



НИЯУ МИФИ

Кафедра №7 «Экспериментальной ядерной физики и космофизики»



Специальность: 140302 – физика атомного ядра и частиц

Специализация: микро- и космофизика

Дисциплина: Ядерная электроника

Группа Т07-07

Лекция №2

Схемы связи детекторов с электронными устройствами

2012/2013

План лекции

- Параметры усилителя
- Связь детектора с усилителем
- Разновидности усилителей
- Виды обратной связи. Отрицательная обратная связь
- Операционный усилитель

Выбор параметров усилителя

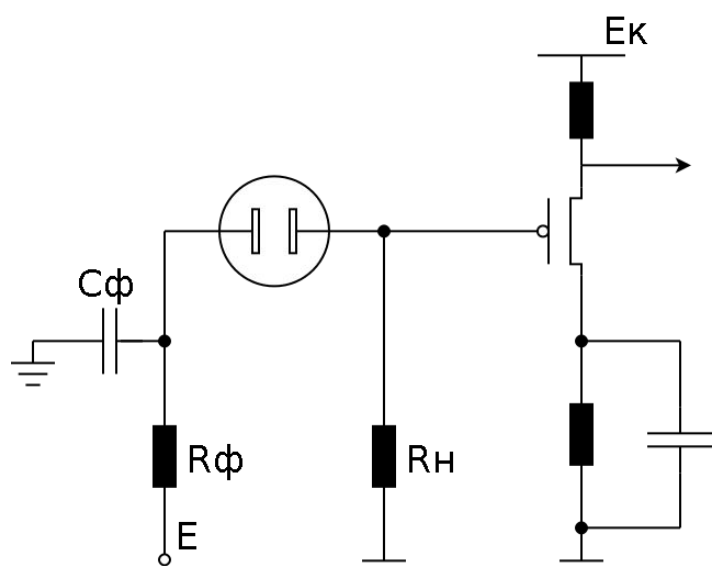
Для получения максимальной амплитуды сигнала по напряжению $U_{вх}$ входную ёмкость усилителя берут минимальной, а входное сопротивление $R_{вх}$ подбирают больше сопротивления нагрузки $R_{н}$. В этом случае изменение сопротивления $R_{вх}$ меньше сказывается на параметрах сигнала.

$$U \rightarrow \max \text{ при } C_{вх} \rightarrow \min \text{ и } R_{вх} \gg R_{н}$$

Для усиления токового сигнала с детектора необходимо входное сопротивление усилителя меньше сопротивления нагрузки:

$$I \rightarrow \max \text{ при } C_{вх} \rightarrow \min \text{ и } R_{вх} \ll R_{н}$$

