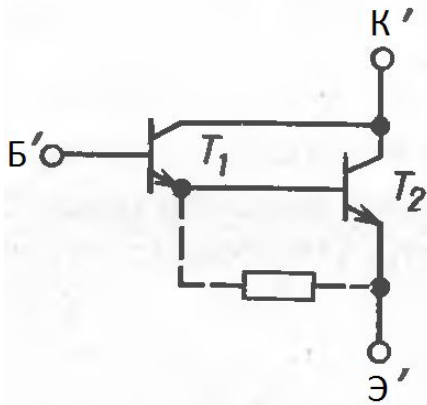


## Схема Дарлингтона

Когда усиления по току одного транзистора не достаточно, цепь дополняют еще одним транзистором и схема представляется как составной транзистор.

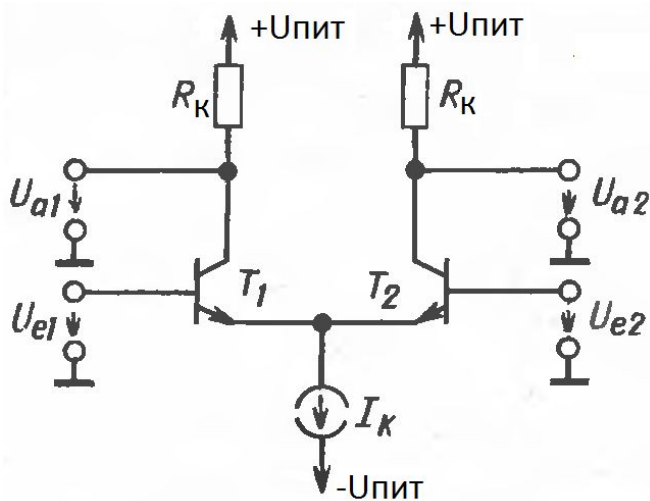


$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2; \quad S = \frac{I_K}{2U_{бэ}};$$

$$r_{бэ} = 2\beta \frac{U_{бэ}}{I_K}; \quad r_{кэ} = \frac{2}{3} r_{кэ2};$$

В составной транзистор могут входить два комплиментарных транзистора.

## Дифференциальные усилители.



Это симметричные усилители постоянного напряжения с двумя входами и двумя выходами. В общую эмиттерную цепь включен источник стабильного тока. Он обеспечивает постоянство суммы эмиттерных токов. При отсутствии сигнала токи  $I_{к1}=I_{к2}$  и  $I_{э1}=I_{э2}$ . Это равенство не изменяется, если оба входных напряжения получат приращения на одну и ту же величину (синфазный сигнал)

Выходное напряжение остается равным нулю, т.е. коэффициент усиления синфазного сигнала равен нулю. Если  $U_{e1} > U_{e2}$ , то  $I_{k1}$  увеличится, а  $I_{k2}$  уменьшится, т.е. разность входных напряжений вызывает изменение выходного сигнала.

Дифференциальный усилитель имеет малый дрейф нуля, хорошо приспособлен для усиления постоянного тока. Если нужно усилить не разность напряжений, а входное напряжение, один из входов заземляется.

$$A_{\text{д}} = \frac{dU_{a1}}{dU_{\text{д}}} = -\frac{dU_{a2}}{dU_{\text{д}}} = -\frac{1}{2} \cdot s \cdot (R_{\text{к}} || r_{\text{кэ}});$$

Коэффициент усиления:

$$A_{\text{д}} \approx 50 \div 100;$$

Коэффициент усиления синфазного сигнала  $A_{\text{синф.}} = \frac{dU_{a1}}{dU_{\text{синф.}}} = \frac{dU_{a2}}{dU_{\text{синф.}}} = -\frac{1}{2} \frac{R_{\text{к}}}{r_{\text{ист.тока}}};$

$$A_{\text{синф.}} \approx 10^{-3};$$

Коэффициент ослабления синфазного сигнала:

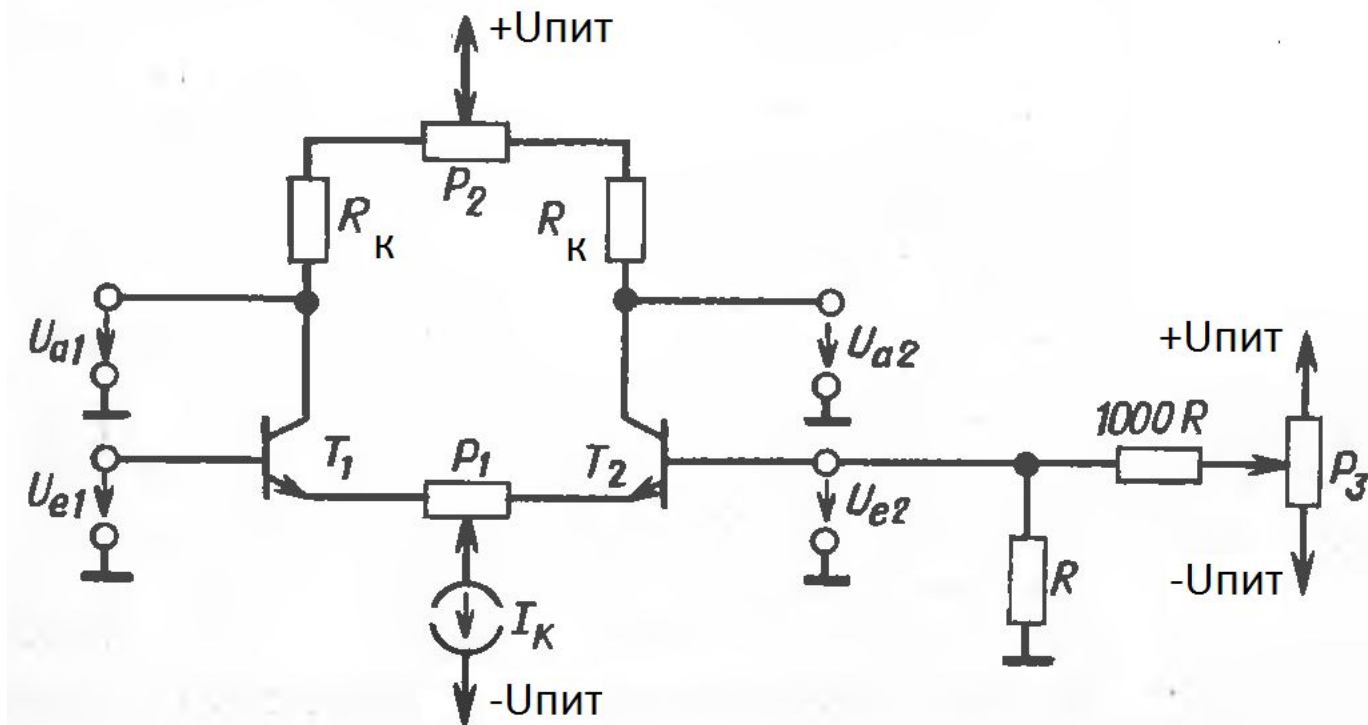
$$G = \frac{A_{\text{д}}}{A_{\text{синф.}}} = s \cdot r_{\text{ист.тока}};$$

$$G \approx 130000 = 102 \text{дб};$$

На частотах больших чем 1 МГц характеристики усилителя ухудшаются.

## Напряжение разбаланса

У двух транзисторов при равных  $I_K$  напряжения  $U_{Бэ}$  немного различаются. Поэтому при  $U_{диф} = 0$ , выходное напряжение может быть не равно нулю. Напряжение разбаланса – это разность входных напряжений, которую нужно приложить, чтобы получить на выходе. ( $U_{a1} = U_{a2}$ )



$P_1, P_2, P_3$ -потенциометры ( варианты установки нуля).

