



# ИЯУ 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

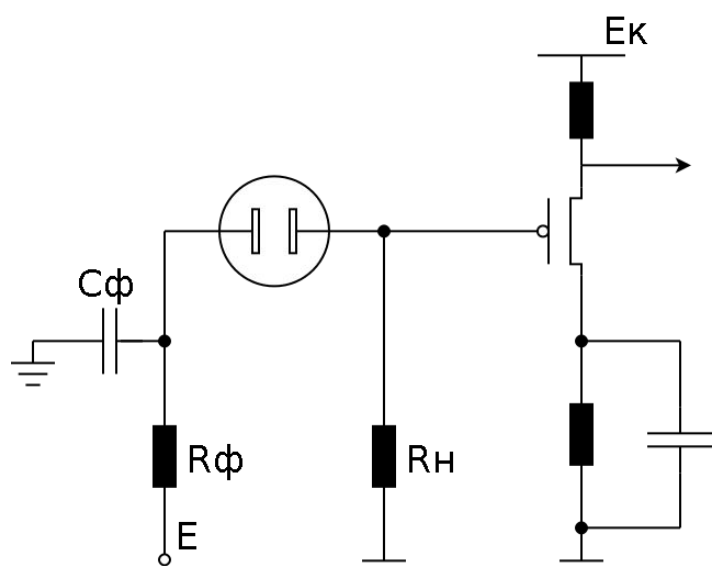
Для получения максимальной амплитуды сигнала по напряжению  $U_{вх}$  входную ёмкость усилителя берут минимальной, а входное сопротивление  $R_{вх}$  подбирают больше сопротивления нагрузки  $R_{н}$ . В этом случае изменение сопротивления  $R_{вх}$  меньше сказывается на параметрах сигнала.

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

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

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

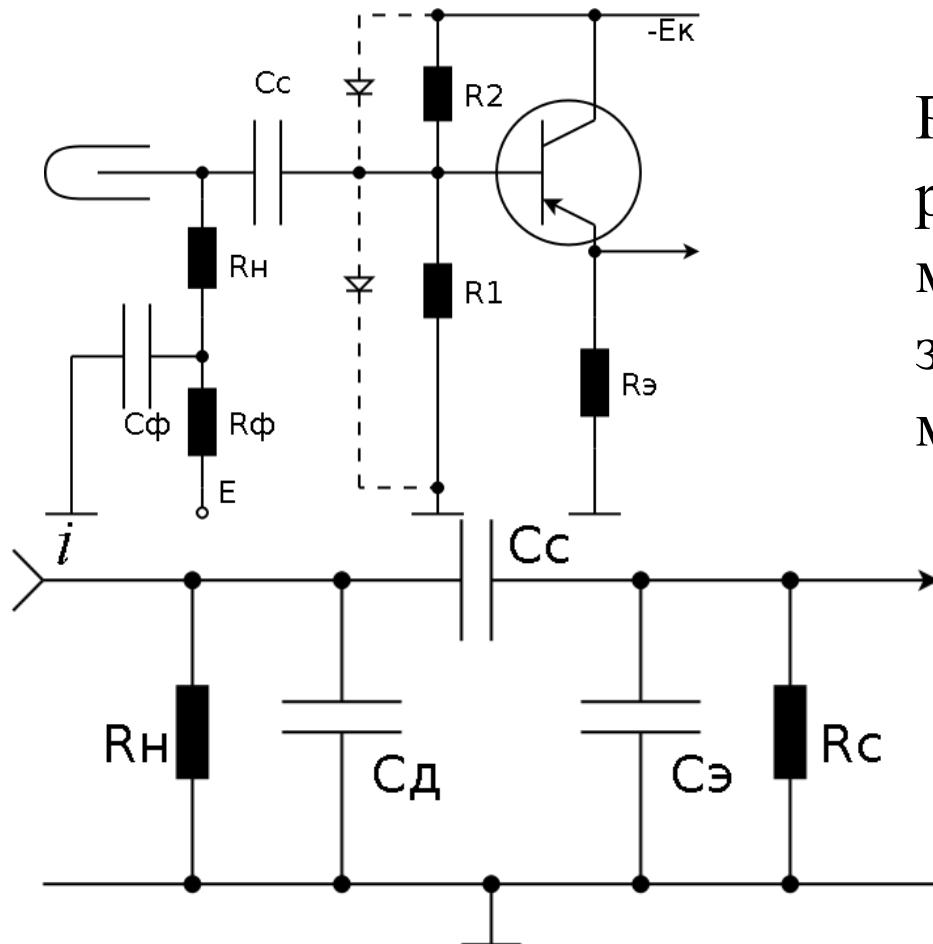
# Связь сопротивления нагрузки и усилителем