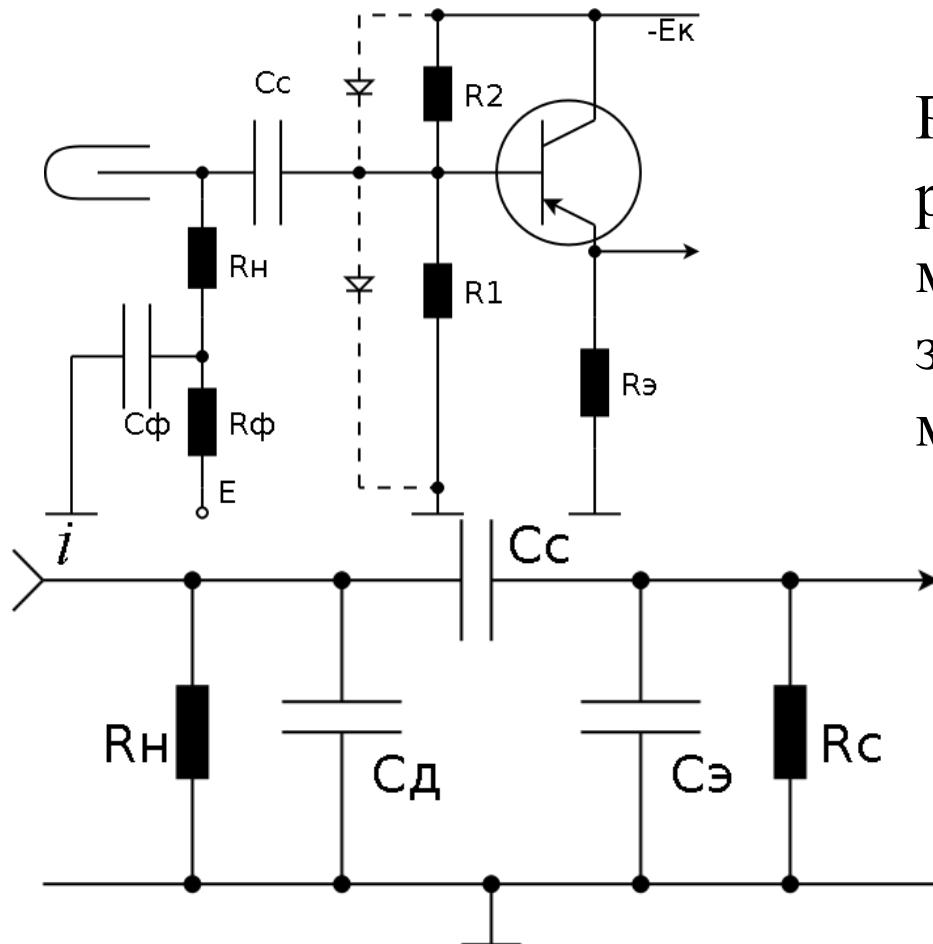
Связь сопротивления нагрузки и усилителем



Гальваническая связь

Связь R_H детектора с усилительным каскадом может быть гальванической и через разделительный конденсатор. В первом случае R_H является элементом усилителя и влияет на режим транзистора. Реализация гальванической связи проще и требует меньше элементов. Она ограничивает выбор R_H в зависимости от режима транзистора и не применима при высоких потенциалах.

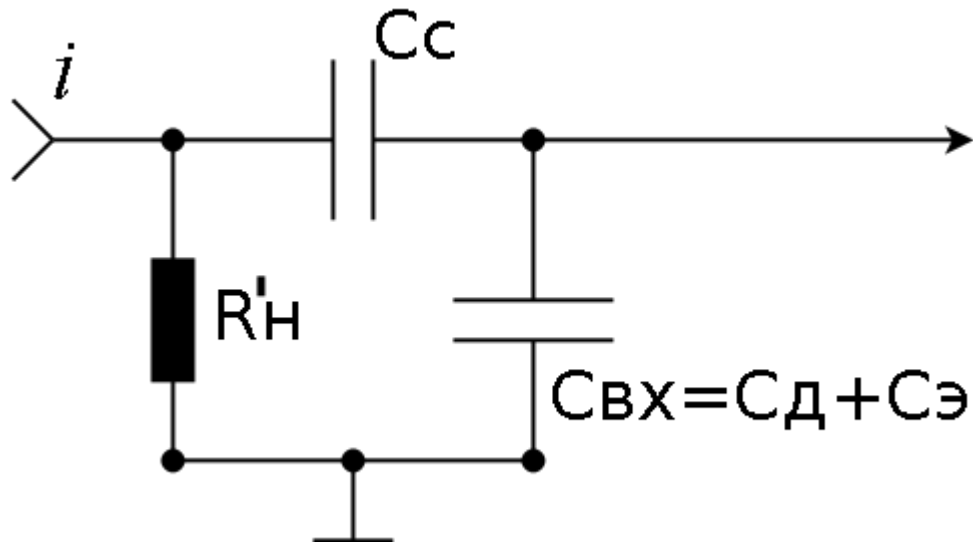
Связь сопротивлений нагрузки и усилителем



Связь через разделительную ёмкость

Режим транзистора задаётся резисторами R_1 и R_2 . Ёмкость C_c может быть выбрана с большим запасом по напряжению и малым токам утечки.