## Внешний вид транзисторов.

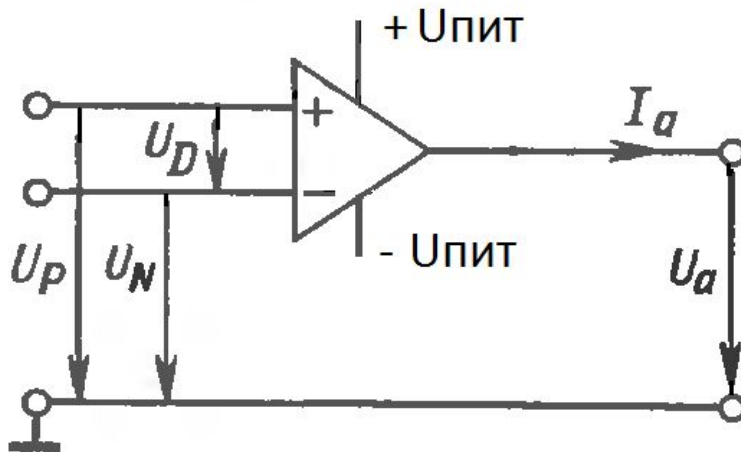


## Операционный усилитель

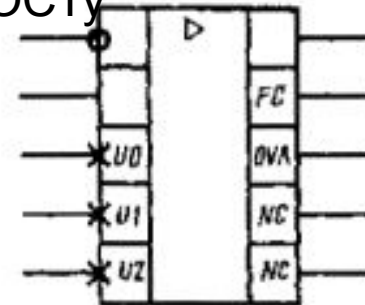
Свойства и параметры обычного усилителя определяются его схемой. Свойства и параметры операционного усилителя определяются, в основном, параметрами цепи обратной связи. ОУ выполняется по схеме усилителя постоянного тока с нулевым значением напряжения смещения нуля, с большим коэффициентом усиления, высоким входным и низким выходным сопротивлениями.

### Свойства операционного усилителя

Входной каскад выполняется в виде дифференциального усилителя, поэтому ОУ имеет два входа.



обозначение по  
ГОСТу



P- вход называется неинвертирующим и обозначен знаком "+",  
N - вход называется инвертирующим и обозначен знаком "-".

$$U_{\text{пит}} = \pm 15\text{В.}$$

## Технические характеристики ОУ

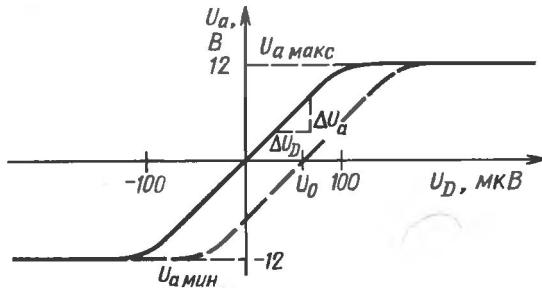
Дифференциальный коэффициент усиления :

$$A_{\text{Д}} = \frac{\Delta U_{\text{а}}}{\Delta U_{\text{Д}}} = \begin{cases} \frac{\Delta U_{\text{а}}}{\Delta U_{\text{Р}}}, & \text{при } |U_{\text{N}} = \text{const} \\ -\frac{\Delta U_{\text{а}}}{\Delta U_{\text{N}}}, & \text{при } |U_{\text{Р}} = \text{const} \end{cases};$$

$$A_{\text{Д}} \approx 10^4 \div 10^5;$$

Собственный коэффициент усиления ОУ характеризует крутизну нарастания.

Зависимость выходного напряжения от разности входных напряжений.



$U_{\text{а макс}}$  и  $U_{\text{а мин}}$  зависят от соответствующего напряжения питания примерно на 3В. Для реальных ОУ характеристики могут не проходить через ноль. Чтобы сделать выходное напряжение равным нулю, на вход необходимо подать разность напряжений  $U_0$ .

$U_0$  – напряжение смещения нуля.

От 3 до 10 мкВ/град.

Температурный дрейф ОУ:

Временной дрейф ОУ:

несколько мкВ/месяц.

