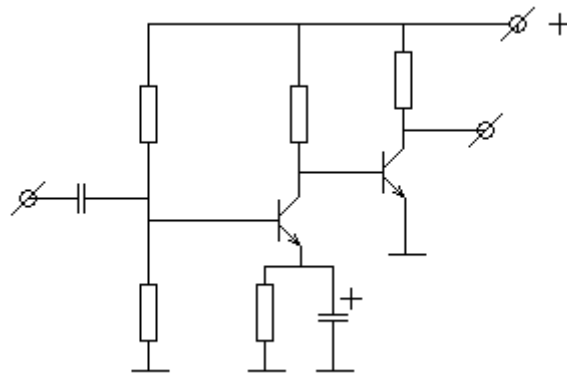
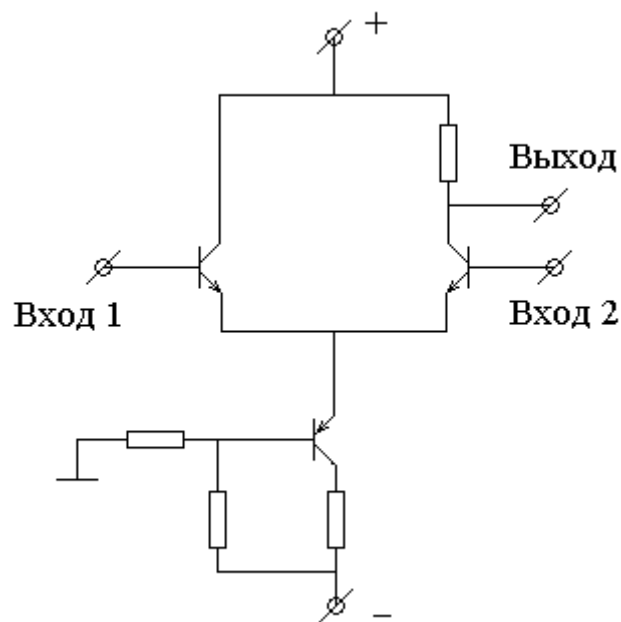


Негодные транзисторные схемы (продолжение).

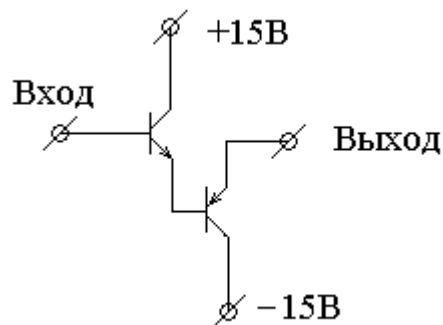
Двухкаскадный усилитель:



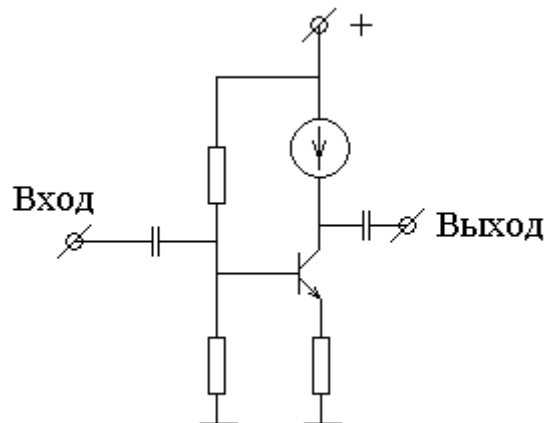
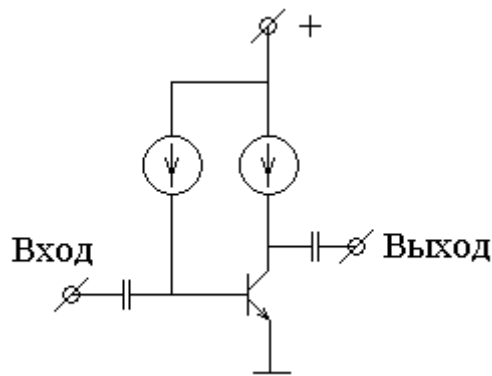
Дифференциальный усилитель:



Повторитель с нулевым смещением:

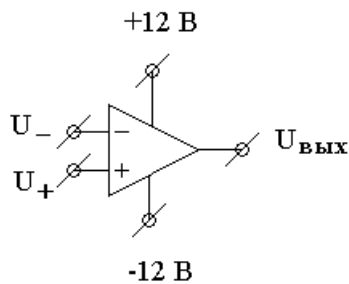


Усилитель переменного тока с большим коэффициентом усиления:



Операционный усилитель.

Операционный усилитель — микросхема, которая усиливает во много раз, например в миллион, разность напряжений на двух входах.