Выбор емкости связи C_c



Эквивалентная схема

Упрощенная эквивалентная схема связи через разделительную ёмкость является интегрирующей цепочкой.

$$R'_H = R_H R_C / (R_H + R_C)$$

Усиление сигналов

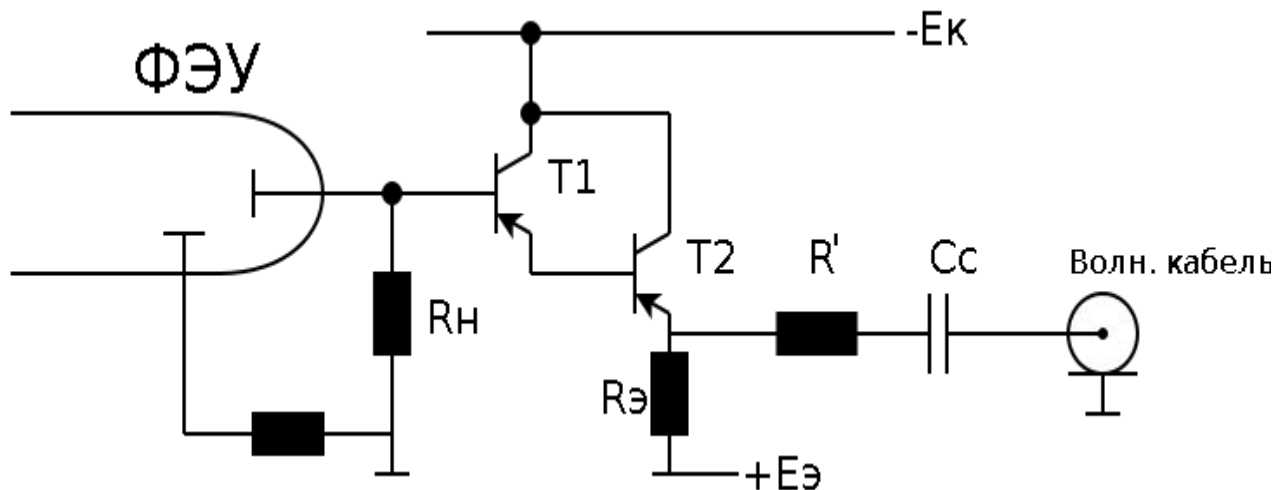
Основные разновидности усилителей сигналов:

- Усилители тока
- Усилители напряжения
- Усилители временные
- Спектрометрические усилители

Усилители напряжения

Усиливает импульсы напряжения, снимаемые с R_H (10^4 - 10^5 Ом). Должен обладать большим входным сопротивлением.

Если амплитуда сигнала с детектора значительно превышает шумы, не требуя большого усиления, то связь детектора с электроникой можно реализовать с помощью эмиттерного повторителя.



