

В случае, если напряжение питания $E_{\text{ПИТ}}$ находится в интервале от 4,5 до 5,5 В, выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ равно $+U$, а напряжение на схеме сигнализации $U_{\text{СС}}$ равно нулю, рис. 2.13. Если $E_{\text{ПИТ}}$ выходит за установленный допуск, $U_{\text{ВЫХ}}=0$, схема сигнализации получает питание ($U_{\text{СС}}=+U$) и сигнализирует о нарушении питания устройства.

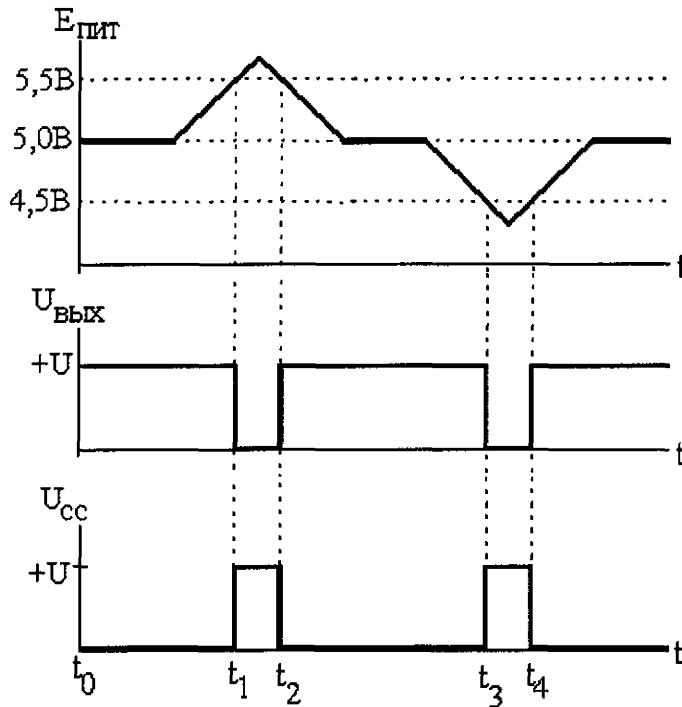


Рис. 2.13. Временные диаграммы работы устройства контроля напряжения питания

Если $E_{\text{ПИТ}}=5\pm 0,5$ В (моменты времени t_0-t_1 , t_2-t_3), $U_{\text{ОП1}} > E_{\text{ПИТ}} > U_{\text{ОП2}}$ ($U_{\text{ОП1}} = 5,5$ В и $U_{\text{ОП2}} = 4,5$ В) и на выходе обеих микросхем DA_1 и DA_2 напряжение равно $+U$, а напряжение на схеме сигнализации $U_{\text{СС}}$ равно нулю.

Когда $E_{\text{ПИТ}} > U_{\text{ОП1}}$ (t_1-t_2), дифференциальное входное напряжение DA_1 отрицательно и ее выходное напряжение равно потенциалу земли ($U_{\text{ВЫХ}}=0$). Схема сигнализации получает питание ($U_{\text{СС}}=+U$).

В случае, если $E_{\text{ПИТ}} < U_{\text{ОП2}}$ (t_3-t_4) $E_{\text{ДИФ}} DA_2$ отрицательно, $U_{\text{ВЫХ}}=0$, $U_{\text{СС}}=+U$.

Рассмотренное устройство контроля напряжения питания реализует логическую функцию «ИЛИ»: схема сигнализации включается или в случае, когда $E_{\text{ПИТ}} > U_{\text{ОП1}}$, или если $E_{\text{ПИТ}} < U_{\text{ОП2}}$.

2.2. ОУ в инвертирующем и неинвертирующем включении

Во многих случаях ОУ применяется с отрицательной обратной связью. При этом характеристики схемы не зависят от коэффициента усиления операционного усилителя без обратной связи K , а определяются только параметрами внешних элементов.

Инвертирующий усилитель. Этот усилитель изменяет полярность усиливаемого сигнала на противоположную, рис. 2.14.

