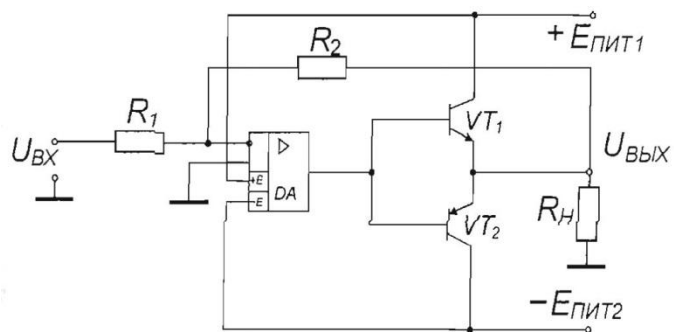
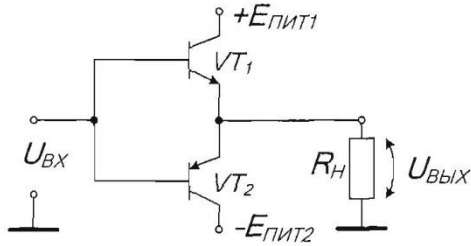


# Схемотехника электронных средств

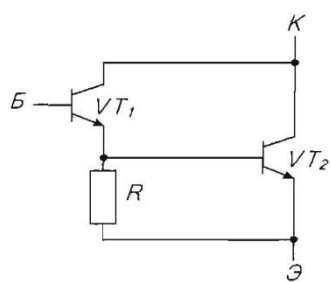
---

# Выходные усилители мощности

двухтактная схема усилителя мощности класса В



Составной транзистор



$$\beta = \beta_1 \beta_2$$

большие токи  
большой входной импеданс

двухтактная схема усилителя мощности класса АВ

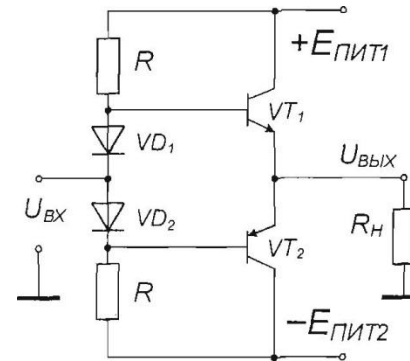
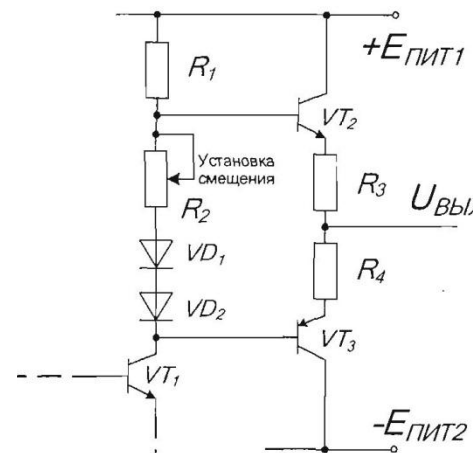
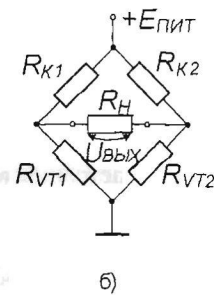
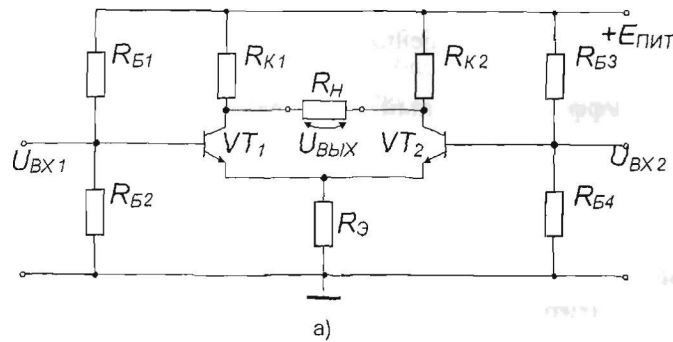


