

7.8. ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Интегральные ОУ широко используются в радиоэлектронной аппаратуре благодаря своей универсальности. На ОУ реализуются различные усилительные устройства, генераторы импульсных и синусоидальных колебаний, фазовые и амплитудные дискриминаторы, различные

тройства аналоговой вычислительной техники. Вследствие невысокой стоимости интегральные ОУ широко применяются в качестве функциональных узлов низкочастотных усилителей.

В практических схемах операционный усилитель охватывается цепью ОС, включаемой между выходом и входом. Сопротивление цепи ОС может быть активным или комплексным.

При расчете схем на основе ОУ, охваченных цепью ОС, будем считать, что удовлетворяются два основных требования, предъявляемые к интегральным ОУ: бесконечно большой коэффициент усиления и входное сопротивление. Ввиду бесконечно большого коэффициента усиления ОУ значение дифференциального напряжения на его входах можно считать равным нулю, т. е. потенциалы инвертирующего и неинвертирующего входов такого ОУ оказываются одинаковыми. Бесконечно большое входное сопротивление ОУ позволяет пренебречь его входными токами.

Схема инвертирующего усилителя на основе ОУ показана на рис. 7.21, а. Так как потенциал неинверти-

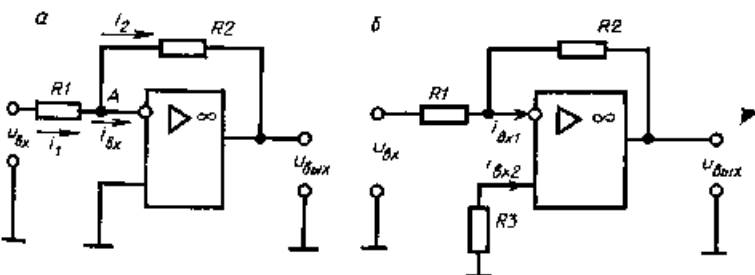


Рис. 7.21. Инвертирующее включение ОУ

рующего входа равен нулю, то на основании сделанного выше замечания можно считать равным нулю и потенциал инвертирующего входа. Считая также, что $i_{вх} = 0$, получим $i_1 = i_2$ или $(u_{вх} - 0)/R1 = (0 - u_{вых})/R2$. Согласно последнему уравнению $u_{вых} = -u_{вх}R2/R1$ и

$$K_u^{(-)} = u_{вых}/u_{вх} = -R2/R1. \quad (7.11)$$

Знак «минус» в полученной формуле означает, что полярность выходного напряжения противоположна входного напряжения (отсюда и название «инвертирующий»). Коэффициент усиления такого

усилителя определяется лишь соотношением сопротивлений резисторов $R1$ и $R2$ и не зависит от коэффициента усиления самого ОУ.

Так как потенциал точки A равен нулю, то входное сопротивление инвертирующего усилителя $R_{вх} = R1$.

В реальной схеме входной ток ОУ $i_{вх1} \neq 0$. Протекая через резисторы $R1$ и $R2$, этот ток создает на них некоторое напряжение

$$u = i_{вх1} \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2},$$

которое прикладывается к инвертирующему входу. В результате выходное напряжение отличается от нуля.

Чтобы напряжение между инвертирующим и неинвертирующим входами оставалось равным нулю, неинвертирующий вход подключают к общей точке (земле или корпусу) через резистор $R3$ (рис. 7.21, б). Сопротивление этого резистора выбирается таким, чтобы выполнялось равенство

$$i_{вх1} \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} = i_{вх2} R3.$$

При равенстве токов $i_{вх1}$ и $i_{вх2}$ получаем

$$R3 = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}.$$

В случае, когда $R2 \gg R1$, что имеет место при $|K_u^{(-)}| = R2/R1 \gg 1$, получим $R3 \approx R1$.

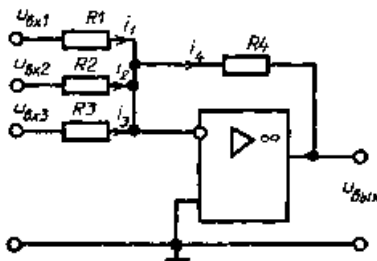


Рис. 7.22. Схема инвертирующего сумматора

Если к инвертирующему входу подключить несколько источников сигналов (рис. 7.22), то токи i_1 , i_2 и i_3 , протекающие во входных цепях, будут определяться выражениями:

$$i_1 = \frac{u_{вх1}}{R1}, \quad i_2 = \frac{u_{вх2}}{R2}, \quad i_3 = \frac{u_{вх3}}{R3}.$$

Считая $i_{вх} = 0$, получаем $i_4 = i_1 + i_2 + i_3$. Тогда

$$\begin{aligned} u_{вых} &= -i_4 R4 = -(i_1 + i_2 + i_3) R4 = \\ &= -\left(\frac{u_{вх1}}{R1} + \frac{u_{вх2}}{R2} + \frac{u_{вх3}}{R3}\right) R4. \end{aligned}$$

Следовательно, данная схема осуществляет суммирование входных напряжений с масштабными множителями $m_1 = -R4/R1$, $m_2 = -R4/R2$ и $m_3 = -R4/R3$.