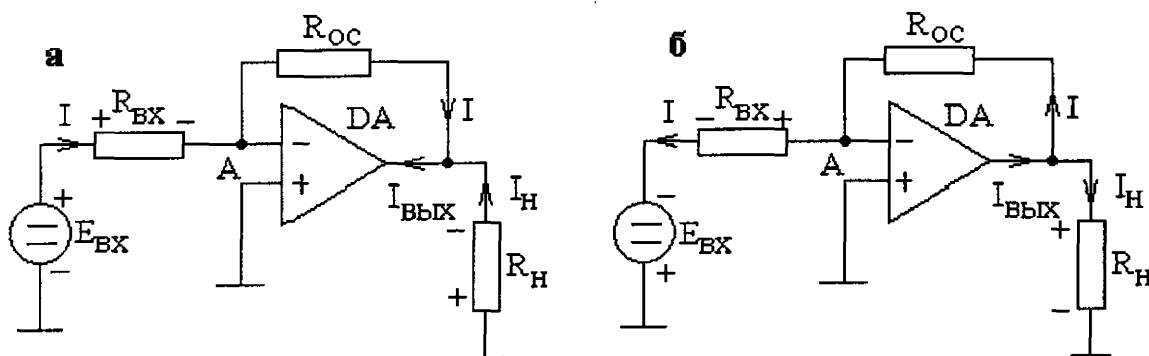


Рис. 2.14. Инвертирующий усилитель:
а – положительная полярность входного напряжения;
б – отрицательная полярность входного напряжения

Согласно правилу 1 потенциал точки А равен потенциалу земли. Поэтому точку А можно назвать виртуальной землей. Через резистор $R_{ВХ}$ протекает ток

$$I = \frac{E_{ВХ}}{R_{ВХ}}, \quad (2.1)$$

направление которого зависит от полярности входного напряжения. В $R_{ВХ}$ входит также и внутреннее сопротивление источника сигнала. Согласно правилу 2 ток, протекающий через сопротивление обратной связи, также равен I . Этот ток создает на R_{OC} падение напряжения $U_{R_{OC}} = I \cdot R_{OC}$.

С учетом (2.1) это напряжение определяется следующим образом:

$$U_{R_{OC}} = E_{ВХ} \cdot \frac{R_{OC}}{R_{ВХ}}.$$

Учитывая, что точка А потенциально заземлена, напряжение на выходе ОУ равно

$$U_{ВЫХ} = -E_{ВХ} \cdot \frac{R_{OC}}{R_{ВХ}} = E_{ВХ} \cdot K_{OC}, \quad (2.2)$$

где $K_{OC} = -R_{OC}/R_{ВХ}$ – коэффициент передачи напряжения инвертирующего усилителя с ОС.

Знак «-» показывает, что выходное напряжение находится в противофазе со входным.

Ток нагрузки I_H определяется только её сопротивлением R_H и $U_{ВЫХ}$: $I_H = U_{ВЫХ}/R_H$. Ток в нагрузку отдает выходная цепь ОУ: $I_{ВЫХ} = I + I_H$. Максимальное значение $I_{ВЫХ}$ зависит от ОУ (типовое значение 5...20 мА). Сопротивление R_H должно быть таким, чтобы величина $I_{ВЫХ}$ не превышала

максимально допустимого значения для данного ОУ. В противном случае ОУ теряет работоспособность.

Входное сопротивление усилителя (рис. 2.14) для генератора $E_{ВХ}$ равно $R_{ВХ}$. Поэтому для повышения входного сопротивления схемы необходимо увеличения сопротивления $R_{ВХ}$ ($R_{ВХ} \geq 10$ кОм).

Инвертирующий сумматор. Схема трехвходового сумматора представлена на рис. 2.15. Потенциал суммирующей точки (точка А) равен потенциалу земли. Поэтому:

$$I_1 = \frac{E_{ВХ1}}{R}, \quad I_2 = \frac{E_{ВХ2}}{R}, \quad I_3 = \frac{E_{ВХ3}}{R}.$$