схема с параметрической температурной стабилизацией режима



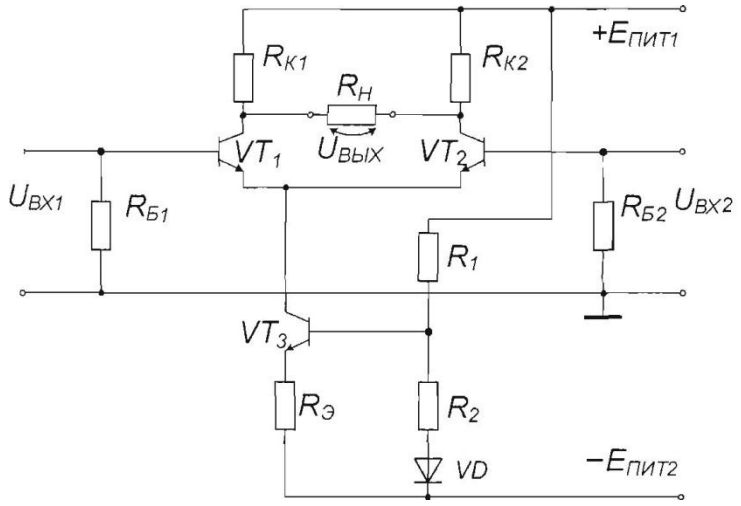
# Дифференциальный усилитель



Используется для усиления разности двух напряжений. Когда уровни сигналов на обоих входах изменяются одинаково, то такое изменение сигнала называют синфазным. Коэффициент ослабления (подавления) синфазного сигнала ( $K_{ОСС}$ ) представляет собой отношение выходного полезного сигнала к выходному синфазному сигналу.

$$\Delta U_{ВЫХ} = \Delta I_{К1} R_{К1} - (-\Delta I_{К2} R_{К2}) = R_{К} (\Delta I_{К1} + \Delta I_{К2})$$

$$\Delta U_{Э} = R_{Э} (\Delta I_{Э1} - \Delta I_{Э2})$$



Если параметры обеих половин дифференциального усилителя одинаковы, то  $\Delta U_{Э} = 0$ .

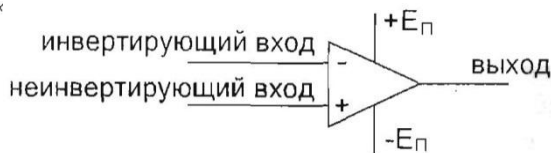
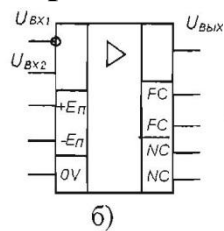
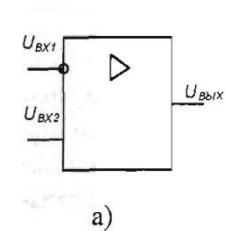
Напряжение  $\Delta U_{Э}$  отражает действие в каскаде, выполненном по схеме с ОЭ, последовательной ООС по току нагрузки. Отсутствие этого напряжения говорит о том, что в полностью симметричном дифференциальном каскаде, как по постоянному, так и по переменному току действие ООС отсутствует. Т.е. коэффициент усиления по напряжению дифференциального усилителя всегда больше, чем в каскаде на одиночном транзисторе.

Сопротивление  $R_{Э}$  определяет коэффициент усиления дифференциального сигнала, чем меньше  $R_{Э}$  тем больше коэффициент. С другой стороны, чем больше  $R_{Э}$ , тем меньше изменяются коллекторные токи транзисторов при воздействии возмущений (например, синфазных сигналов), тем больше  $K_{ОСС}$ . Идеальный генератор постоянного тока обладал бы бесконечным сопротивлением. Транзистор по своим свойствам приближается к идеальному генератору тока, поскольку его выходное сопротивление приближается к 100 кОм.

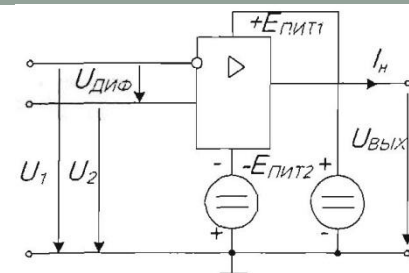
Применение диода  $VD$  в нижнем плече делителя напряжения обеспечивает температурную компенсацию. Прямое напряжения на диоде падает с ростом температуры точно так же, как это имеет место с разностью напряжений между базой и эмиттером, так что в широком диапазоне температур приложенное к базе напряжение согласуется с тем, какое требуется транзистору для поддержания постоянного тока эмиттера. В интегральных микросхемах роль диода может играть точно такой же открытый переход база - эмиттер (транзистор с замкнутым накоротко коллектором и базой).

# ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

## Основные свойства операционных усилителей

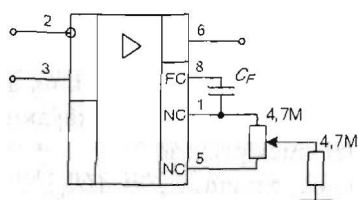
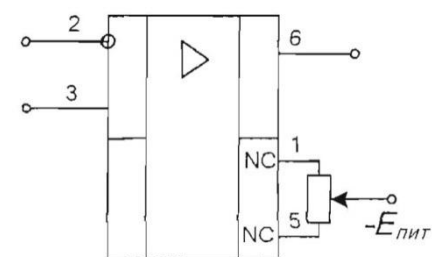
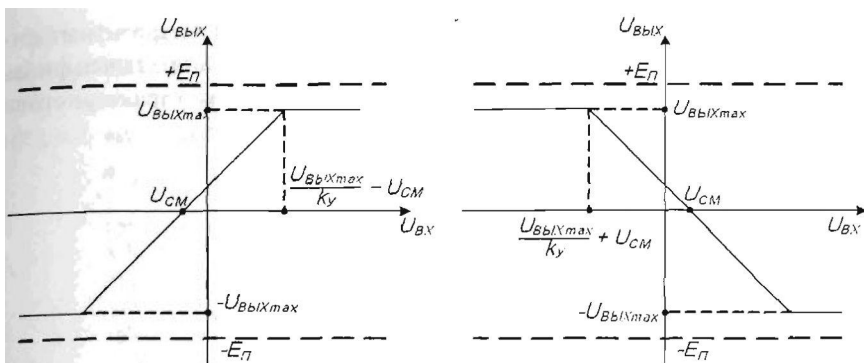


$$U_{\text{ДИФ}} = U_{\text{НЕИНВ}} - U_{\text{ИНВ}}$$



## Параметры и характеристики ОУ

### Передаточные характеристики ОУ



### Частотные характеристики ОУ

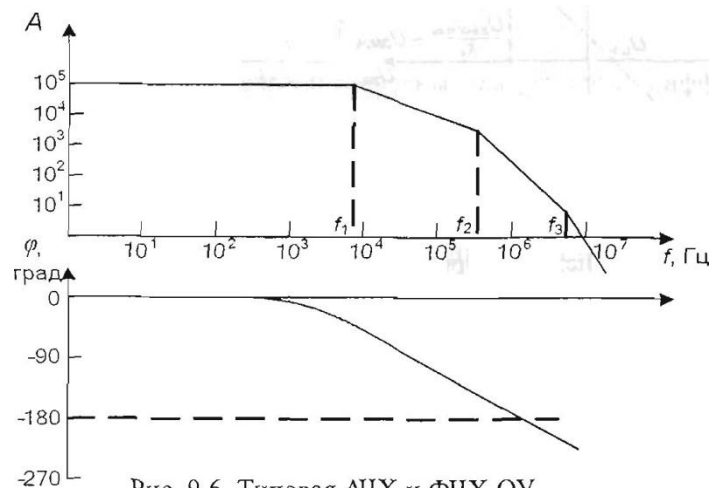
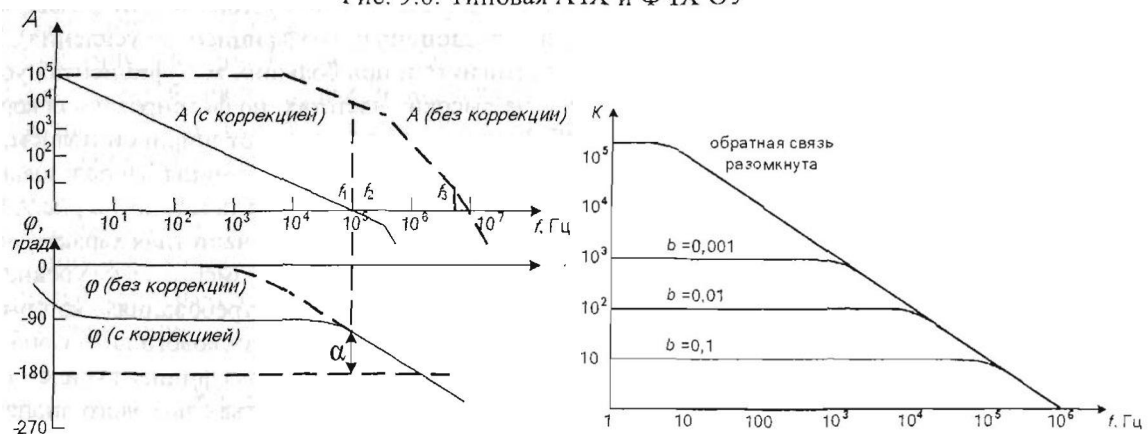