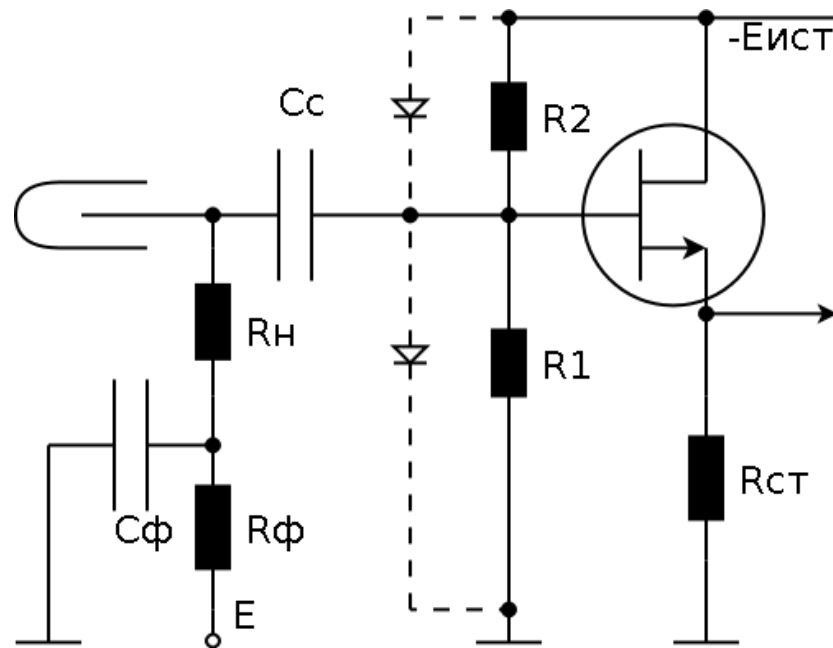
$$K < 1, \text{ либо } K \approx 1$$

$$r_{вх} = (\beta + 1)R_{э}$$

$$r_{вых} = r_{э} + \frac{1}{\beta + 1}R_{Г}$$

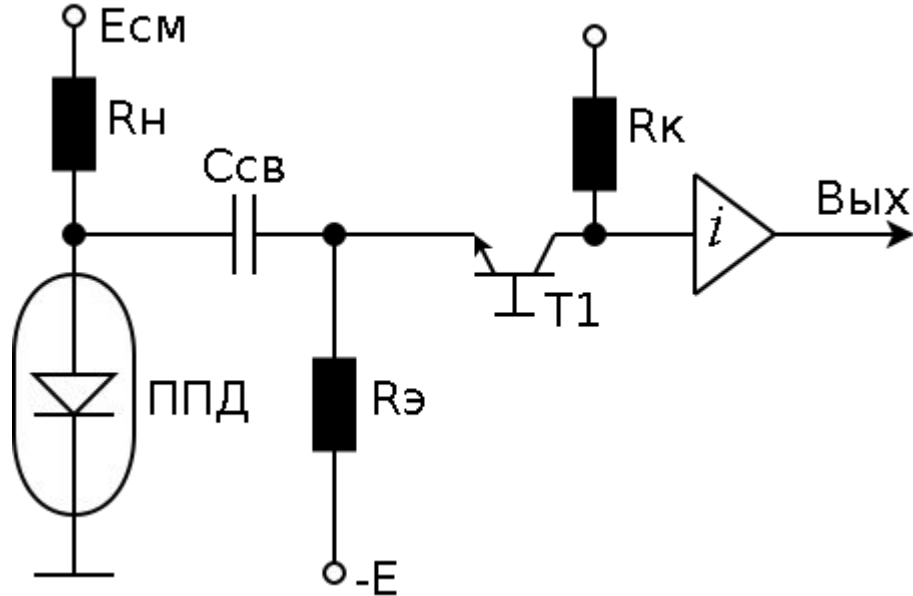
Усилители напряжения

Для передачи импульсов малой амплитуды необходимы усилители с малыми собственными шумами. Для этого хорошо подходят схемы на полевых транзисторах.



Усилитель тока

Используются в быстродействующих схемах для определения временных корреляций или при больших нагрузках детектора.



Для передачи импульсов используют $R_{вх} \ll R_n$, тогда $\tau_{вх} = R_{вх} C_{вх} \ll t_i$.
В качестве усилителя тока можно использовать каскад с общей базой.
Входное сопротивление:

$$R_{вх} = R_э + (1 - \alpha)R_б$$

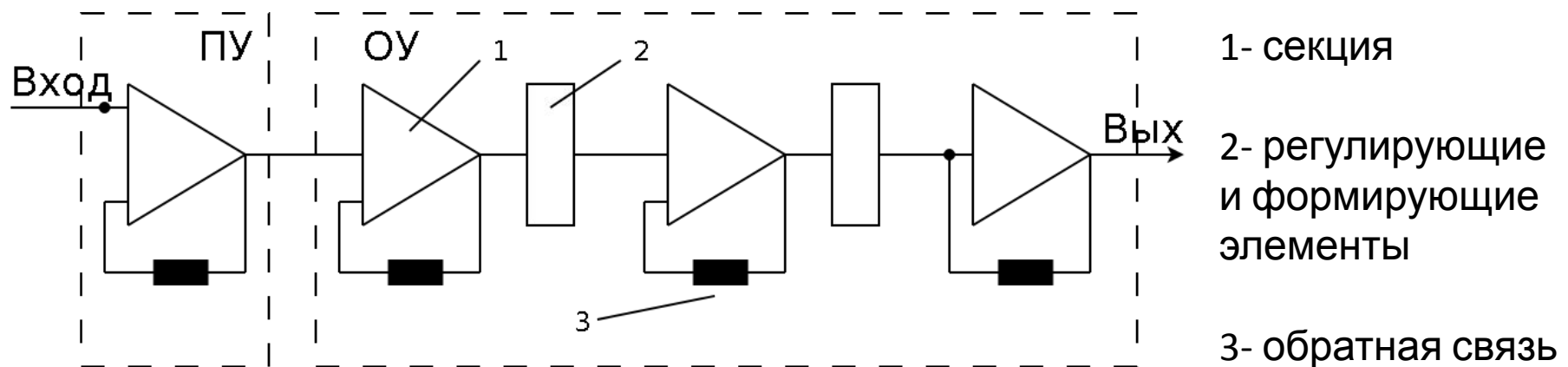
Емкость $C_{св}$ подбирается из условия неискажения передачи импульса тока в низкоомную цепь эмиттера T_1