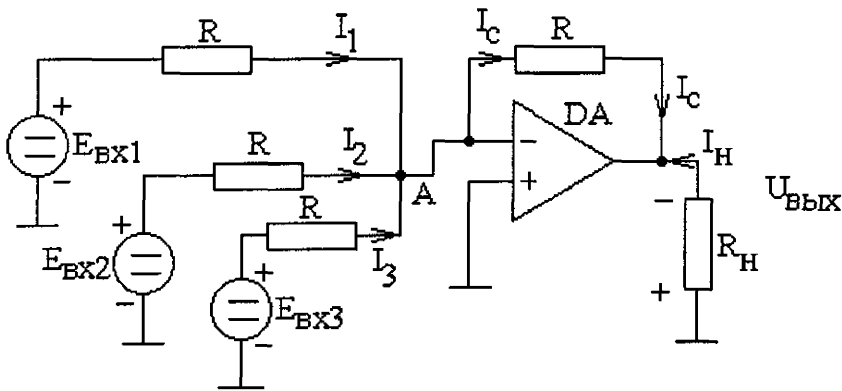


Рис. 2.15. Инвертирующий сумматор

Все эти токи проходят через $R_{ОС}$ ($I_C = I_1 + I_2 + I_3$). Это значит, что I_1 , I_2 , I_3 не влияют друг на друга, т.к. потенциал точки А равен потенциалу земли. Следовательно, и входные напряжения $E_{ВХ1}$, $E_{ВХ2}$, $E_{ВХ3}$ не взаимодействуют друг с другом.

По аналогии с инвертирующим усилителем (2.2):

$$U_{ВЫХ} = -I_C \cdot R_{ОС} = -(I_1 + I_2 + I_3) \cdot R_{ОС}.$$

Или учитывая, что $R_{ОС} = R$, имеем

$$U_{ВЫХ} = -\left(\frac{E_{ВХ1}}{R} + \frac{E_{ВХ2}}{R} + \frac{E_{ВХ3}}{R}\right) \cdot R = -(E_{ВХ1} + E_{ВХ2} + E_{ВХ3}).$$

Если в схеме (рис. 2.15) требуется просуммировать только два входных сигнала ($E_{ВХ1}$, $E_{ВХ2}$), третий вход можно просто заземлить.

В случае необходимости суммирования входных сигналов с разными весовыми коэффициентами целесообразно использовать схему рис. 2.16. Выходное напряжение сумматора определяется аналогично:

$$U_{ВЫХ} = -(I_1 + I_2 + I_3) \cdot R_{ОС} = -\left(E_{ВХ1} \cdot \frac{R_{ОС}}{R_1} + E_{ВХ2} \cdot \frac{R_{ОС}}{R_2} + E_{ВХ3} \cdot \frac{R_{ОС}}{R_3}\right).$$

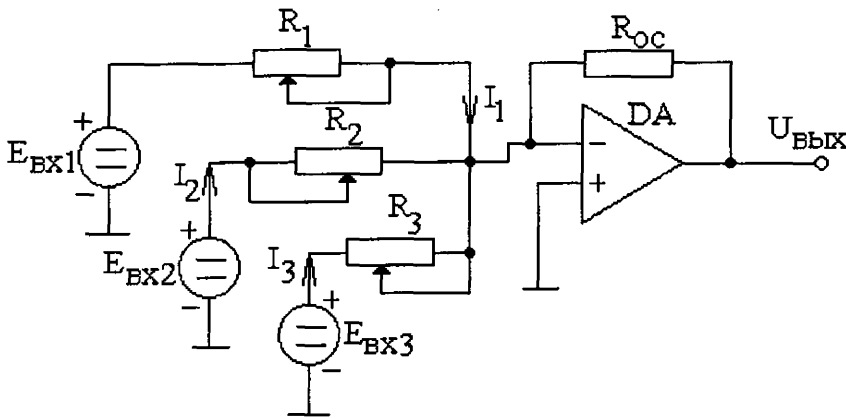


Рис. 2.16. Сумматор с регулировкой коэффициентов суммирования

Усредняющий усилитель. Усредняющий усилитель дает на выходе напряжение, пропорциональное среднему значению всех входных напряжений. В качестве такого усилителя может быть использован сумматор, рис. 2.15, если взять $R_{OC} = R/3$. В этом случае

$$U_{\text{ВЫХ}} = - \left(\frac{E_{\text{ВХ1}}}{R} + \frac{E_{\text{ВХ2}}}{R} + \frac{E_{\text{ВХ3}}}{R} \right) \cdot \frac{R}{3} = - \frac{1}{3} (E_{\text{ВХ1}} + E_{\text{ВХ2}} + E_{\text{ВХ3}}).$$

Повторитель напряжения. Для включения ОУ по схеме повторителя напряжения необходимо замкнуть его выход и вход (-), а входной сигнал подать на неинвертирующий вход, рис. 2.17.

