$

Приравнивая эти напряжения получаем

$$K_{и ус} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = K_{дел} \left( 1 + \frac{R_{OC}}{R_1} \right)$$

В неинвертирующем усилителе выходное напряжение совпадает по фазе с входным. При отсутствии входного делителя

( $R_2 = 0$ ;  $R_3 \Rightarrow \infty$ ) коэффициент усиления всегда больше единицы.

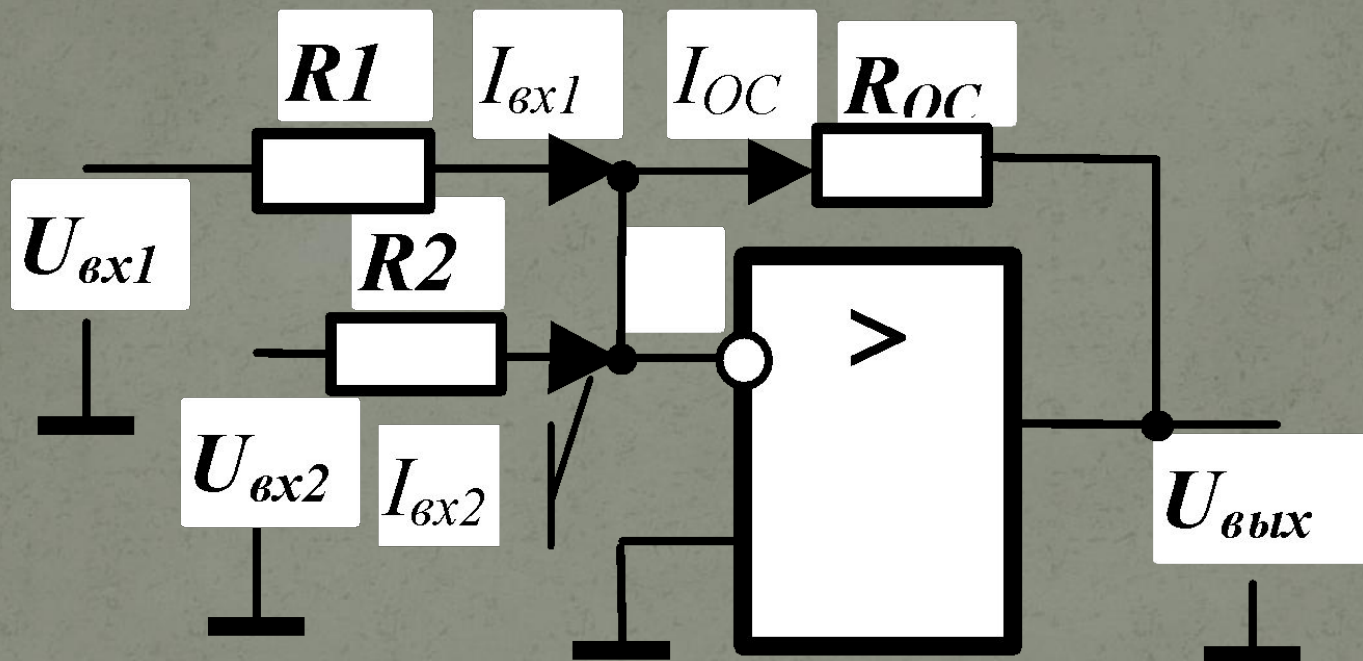
Амплитудно-частотная характеристика неинвертирующего усилителя подобна АЧХ инвертирующего усилителя .



# Сумматор на основе ОУ

*Сумматором* называется электронное устройство, имеющее несколько входов и один выход, напряжение на котором пропорционально сумме напряжений всех входов. Такие устройства применяются, когда необходимо объединить в одном канале сигналы различных источников (например, в микшерах, наложение в технике звукозаписи и т.п.)

Схема сумматора на основе ОУ приведена на следующем слайде. Она имеет два входа, однако можно использовать и большее их число, подключая их через резисторы к точке виртуальной земли  $A$ .



Сумматор на ОУ



Для определения зависимости выходного напряжения от входных воспользуемся принципом суперпозиции

$$I_{OC} = I_{вх1} + I_{вх2}$$

$$I_{вх1} = \frac{U_{вх1} - U_A}{R_1} = \frac{U_{вх1}}{R_1}, \quad I_{вх2} = \frac{U_{вх2} - U_A}{R_2} = \frac{U_{вх2}}{R_2}$$

$$I_{OC} = \frac{U_A - U_{вых}}{R_{OC}} - \frac{U_{вых}}{R_{OC}}$$

$$U_{вых} = -U_{вх1} \frac{R_{OC}}{R_1} - U_{вх2} \frac{R_{OC}}{R_2}$$

Откуда видно, что входные сигналы складываются со своими весовыми коэффициентами, – каждый из входных сигналов дополнительно умножается на некоторый коэффициент, определяющий его вклад в общий выходной сигнал. Весовой коэффициент задается отношением сопротивлений резистора в цепи ОС к сопротивлению резистора в соответствующей входной цепи. Суммирование осуществляется с изменением знака (инверсия входных сигналов). Если выполнить соотношение  $R_{OC} = R_1 = R_2$ , то можно осуществить чистое суммирование двух входных сигналов. Если выполняется только соотношение  $R_1 = R_2$ , то с помощью  $R_{OC}$  можно дополнительно масштабировать полученную сумму.