Рис. 9.6. Типовая АЧХ и ФЧХ ОУ



# ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Основные характеристики ОУ можно разделить на две группы: статические и динамические. К статическим относятся характеристики, определяющие работу ОУ в установившемся режиме:

- коэффициент усиления по напряжению  $K = \Delta U_{\text{ВЫХ}} / \Delta U_{\text{ВХ}}$ ;
- напряжение смещения  $U_{\text{СМ}}$  - это напряжение, которое нужно приложить ко входу ОУ, чтобы сделать  $U_{\text{ВЫХ}} = 0$ ;
- входные токи  $I_{\text{ВХ+}}$  и  $I_{\text{ВХ-}}$  - это токи, протекающие через входные цепи ОУ;
- разность входных токов  $\Delta I_{\text{ВХ}} = I_{\text{ВХ+}} - I_{\text{ВХ-}}$ ;
- температурный коэффициент напряжения смещения  $\Delta U_{\text{СМ}} / \Delta T$ ;
- температурный коэффициент разности входных токов  $\Delta I_{\text{ВХ}} / \Delta T$ ;
- коэффициент ослабления синфазного сигнала  $K_{\text{ОСС}}$  - это отношение коэффициента усиления дифференциального сигнала к коэффициенту усиления синфазного сигнала  $K_{\text{ОСС}} = K_{\text{ДИФ}} / K_{\text{СФ}}$ ;
- максимальный выходной ток  $I_{\text{ВЫХmax}}$ ;
- часто в числе основных параметров ОУ используются входной и выходной импеданс  $R_{\text{ВХ}}$  и  $R_{\text{ВЫХ}}$ .

Динамические характеристики ОУ описываются обычно двумя параметрами: предельной частотой (частотой единичного усиления)  $f_{\text{ПР}} = f_1$  и максимальной скоростью нарастания выходного напряжения  $V_{U_{\text{ВЫХmax}}}$ . Эти параметры взаимосвязаны и во многом зависят от цепей частотной коррекции.

Идеальный операционный усилитель имеет следующие характеристики:

- входной импеданс (для дифференциального и синфазного входного сигнала) равен бесконечности, а входные токи - нулю;
- выходной импеданс (при разомкнутой ОС) равен нулю;
- коэффициент усиления по напряжению равен бесконечности;
- коэффициент усиления синфазного входного сигнала равен нулю;
- выходное напряжение равно нулю, когда напряжение на обоих входах одинаково (напряжение сдвига равно нулю);
- выходное напряжение может изменяться мгновенно (бесконечная скорость нарастания и бесконечная частота единичного усиления).

# ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

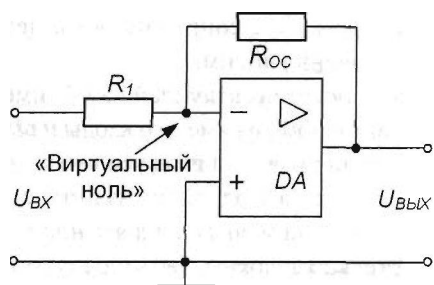
## Классификация ОУ

Операционные усилители, выпускаемые в настоящее время, можно разделить на несколько групп по совокупности их параметров.

1. Универсальные или общего применения ( $K = 10^3 \dots 10^5$ ,  $f_{\text{ПР}} = 1 \dots 10 \text{ МГц}$ ,  $U_{\text{СМ}} > 0,5 \text{ мВ}$ ) используются для построения узлов аппаратуры, имеющих суммарную приведенную погрешность на уровне 1%. Характеризуются относительно малой стоимостью и средним уровнем параметров.
2. Прецизионные или инструментальные ( $K > 0,5 \dots 10^6$ ,  $U_{\text{СМ}} < 0,5 \text{ мВ}$ ) применяются для усиления малых электрических сигналов, сопровождаемых высоким уровнем помех, и характеризуются малым значением напряжения смещения и его температурным дрейфом, большими коэффициентами усиления и подавления синфазного сигнала, большим входным сопротивлением и низким уровнем шумов. Как правило, имеют невысокое быстродействие.
3. Быстродействующие или широкополосные ( $V_{U_{\text{ВЫХmax}}} > 20 \text{ В/мкс}$ ,  $f_{\text{ПР}} > 16 \text{ МГц}$ ) используются для преобразования быстроизменяющихся сигналов. Они характеризуются высокой скоростью нарастания выходного сигнала, малым временем установления, высокой предельной частотой, а по остальным параметрам уступают ОУ общего назначения.
4. Микромощные ОУ ( $I_{\text{ПОТР}} < 1 \text{ мА}$ ) необходимы в случаях, когда потребляемая мощность жестко лимитирована, например, в приборах с автономным питанием.
5. ОУ с малым входным током ( $I_{\text{ВХ}} < 100 \text{ пА}$ ) используют входной каскад на полевых транзисторах. Многоканальные ОУ имеют параметры, аналогичные усилителям других типов. Отличие в том, что в одном корпусе размещают два или четыре ОУ. Многоканальные ОУ служат для улучшения массогабаритных параметров и снижения энергопотребления аппаратуры.
6. Мощные и высоковольтные ОУ ( $I_{\text{ВЫХ}} > 100 \text{ мА}$ ,  $U_{\text{ВЫХ}} > 15 \text{ В}$ ) - усилители с выходными каскадами, построенными на мощных высоковольтных элементах.
7. ОУ с гальванической развязкой

# ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

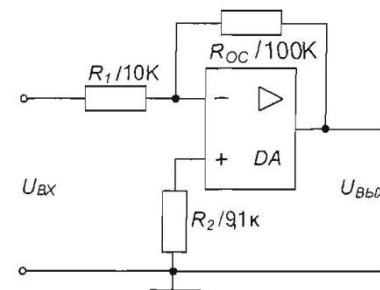
## Инвертирующий усилитель



$$U_{\text{ВЫХ}} / R_{\text{ОС}} = -U_{\text{ВХ}} / R_1$$

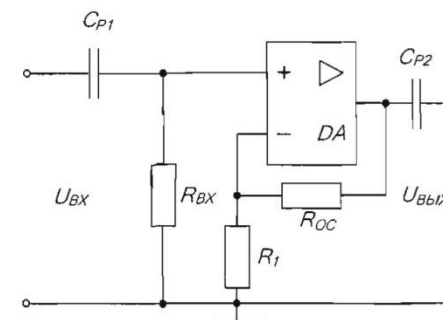
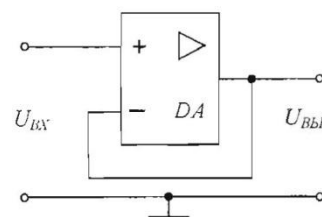
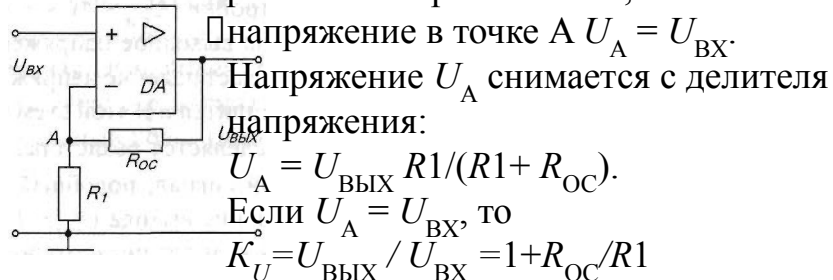
□

$$K_U = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}} = -R_{\text{ОС}} / R_1$$

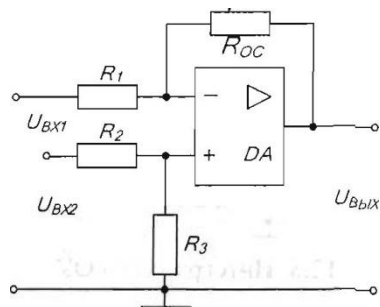


## Неинвертирующий усилитель

разность напряжений ОУ, охваченного ООС=0.



## Дифференциальный усилитель



Вход  $U_{\text{ВХ1}}$  является инвертирующим, вход  $U_{\text{ВХ2}}$  - неинвертирующим. Если вход  $U_{\text{ВХ2}}$  заземлить, а на вход  $U_{\text{ВХ1}}$  подать сигнал, то □ инвертирующий усилитель с коэффициентом усиления напряжения  $-R_{\text{ОС}} / R_1$ .

Если входы поменять местами, то □ неинвертирующий усилитель с коэффициентом усиления напряжения  $1 + R_{\text{ОС}} / R_1$ .

В случае, если сопротивления всех резисторов в схеме одинаково  $R_1 = R_2 = R_3 = R_{\text{ОС}}$ ,

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ2}} - U_{\text{ВХ1}}$$