

Определение и назначение	2
Основные характеристики ОУ	2
Идеальный ОУ	2
Разность фаз между входным и выходным сигналом неинвертирующего усилителя	3
Скорость нарастания напряжения на выходе: определение, размерность	3
Схемы и формулы	5

# Определение и назначение

## Определение

**Операционный усилитель** - это электронный усилитель напряжения с высоким коэффициентом усиления, имеющий дифференциальный вход и обычно один выход. Напряжение на выходе может превышать разность напряжений на входах в сотни или даже тысячи раз.

## Назначение

Усиление, сложение, вычитание, интегрирование, дифференцирование и т. д. Возможность выполнения этих операций ОУ определяется наличием цепей положительной и/или отрицательной обратной связи, в состав которых могут входить сопротивления, емкости, индуктивности, диоды, стабилитроны, транзисторы и некоторые другие электронные элементы.

## Обратная связь

При высоком значении коэффициента передачи достаточно трудно управлять усилителем и удерживать его от насыщения. С помощью определенных внешних цепей часть выходного сигнала можно направить обратно на вход, то есть организовать обратную связь. Применяя отрицательную обратную связь, когда сигнал с выхода усилителя приходит на вход в противофазе с входным сигналом, можно сделать усилитель более стабильным. Эта конфигурация называется **усилителем, охваченным обратной связью** (или, что то же, с замкнутой цепью обратной связи). Применение цепи обратной связи приводит к снижению коэффициента передачи по сравнению с усилителем, не охваченным обратной связью ( $A$ ), однако схема становится стабильной. Обычно схемы включения ОУ с замкнутой цепью обратной связи имеют коэффициент передачи от 10 до 1000, то есть меньше, чем коэффициент передачи ОУ, не охваченного обратной связью, более чем в тысячу раз. Если обратная связь положительна, усилитель переходит в режим генерирования колебаний, то есть становится автогенератором.

## Формула выходного напряжения

$U_{\text{вых}} = -A (U_- - U_+) = -A (\Delta U)$ , где  $A$  – коэффициент передачи усилителя, не охваченного обратной связью;  $U_-$  – напряжение на инвертирующем входе;  $U_+$  – напряжение на неинвертирующем входе. Знак минус перед коэффициентом передачи ( $A$ ) показывает, что выходное напряжение отрицательно. Коэффициент передачи ( $A$ ) можно определить как отношение величины выходного напряжения ( $U_{\text{ВЫХ}}$ ) к разности значений входных напряжений  $\Delta U$ . Коэффициент передачи реальных ОУ на постоянном токе колеблется в пределах от 10 000 до 2 000 000.

## Основные характеристики ОУ

- Коэффициент передачи
- Входной ток
- Напряжение смещения
- Ток смещения
- Входное сопротивление
- Выходное сопротивление
- Диапазон рабочих значений
- Полоса пропускания

## Идеальный ОУ

- коэффициент передачи ОУ без обратной связи равен бесконечности;
- входной ток равен нулю;
- напряжение смещения и ток смещения нуля на выходе ОУ равны нулю;
- входное сопротивление ОУ равно бесконечности, тогда входной ток равен нулю, тогда ОУ не будет оказывать влияния на предыдущий каскад
- выходное сопротивление ОУ равно нулю, тогда нагрузочное сопротивление не будет влиять на работу ОУ
- диапазон рабочих значений от нуля до бесконечности

## Разность фаз между входным и выходным сигналом неинвертирующего усилителя

Неинвертирующий усилитель. То есть сдвиг фаз между входным и выходным сигналом должен быть равен нулю.

Разность фаз между входным и выходным сигналом имеет связь с ограничением полосы пропускания, так что в некоторых схемах обратной связи это может привести к возникновению самовозбуждения. Например, если синусоидальный сигнал на выходе, который должен противофазно складываться с входным сигналом, будет задержан на  $180^\circ$  то он будет складываться синфазно с входным сигналом, т.е. образуется положительная обратная связь. В этих случаях цепь обратной связи может быть стабилизирована путём применения схемы частотной компенсации, которая увеличивает усиление или сдвиг фазы при разомкнутой петле обратной связи. Эта компенсация может быть реализована с помощью внешних компонент. Так же эта компенсация может быть реализована внутри операционного усилителя, путём добавления доминирующего полюса, который достаточно ослабляет усиление на высоких частотах. Расположение этого полюса может быть установлено внутри производителем микросхем, или же настраиваться, используя специфические для каждого операционного усилителя методы. Обычно доминирующий полюс ещё больше снижает полосу пропускания операционного усилителя. Когда требуется высокий коэффициент усиления при замкнутой петле обратной связи, то часто частотная компенсация бывает не нужна, так как необходимое усиление с разомкнутой петлей обратной связи достаточно мало. Следовательно, в схемах с высоким коэффициентом усиления при замкнутой петле обратной связи можно использовать операционные усилители с более широкой полосой пропускания.)