*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.

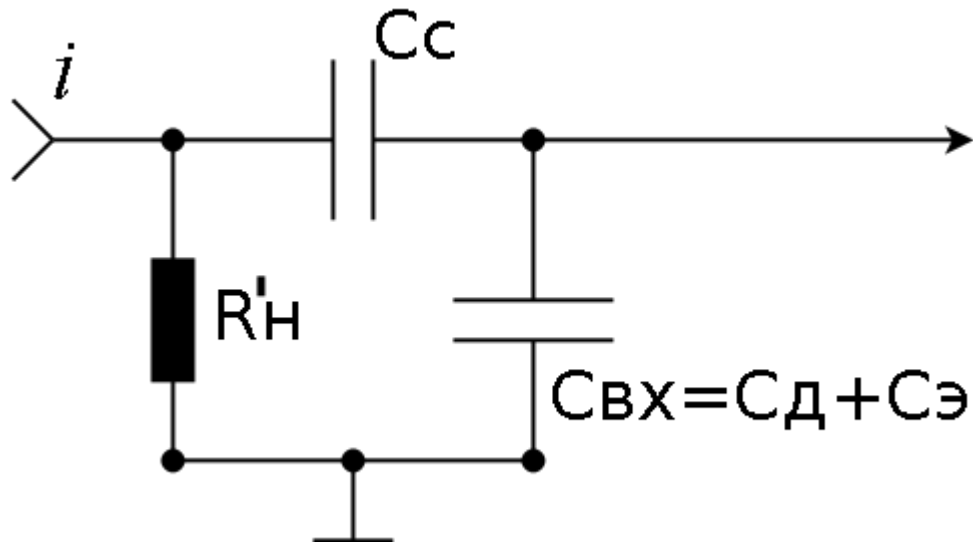
# Связь сопротивлений нагрузки и усилителем



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

*Связь через разделительную ёмкость*

# 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

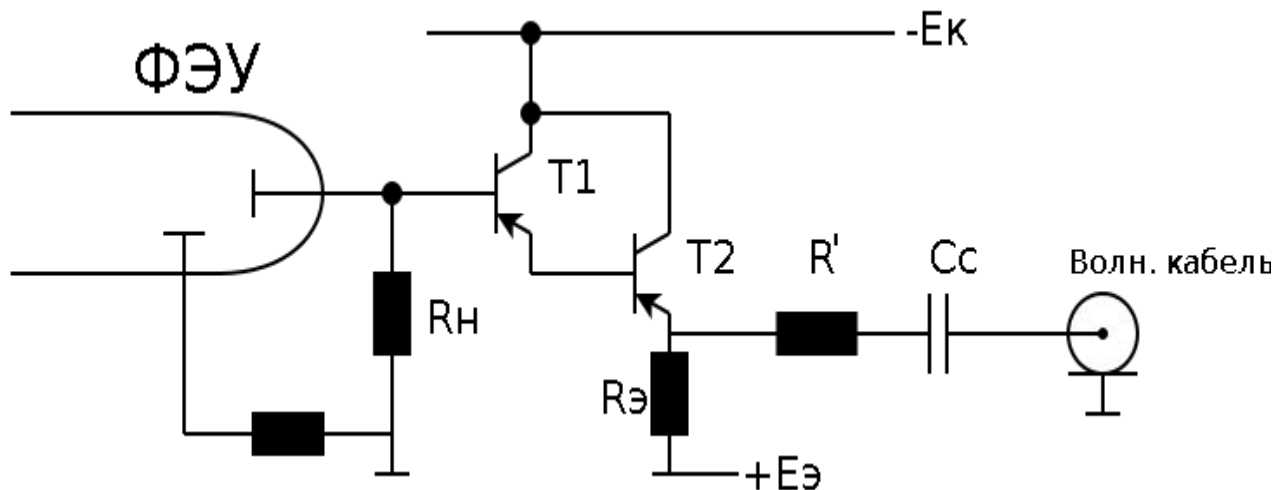
Основные разновидности усилителей сигналов:

- 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.



$$K < 1, \text{ либо } K \approx 1$$

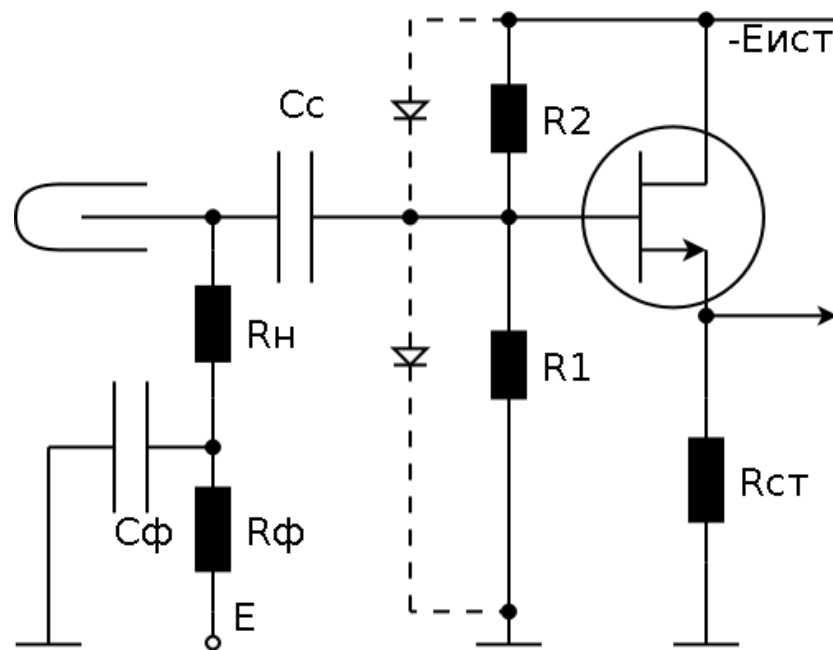
$$r_{вх} = (\beta + 1)R_{э}$$

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



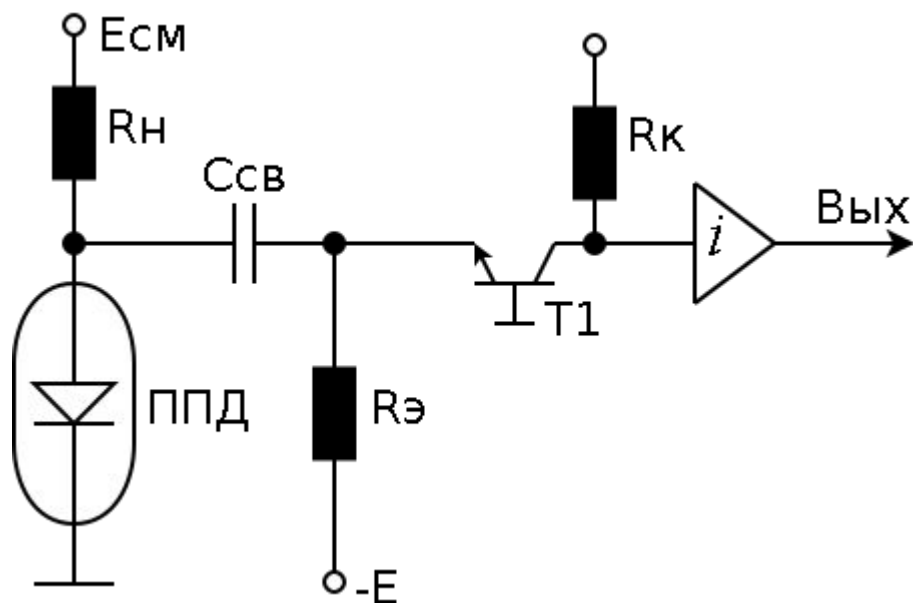
# Усилители напряжения

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  $R_{\text{вх}} \ll R_{\text{н}}$ , тогда  $\tau_{\text{вх}} = R_{\text{вх}} C_{\text{вх}} \ll t_i$ .  
В качестве усилителя тока можно использовать каскад с общей базой.  
Входное сопротивление:

$$R_{\text{вх}} = R_{\text{э}} + (1 - \alpha)R_{\text{б}}$$

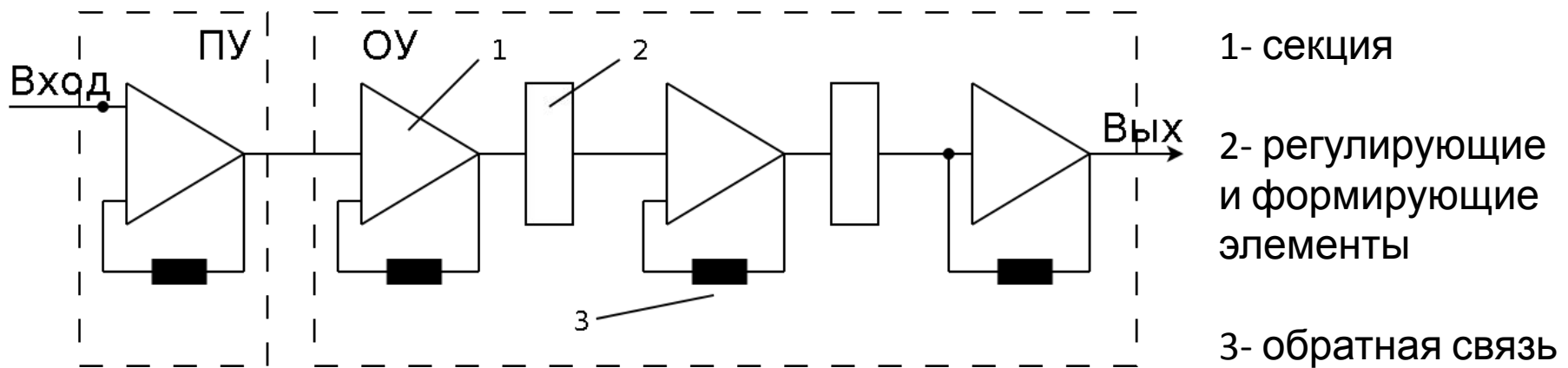
Емкость  $C_{\text{св}}$  подбирается из условия неискажения передачи импульса тока в низкоомную цепь эмиттера  $T_1$