Дрейф, обусловленный суммарным изменением напряжения питания:

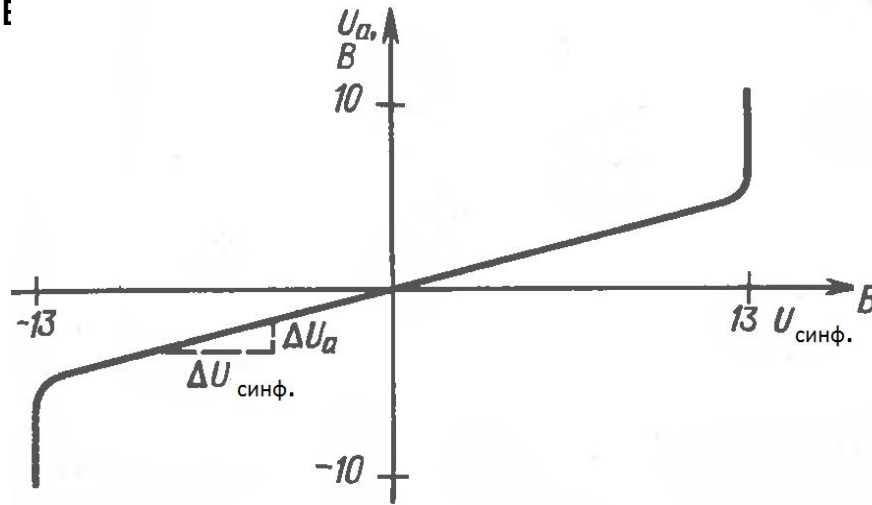
10  
÷100мкВ/В.

$$U_a = A_D(U_P - U_N);$$

$$A_{\text{синф}} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_{\text{синф}}} \neq 0 \quad \text{— коэффициент усиления синфазного сигнала}$$

$$G = \frac{A_D}{A_{\text{синф}}} \sim 10^5 \quad \text{— коэффициент ослабления синфазного сигнала.}$$

При больших значениях синфазного сигнала сигнал на выходе резко

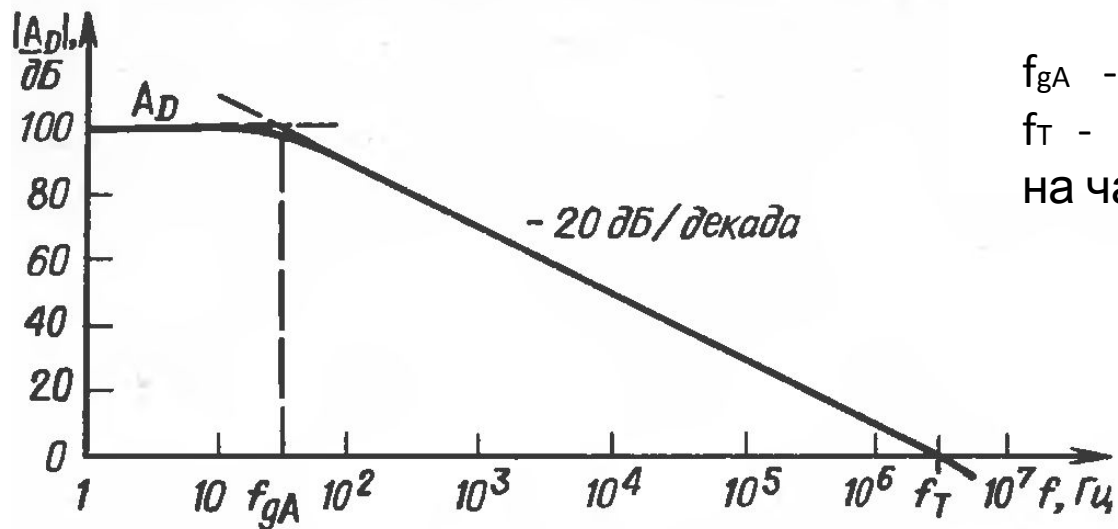


Граница области ослабления синфазного сигнала отстоит на 2 В от напряжения питания.

Частотные свойства

ОУ:

ОУ, предназначенные для универсального использования, из соображений устойчивости должны иметь частотную характеристику, подобную характеристике фильтра нижних частот первого порядка. Это требование должно выполняться до частоты, на которой модуль  $|A_D|=1$ . Для выполнения этого требования в схему усилителя вводят частотную коррекцию.