## Чем определяется постоянная составляющая выходного напряжения

Постоянная составляющая выходного напряжения  $U_{вых}$  усилителя зависит от коэффициента усиления  $K_u$  схемы и напряжения смещения  $U_{см}$  и вычисляется по формуле:  $U_{вых} = U_{см} * K_u$ , где  $U_{см}$  – напряжение смещения, а  $K_u$  – коэффициент усиления схемы.

## Скорость нарастания напряжения на выходе: определение, размерность

Скорость нарастания – это максимальная скорость изменения напряжения, которое может генерироваться выходной схемой операционного усилителя.

Она измеряется как напряжение относительно времени, и типичная единица измерения, используемая в документации – это вольт в микросекунду (В/мкс).

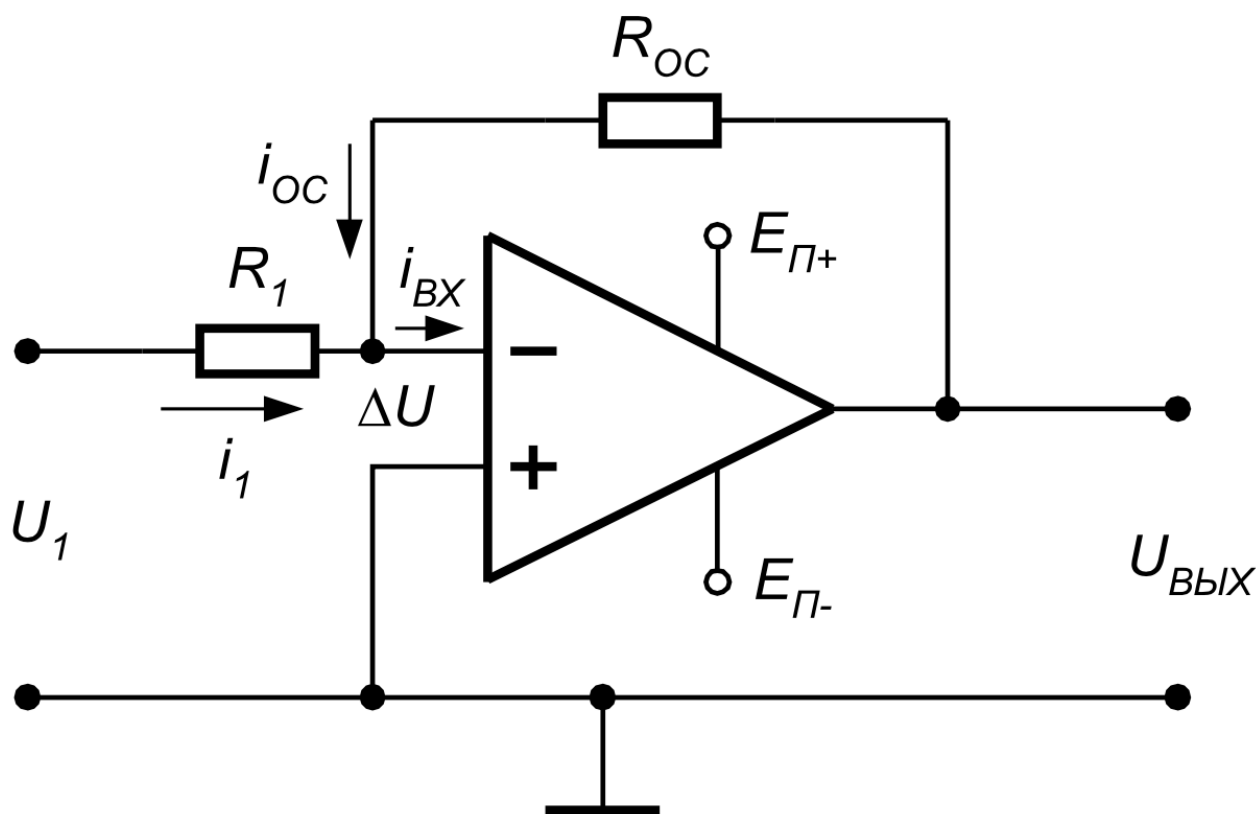
Допустим, у вас есть операционный усилитель и подается входной сигнал, который в идеальной среде генерирует выходной сигнал с наклоном 10 В/мкс. Если скорость нарастания сигнала операционного усилителя составляет 2 В/мкс, выходной сигнал будет отражать поведение влияние этого параметра операционного усилителя, а не ожидаемый выходной сигнал. Когда операционный усилитель находится в этом состоянии с ограниченной скоростью нарастания, выходной сигнал представляет собой линейное изменение с наклоном, равным скорости нарастания.