Временные усилители

По назначению усилители делятся на временные и спектрометрические. Временные хорошо передают крутые фронты сигналов, используются для точной временной привязки или при больших нагрузках детектора. Имеют широкую полосу пропускания 10^8 - 10^9 Гц. Современные образцы обладают временем нарастания до 0.5 нс.

Спектрометрические усилители

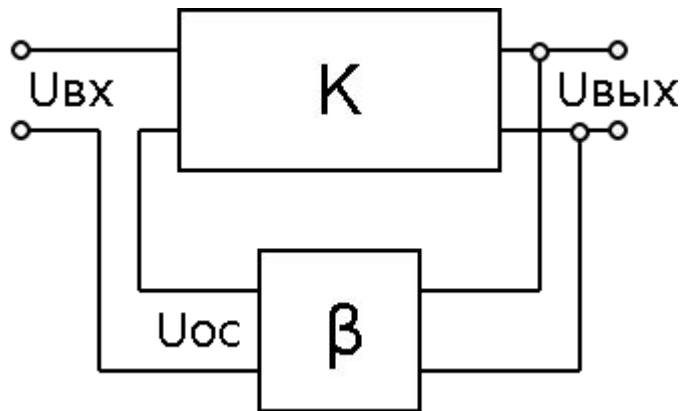
Это линейные усилители, применяемые для прецизионных амплитудных измерений. Типичная нелинейность до 10^{-4} , нестабильность до 10^{-5} . Времена нарастания ~ 1 мкс, средняя частота 10^5 имп/с. Коэффициент усиления 10^6 - 10^7 . Как правило, состоят из блоков предварительного и основного усиления.



Отрицательная обратная

СВЯЗЬ

Предварительный усилитель размещают непосредственно у детектора, для минимизации наводок и паразитных ёмкостей. Основной за радиационной защитой ближе к системам управления и ЭВМ. Для получения высокого усиления в каждой из секций используется отрицательная обратная связь, стабилизирующая параметры усилителя.



$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} \quad \text{без ОС}$$

$$K_{ос} = \frac{U_{вых}}{U_{вх} - U_{ос}} \quad \text{с ОС}$$

$$\beta = -\frac{U_{ос}}{U_{вых}}$$

Отрицательная обратная СВЯЗЬ

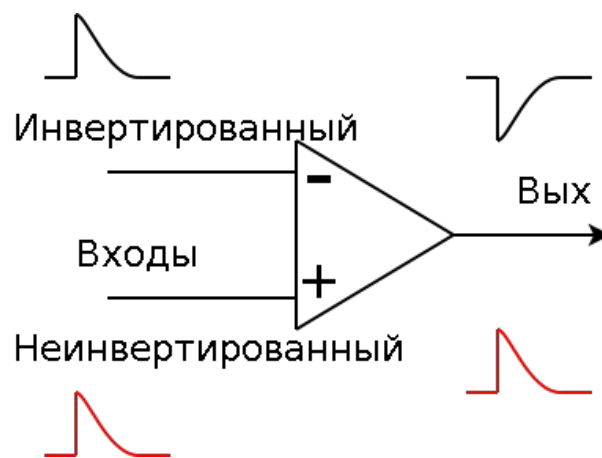
Для ООС
($\beta < 0$) $K_{oc} = \frac{K}{1 + K\beta}$ $K\beta$ – фактор обратной связи

$dK_{oc} = \frac{dK}{(1 + K\beta)^2}$ Относительная нестабильность
 dK_{oc}/K_{oc} в $(1 + K\beta)$ раз меньше чем
без обратной связи.