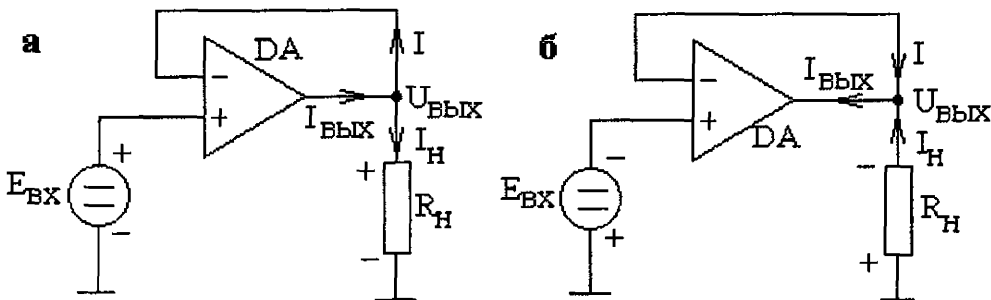


Рис. 2.17. Повторитель напряжения:
а – положительная полярность входного напряжения;
б – отрицательная полярность входного напряжения

Входное сопротивление схемы для $E_{\text{ВХ}}$ очень велико и измеряется мегаомами (согласно правилу 2 вход (+) тока не потребляет). Поэтому входная и выходная цепи оказываются гальванически изолированными друг от друга.

Другие названия схемы: *усилитель с единичным коэффициентом усиления, буферный усилитель, изолирующий усилитель*. Буферный усилитель не инвертирует входной сигнал и действительно имеет $K_{OC} = 1$ (правило 1), то есть $U_{\text{ВЫХ}} = E_{\text{ВХ}}$.

Неинвертирующий усилитель. Усилитель (рис. 2.18) не инвертирует входной сигнал.

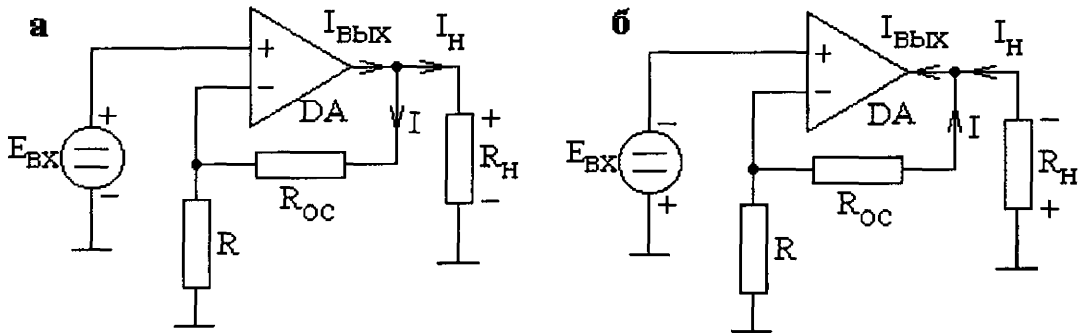


Рис. 2.18. Неинвертирующий усилитель:
 а – положительная полярность входного напряжения;
 б – отрицательная полярность входного напряжения

В отличие от инвертирующего неинвертирующий усилитель обладает большим входным сопротивлением. Согласно правилам 1 и 2 ток в цепи обратной связи $I = E_{ВХ}/R$ и создает падение напряжения на резисторе R_{OC} , равное $E_{ВХ} R_{OC}/R$.

Учитывая, что выходное напряжение складывается из падений напряжений на резисторе R_{OC} и R , можно записать:

$$U_{ВЫХ} = E_{ВХ} + E_{ВХ} \cdot \frac{R_{OC}}{R} = E_{ВХ} \cdot \left(1 + \frac{R_{OC}}{R}\right) = E_{ВХ} \cdot K_{OC}, \quad (2.3)$$

где $K_{OC} = (1 + R_{OC}/R)$ – коэффициент передачи напряжения неинвертирующим усилителем.