# Схемы и формулы

## Инвертирующий ОУ

Схема включения ОУ, показанная на рис. 6.2, применяется на практике чаще всего. Цепь обратной связи в этом случае представляет собой единственный резистор  $R_{OC}$ , который служит для передачи части выходного сигнала обратно на вход. Тот факт, что резистор соединен с инвертирующим входом, указывает на отрицательный характер обратной связи. Входное напряжение ( $U_1$ ) вызывает протекание входного тока  $i_1$  через резистор  $R_1$ . Обратите внимание на то, что входное напряжение ОУ ( $\Delta U$ ) имеет дифференциальный характер, так как фактически это разность напряжений на неинвертирующем (+) и инвертирующем (-) входах усилителя. Положительный вход ОУ чаще всего заземляют.



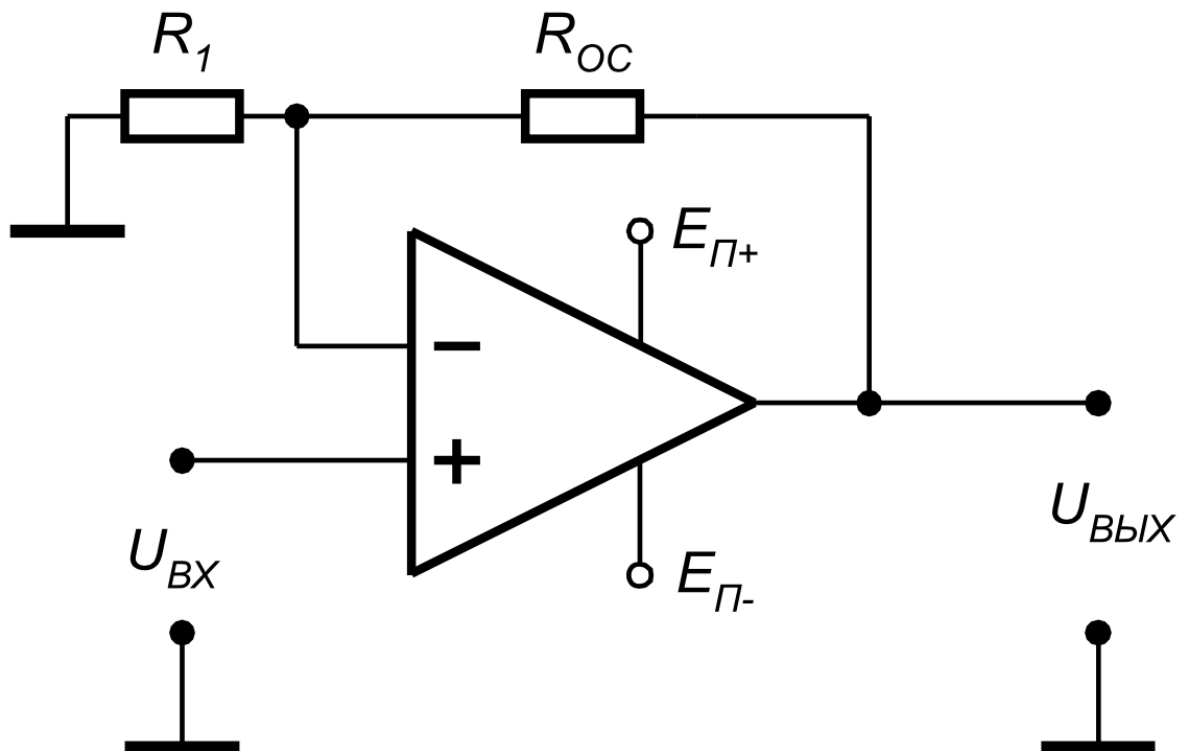
(-) – инвертирующий вход ОУ; (+) – инвертирующий вход ОУ;  $U_{(-)}$  – напряжение на инвертирующем входе,  $U_{(+)}$  – напряжение на неинвертирующем входе;  $U_{\text{вых}}$  – выходное напряжение ОУ;  $E_{п+}$  – положительное напряжение питания;  $E_{п-}$  – отрицательное напряжение питания