При введении ООС нелинейные искажения также ослабляются в $(1 + K\beta)$ раз. ООС влияет и на частотные характеристики усилителя.

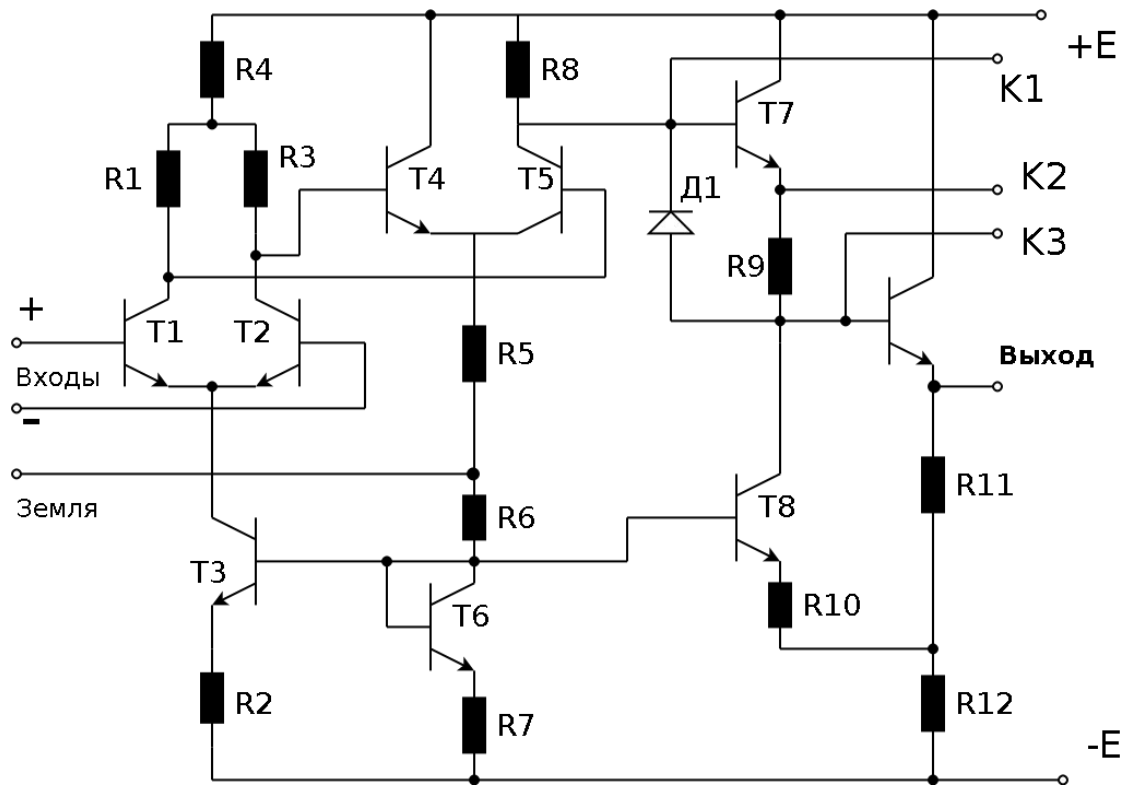
Элементная база усилителей

Секции линейных усилителей выполняются на интегральных микросхемах, часто применяются операционные усилители (ОУ).