# 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

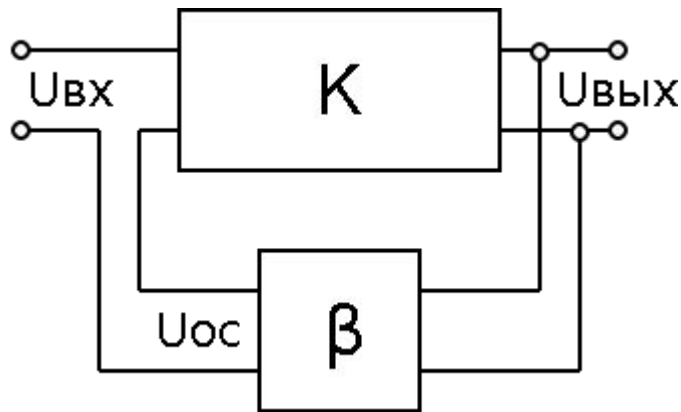
Это линейные усилители, применяемые для прецизионных амплитудных измерений. Типичная нелинейность до  $10^{-4}$ , нестабильность до  $10^{-5}$ . Времена нарастания  $\sim 1$  мкс, средняя частота  $10^5$  имп/с. Коэффициент усиления  $10^6$ - $10^7$ . Как правило, состоят из блоков предварительного и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

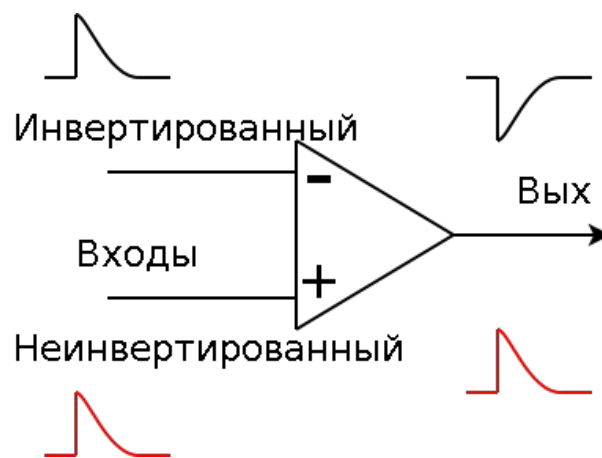
Для ООС  
( $\beta < 0$ )  $K_{oc} = \frac{K}{1 + K\beta}$   $K\beta$  – фактор обратной связи

$dK_{oc} = \frac{dK}{(1 + K\beta)^2}$  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.