Сравнивая (2.2) и (2.3), нетрудно заметить, что коэффициент усиления по напряжению неинвертирующего усилителя равен абсолютной величине коэффициента усиления инвертирующего усилителя плюс единица.

Неинвертирующий сумматор. Схема неинвертирующего сумматора с двумя входами представлена на рис. 2.19. Во входной цепи сумматора разность напряжений $E_{ВХ1} - E_{ВХ2}$ распределяется поровну между резисторами R так, что $U = (E_{ВХ1} - E_{ВХ2})/2$. Следовательно, потенциал точки А может быть определен как сумма падения напряжения на резисторе R и ЭДС источника входного сигнала $E_{ВХ2}$:

$$U_A = U + E_{ВХ2} = \frac{E_{ВХ1} - E_{ВХ2}}{2} + E_{ВХ2} = \frac{E_{ВХ1} + E_{ВХ2}}{2}. \quad (2.4)$$

Если $R_{OC} = R$, коэффициент усиления неинвертирующего усилителя равен 2. С учетом (2.4) выходное напряжение схемы оказывается равным сумме входных напряжений: $U_{ВЫХ} = E_{ВХ1} + E_{ВХ2}$.

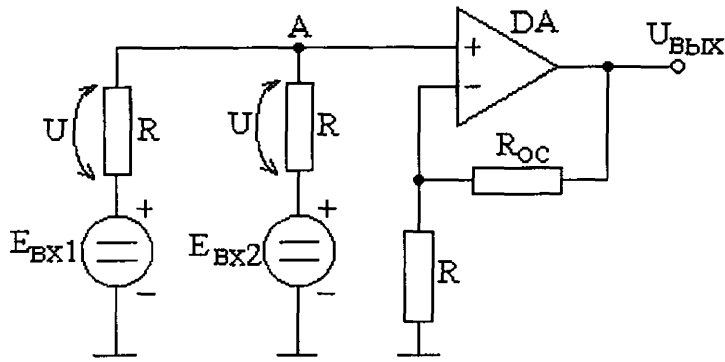


Рис. 2.19. Неинвертирующий сумматор

В случае необходимости суммирования более двух входных напряжений, величину сопротивления обратной связи следует выбирать из соотношения:

$$R_{OC} = R(n - 1),$$

где n – число входов сумматора.

Тогда $U_A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{ВХi}$, $K_{OC} = n$ и выходное напряжение представляет собой сумму входных напряжений:

$$U_{ВЫХ} = \sum_{i=1}^n E_{ВХi}.$$

2.3. Управляемые усилители

В различных электронных устройствах широко применяются управляемые усилители, коэффициентом передачи которых можно управлять аналоговым напряжением или цифровыми сигналами. Усилители с цифровым управлением обычно применяются в системах с микропроцессорным управлением. Управляемые напряжением усилители (УНУ) часто используются в системах как самостоятельные узлы, а также как составные части других функциональных блоков, например, в схемах генераторов и усилителей с автоматической регулировкой усиления (АРУ).

Схема простейшего УНУ представлена на рис. 2.20. Регулировка усиления в рассматриваемом неин-

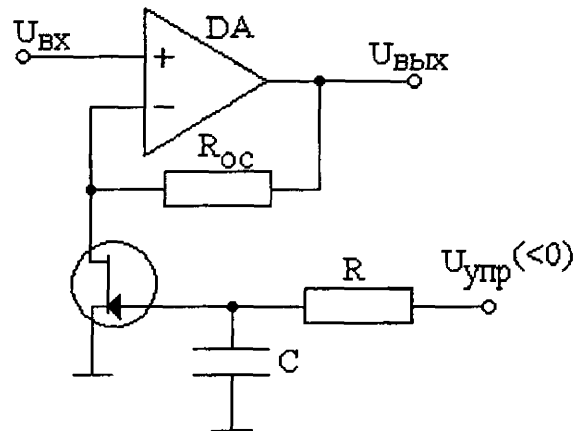


Рис. 2.20. Регулировка усиления с помощью полевого транзистора