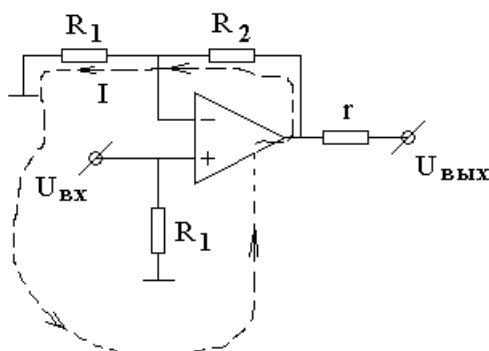


$U_{вых} = \alpha \cdot (U_+ - U_-)$, где $\alpha \approx 10^6$ — коэффициент усиления по напряжению.

Обычно ОУ имеет двухполярное питание. На одну ногу микросхемы подают +12 Вольт, на другую — -12 Вольт.

В операционном усилителе обычно вводят отрицательную обратную связь.

Неинвертирующий усилитель.



В качестве примера рассмотрим усилитель напряжения на операционном усилителе. Входной сигнал подадим на плюс вход ОУ. Минус вход через сопротивление R_1 соединим с общим проводом схемы. Выход ОУ через сопротивление R_2 соединим с минус входом.

Для анализа работы любой схемы с операционным усилителем достаточно воспользоваться двумя правилами.

- 1). Входные токи ОУ пренебрежимо малы: $I_+ \approx I_- \approx 0$.
- 2). При нормальной работе ОУ напряжения на двух входах практически равны: $U_+ \approx U_-$.

Проведем анализ предложенной схемы.

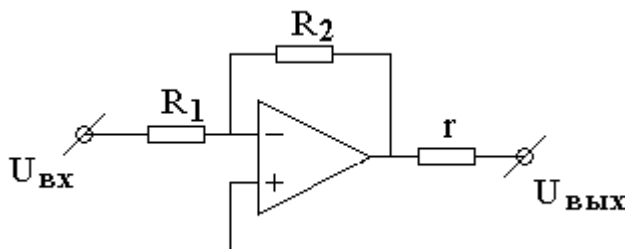
$$U_+ = U_{вх} \Rightarrow U_- = U_{вх} \Rightarrow$$

$$I = \frac{U_-}{R_1} = \frac{U_{вх}}{R_1} \text{ — сила тока по цепи } R_2, R_1.$$

$$U_{вых} = I(R_1 + R_2) = \frac{R_1 + R_2}{R_1} U_{вх} \Rightarrow U_{вых} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_{вх}$$

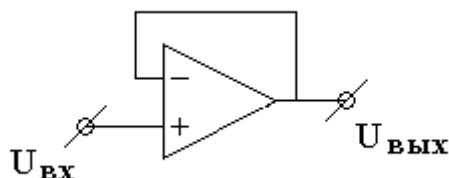
Дежурный импортный операционный усилитель — TL071. Цена одного операционного усилителя чуть больше цены разового проезда в метро.

Инвертирующий усилитель.

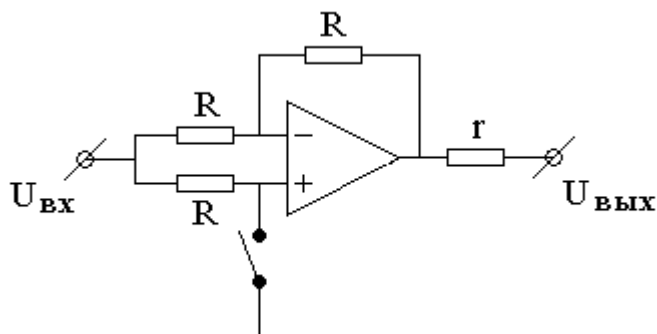


$$K_U \equiv \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

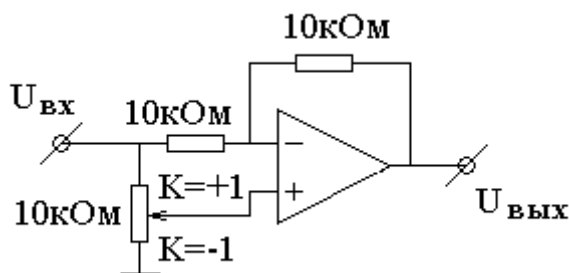
Повторитель.



Переключатель $K_U = \pm 1$.

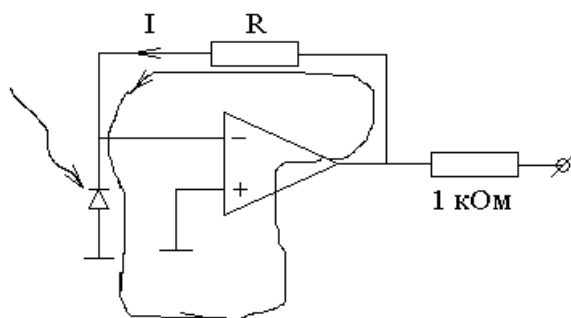


Регулятор коэффициента передачи в пределах от -1 до +1.



Преобразователь фототок — напряжение.

Проанализируем работу типовой схемы включения фотодиода:



Под действием света в фотодиоде возникает фототок пропорциональный мощности света. Этот ток не может протекать через "-" вход операционного усилителя. Следовательно, весь фототок протекает через резистор обратной связи сопротивлением R . Типовое значение сопротивления $R = 1\text{МОм}$.