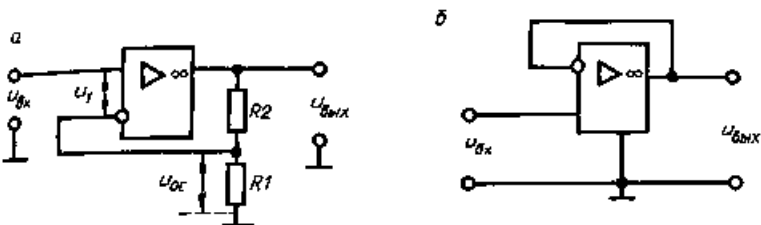


Рис. 7.23. Неинвертирующее включение ОУ

На рис. 7.23, а представлена схема неинвертирующего усилителя. В таком усилителе равенство $\dot{U}_1 = 0$ выполняется в том случае, если

$$u_{вх} = u_{ос} = \frac{u_{вых}}{R1 + R2} R1,$$

откуда следует

$$K_u^{(+)} = \frac{u_{вых}}{u_{вх}} = \frac{R1 + R2}{R1} = 1 + \frac{R2}{R1}. \quad (7.12)$$

Отличительным свойством неинвертирующего усилителя является его высокое входное сопротивление, которое определяется по формуле

$$R_{вх} = R_{вх0}(1 + \beta K_{yu}),$$

где $R_{вх0}$ и K_{yu} — соответственно входное сопротивление и коэффициент усиления усилителя, не охваченного ОС.

Если на инвертирующий вход ОУ подать все выходное напряжение (рис. 7.23, б), что соответствует $R2 = 0$ в уравнении (7.12), то получится повторитель напряжения с коэффициентом передачи, равным единице.

Устройствосхема которого приведенана рис. 7.24,

представляет собой сочетание инвертирующего и неин-

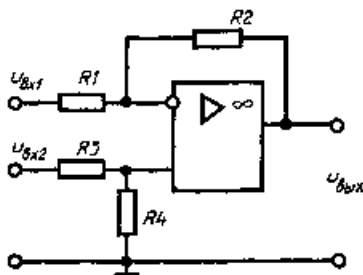


Рис. 7.24. Схема вычитающего устройства на ОУ

вертирующего усилителей. Выходное напряжение данной схемы

$$U_{\text{вых}} = \frac{u_{\text{вх}2}}{R3 + R4} R4 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) - u_{\text{вх}1} \frac{R2}{R1}.$$

Если $R1 = R3$, $R2 = R4$, то это выражение будет иметь вид

$$U_{\text{вых}} = \frac{u_{\text{вх}2}}{R1 + R2} R2 \frac{R1 + R2}{R1} - u_{\text{вх}1} \frac{R2}{R1} =$$

Следовательно, выходное напряжение такого устройства пропорционально разности входных напряжений.

В цепь ООС операционного усилителя можно включить не только активные (резисторы), но и реактивные элементы (например, конденсаторы).

На рис. 7.25, а приведена схема устройства на ОУ, в котором вместо резистора ОС включен конденсатор С.

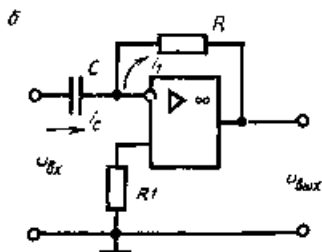
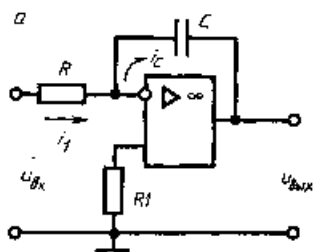


Рис. 7.25. Схемы интегрирующего (а) и дифференцирующего (б) усилителей

В этой схеме $u_{\text{вых}} = -u_C$, $i_1 = i_C$. Так как

$$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt \text{ и } i_C = i_1 = \frac{u_{\text{вх}}}{R},$$

то

$$u_C = \frac{1}{RC} \int u_{\text{вх}} dt$$

и

$$u_{\text{вых}} = -\frac{1}{RC} \int u_{\text{вх}} dt.$$

Следовательно, усилитель, схема которого приведена на рис. 7.25, а, является интегрирующим.

В схеме, приведенной на рис. 7.25, б, $u_{\text{вых}} = -u_R = -i_1 R$. Так как $i_1 = i_C = C du_C / dt$, а $u_C = u_{\text{вх}}$, то $u_{\text{вых}} = -RC du_{\text{вх}} / dt$.

Согласно этому выражению, ОУ, включенный в соответствии с рис. 7.25, б, выполняет операцию дифференцирования входного напряжения. Поэтому такой усилитель называется дифференцирующим.