$$U_{\text{вых}} = -(R_{OC} / R_1) U_1 = -K \cdot U_1, (6.7)$$

где  $K$  – коэффициент передачи усилителя, охваченного обратной связью;  $K = R_{OC} / R_1$ . Знак минус в выражении (6.7) означает, что выходной сигнал имеет полярность, противоположную входному сигналу, то есть инвертирован относительно него, поэтому такой усилитель называют инвертирующим усилителем. Следует обратить внимание, что коэффициент передачи ОУ, охваченного обратной связью, можно регулировать посредством выбора сопротивлений двух резисторов,  $R_1$  и  $R_{OC}$ .

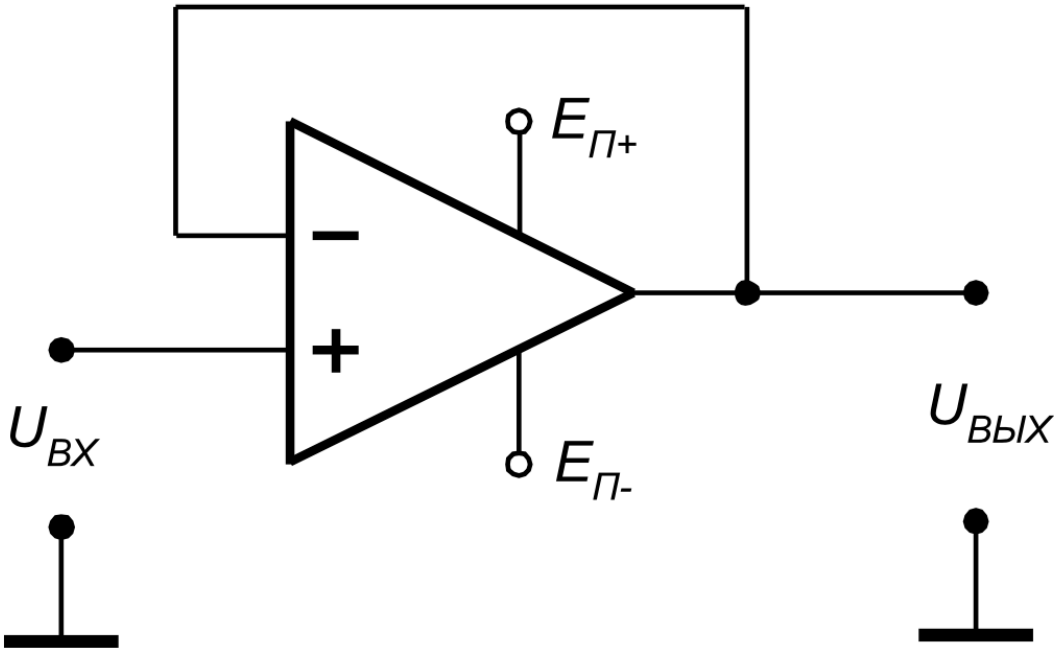
## Неинвертирующий ОУ

Неинвертирующий усилитель можно получить путем заземления входного сопротивления  $R_1$  в схеме инвертирующего усилителя. При этом входной сигнал должен подаваться на неинвертирующий вход (рис. 6.3).