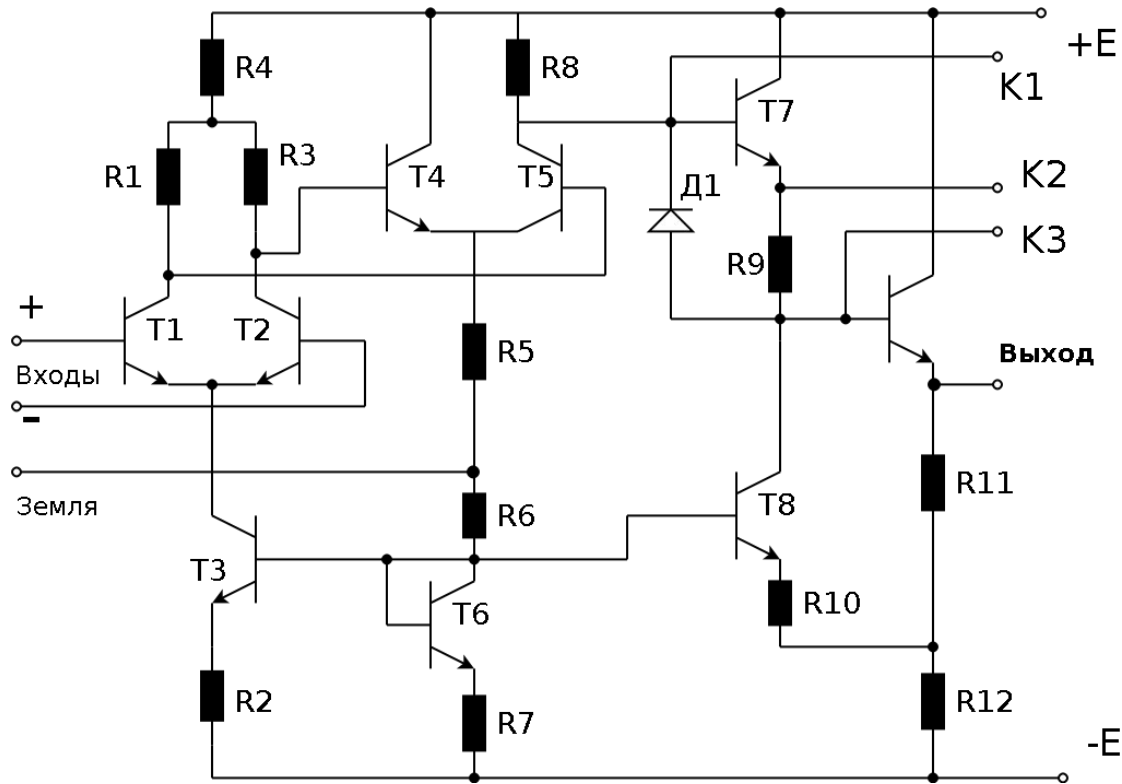
# Элементная база усилителей

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



ОУ состоит из нескольких каскадов, соединенных гальванической связью

# Операционный усилитель

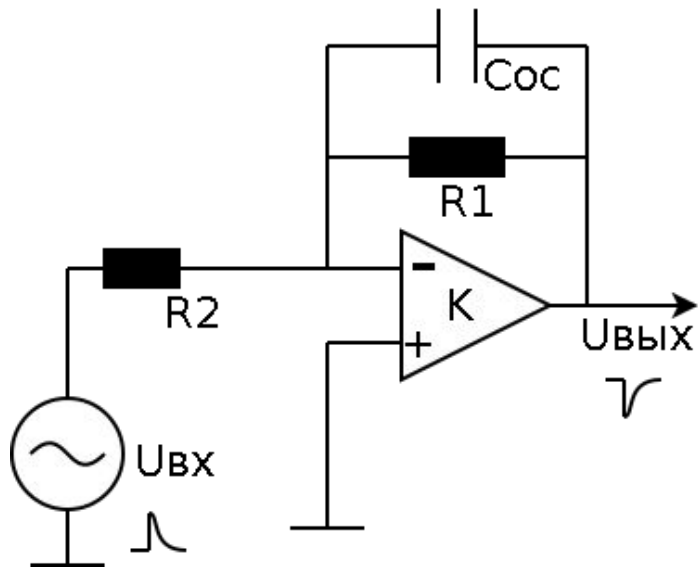


Операционный усилитель 140УД1

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.

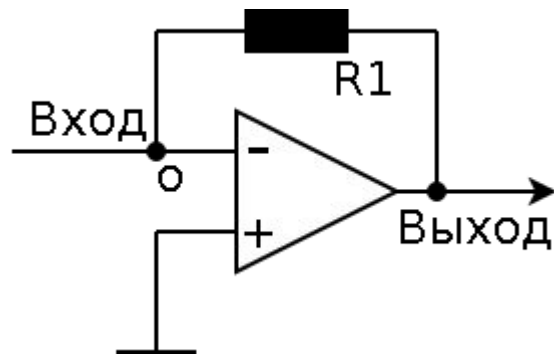
$$I_{вх} = \frac{U_{вх} - \frac{U_{вых}}{K}}{R_2} \quad I_{ос} = \frac{U_{вых} - \frac{U_{вых}}{K}}{R_1}$$

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

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:

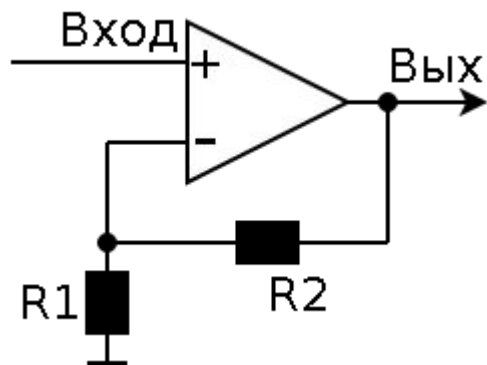
$$R_{вх} = \frac{R_1}{1 + K}$$

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).