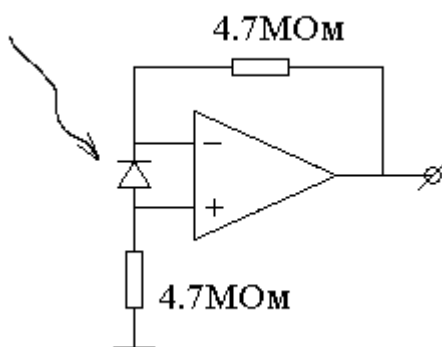
Плюс-вход ОУ соединен с общим проводом схемы, поэтому $U_+ = 0$. Из условия $U_- = U_+$ следует, что и на минус-входе ОУ напряжение тоже близко к нулю $U_- = 0$.

В таком случае напряжение на фотодиоде близко к нулю. То есть фотодиод работает в так называемом режиме короткого замыкания. В этом режиме фотодиод обладает высокой линейностью преобразования мощности света в фототок и малыми шумами.

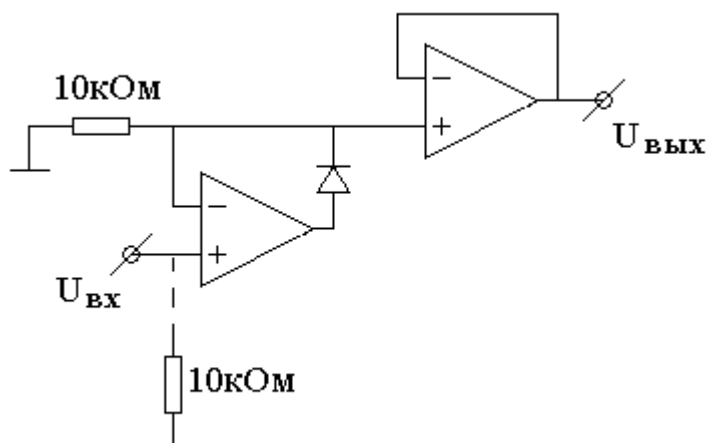
На левом краю резистора с сопротивлением R нулевое напряжение $U_- = 0$ относительно общего провода схемы. В таком случае на правом краю этого резистора напряжение равно RI , так как через резистор протекает фототок I .

Напряжение на правом краю резистора R совпадает с напряжением на выходе ОУ и практически совпадает с напряжением на выходе схемы. Резистор сопротивлением 1 кОм включен между выходом ОУ и выходом всей схемы для подавления возбуждения генерации в петле обратной связи ОУ. Дело в том, что к выходу ОУ обычно нельзя подключать емкость больше $20\text{нФ} = 20 \cdot 10^{-12}\text{Фарад}$. Иначе поворот фазы на RC -цепочке, где R — выходное сопротивление ОУ, может сделать на высоких частотах отрицательную обратную связь положительной. Включение в схему резистора 1 кОм позволяет подключать к выходу схемы коаксиальный кабель осциллографа без нарушения работы схемы. Емкость коаксиального кабеля имеет величину порядка 100 пФ.

Еще один преобразователь фототока в напряжение.

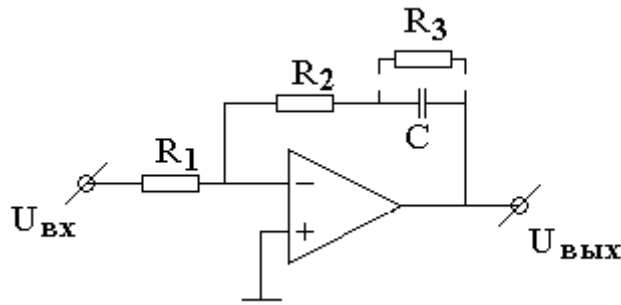


Активный выпрямитель.



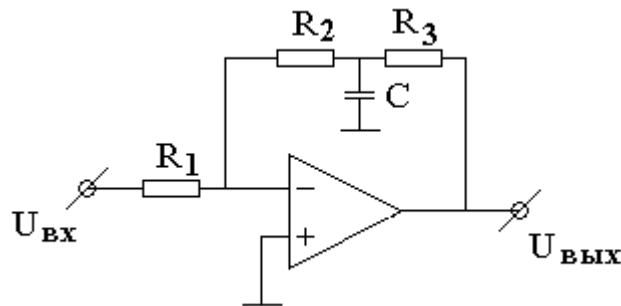
Усилитель с частотной коррекцией.

Усилитель с подъемом на низких частотах:



Подъем начинается с частоты $\omega = \frac{1}{R_2 C}$ и происходит на более низких частотах. Параллельно конденсатору можно подсоединить большое сопротивление R_3 для прекращения подъема на очень низких частотах $\omega = \frac{1}{R_3 C}$.

Усилитель с подъемом на высоких частотах:



Пусть $R_2 \gg R_3$, тогда подъем начинается с частоты $\omega = \frac{1}{R_3 C}$. Последовательно с конденсатором можно поставить малое сопротивление R_4 для прекращения подъема на более высоких частотах $\omega = \frac{1}{R_4 C}$.