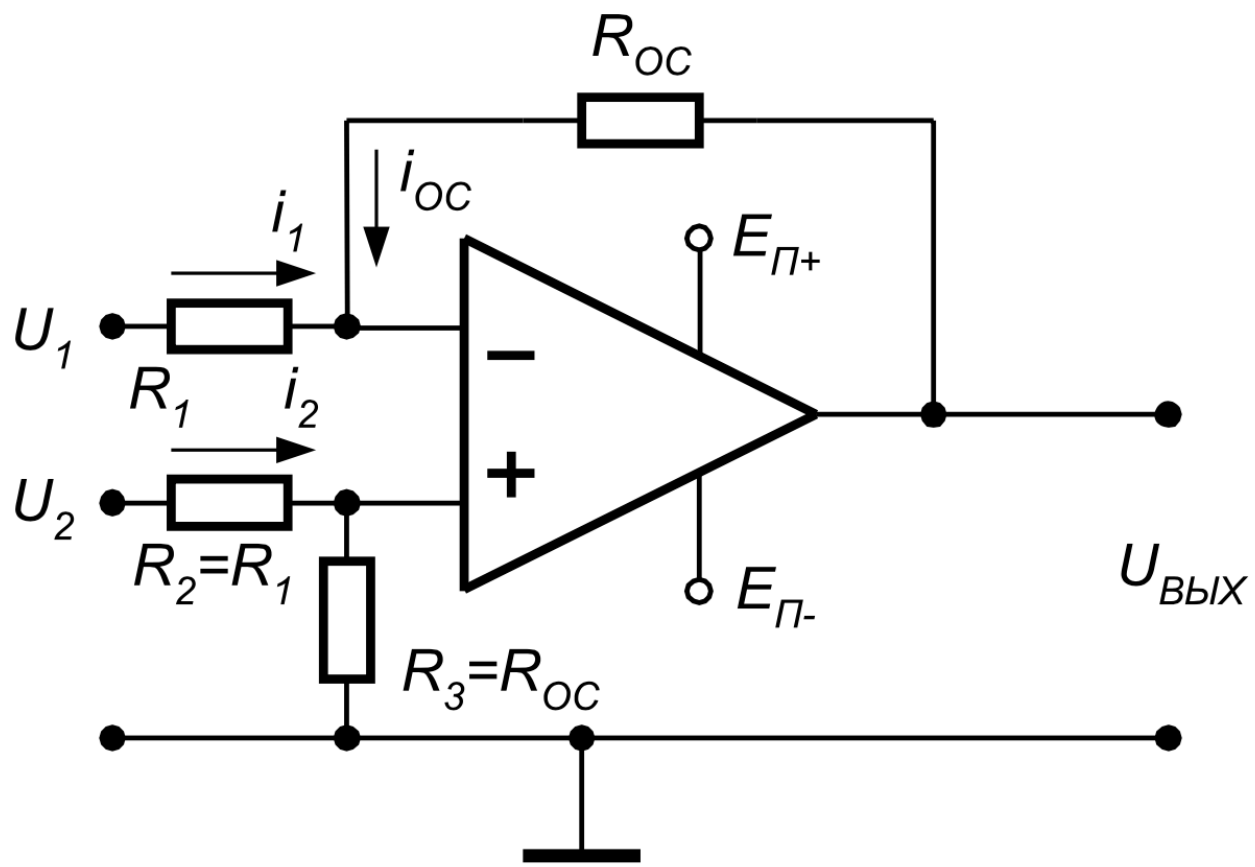


$$U_{BЫX} = (1 + R_{OC} / R_1) U_{BX}.$$

Повторитель напряжения

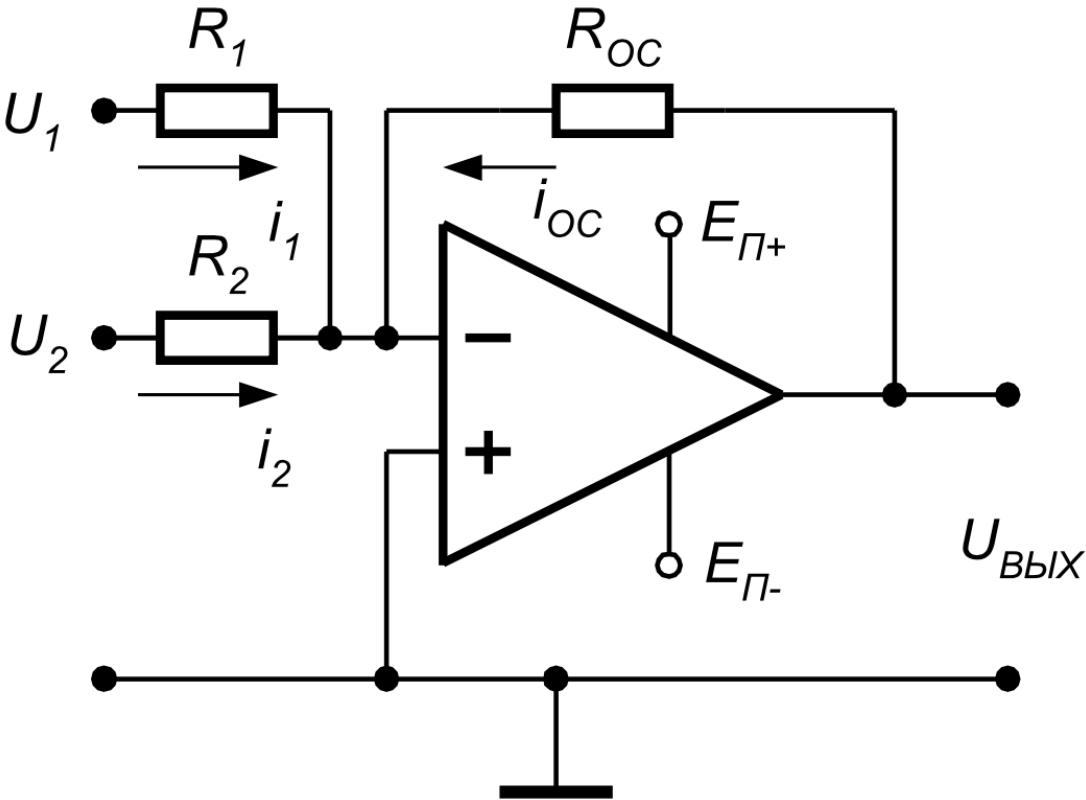