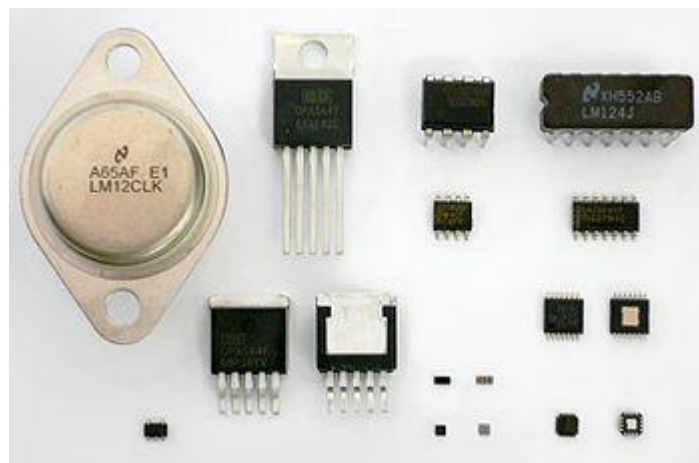
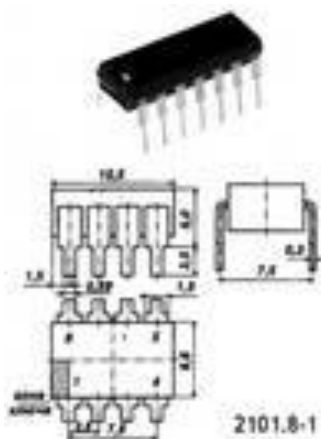
$f_{gA}$  - граница полосы пропускания.  
 $f_T$  - частота единичного усиления.  
 на частоте  $f_T$   $|A_D|=1$ .

$$f_T = |A_D|f$$

Входное сопротивление ОУ.

Входное сопротивление для дифференциального сигнала  $r_{д} \sim \text{МОм}$ .

Входное сопротивление для синфазного сигнала  $r_{синф} \sim \text{ГОм}$ .





**Типовые параметры интегральных операционных усилителей без внешних обратных связей при напряжении питания  $\pm 15$  В.**

Параметр	Символ	Стандартные усилители		Специальные усилители	
		на базе биполярных транзисторов $\mu$ А 741	на базе полевых транзисторов LF 356	на базе биполярных транзисторов $\mu$ А 714А	на базе полевых транзисторов 3528 СМ
Дифференциальный коэффициент усиления	$A_D$	$10^5$	$10^5$	$5 \cdot 10^5$	$10^5$
Коэффициент ослабления синфазного сигнала	$G$	$3 \cdot 10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^4$
Полоса пропускания с ослаблением на границах 3 дБ	$f_{\partial A}$	10 Гц	50 Гц	2 Гц	7 Гц
Произведение усиление-полоса пропускания	$f_T$	1 МГц	5 МГц	1 МГц	700 кГц
Дифференциальное входное сопротивление	$r_D$	$10^6$ Ом	$10^{12}$ Ом	$6 \cdot 10^7$ Ом	$10^{13}$ Ом
Синфазное входное сопротивление	$r_{GI}$	$10^9$ Ом	$10^{14}$ Ом	$2 \cdot 10^{11}$ Ом	$10^{15}$ Ом
Входной ток при отсутствии сигнала	$I_B$	80 нА	30 пА	$\pm 0,7$ нА	<b>0,05</b> пА
Напряжение смещения	$U_0$	1 мВ	3 мВ	10 мкВ	0,2 мВ
Дрейф напряжения смещения	$\Delta U_0 / \Delta \vartheta$	6 мкВ/К	5 мкВ/К	<b>0,2</b> мкВ/К	5 мкВ/К
Коэффициент ослабления изменения напряжения питания	$\Delta U_0 / \Delta U_b$	15 мкВ/В	10 мкВ/В	3 мкВ/В	25 мкВ/В
Область ослабления синфазного сигнала	$U_{GI \max}$	$\pm 13$ В	+15 В, -12 В	$\pm 14$ В	$\pm 12$ В
Область усиления по выходному напряжению	$U_{a \max}$	$\pm 13$ В	$\pm 13$ В	$\pm 13$ В	$\pm 12$ В
Максимальный выходной ток	$I_{a \max}$	$\pm 20$ мА	$\pm 20$ мА	$\pm 20$ мА	$\pm 10$ мА
Выходное сопротивление	$r_a$	1 кОм	50 Ом	60 Ом	1,5 кОм
Потребляемый ток	$I_b$	1,7 мА	5 мА	2,5 мА	1 мА