ОУ состоит из нескольких каскадов, соединенных гальванической связью

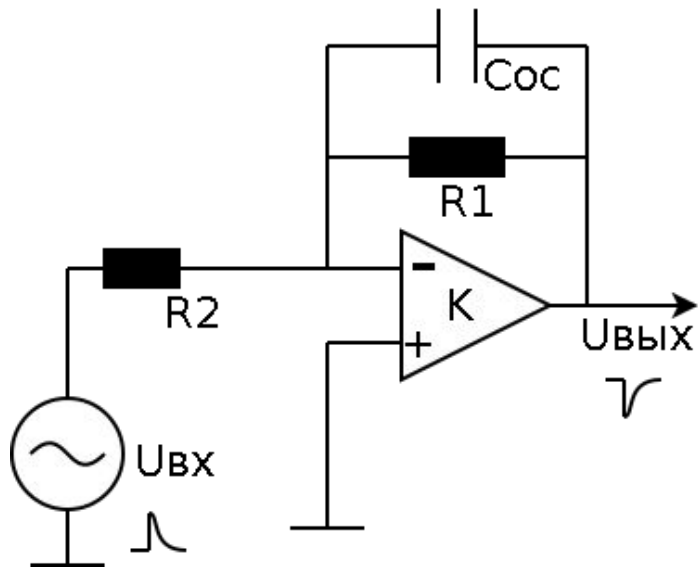
Операционный усилитель



Операционный усилитель 140УД1

Два дифференцирующих каскада T1, T2 и T4, T5 и усилительный каскад T7. Генератор стабильного тока T3 и T8. Согласующий элемент T6. Коэффициент усиления определяется дифференцирующими каскадами и T7.

Параллельная ООС



Отрицательная обратная связь задаётся резисторами R_1 и R_2 и корректирующей ёмкостью.

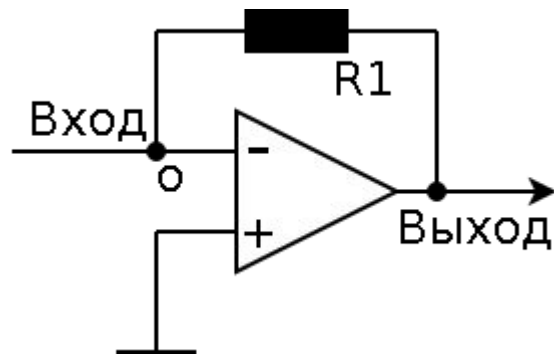
$$I_{вх} = \frac{U_{вх} - \frac{U_{вых}}{K}}{R_2} \quad I_{ос} = \frac{U_{вых} - \frac{U_{вых}}{K}}{R_1}$$

$$U_{вых} = -U_{вх} R_1/R_2 \quad \text{тогда} \quad K = R_1/R_2$$

На нижних и средних частотах коэффициент усиления секции определяется внешней цепью из R_1 и R_2 и обладает высокой стабильностью.

Операционный усилитель

В цифро-аналоговых преобразователях часто ОУ с параллельной ОС используется для суммирования токов.



В такой схеме используется один резистор. Входное сопротивление очень мало:

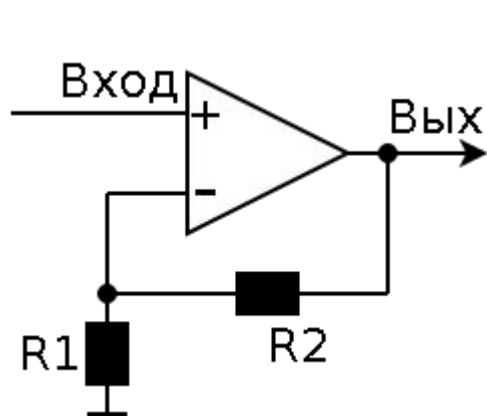
$$R_{вх} = \frac{R_1}{1 + K}$$

Выходное напряжение пропорционально сумме токов в узле О. (Виртуальная земля)

$$U_{вых} = -R_1 \sum_{i=1}^{i=n} I_i$$

Операционный усилитель

Если требуется большое входное сопротивление, то применяется ОУ с ОС последовательного типа.



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

Заключение

Несмотря на обширную элементную базу электроники и широкий выбор усилителей, в экспериментах часто предъявляются особые требования к усилительному каскаду, которые вынуждают использовать специальные схемы (например, гибридные).