Дифференциальный усилитель

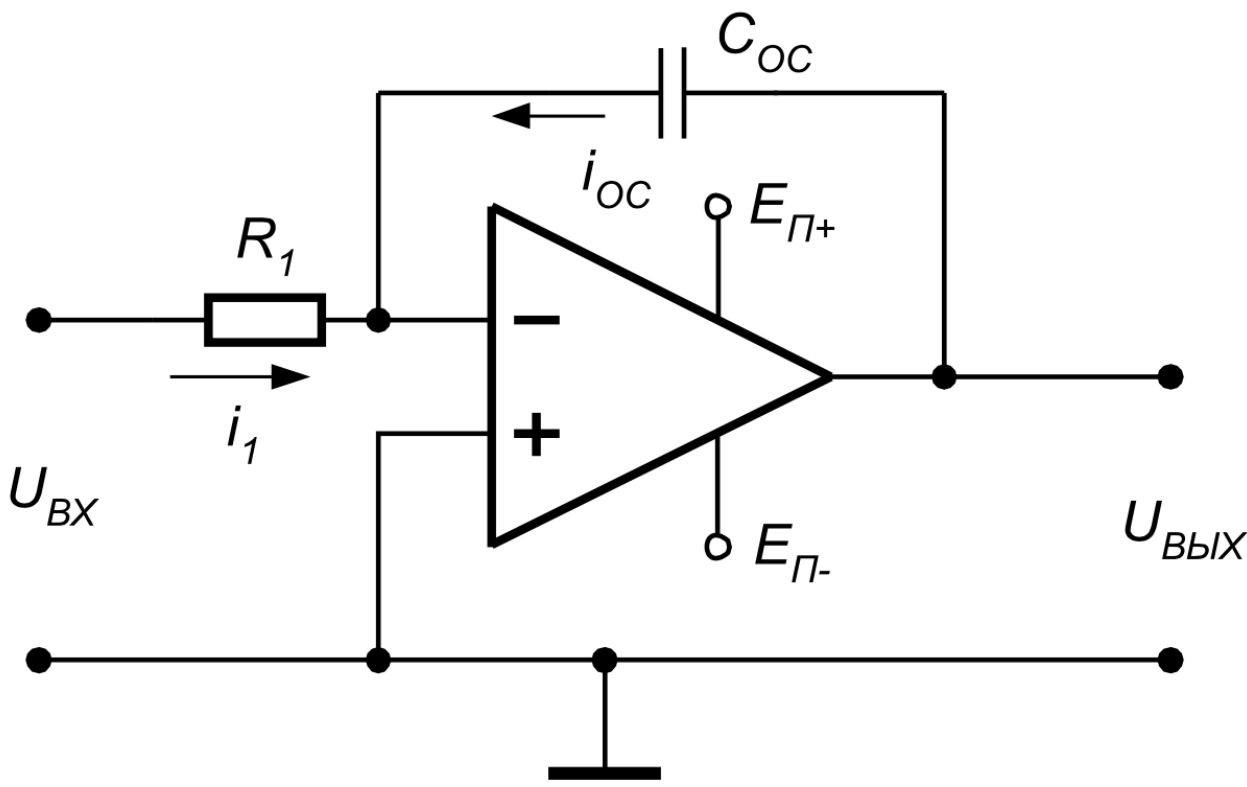




Суммирующая схема



Интегрирующая схема



Дифференцирующая схема

