

Операционные усилители и их свойства

Идеальный операционный усилитель – это дифференциальный усилитель постоянного тока, обладающий следующими свойствами:

- 1.) дифференциальный коэффициент усиления равен бесконечности $K_d = \infty$;
- 2.) входное сопротивление для дифференциального сигнала бесконечно $R_{вхд} = \infty$;
- 3.) входное сопротивление для синфазного сигнала бесконечно $R_{вхс} = \infty$;
- 4.) выходное сопротивление равно нулю $R_{вых} = 0$,

выполняющимися в полосе частот $f \in [0, \infty]$.

Электрической моделью идеального операционного усилителя является источник напряжения, управляемый напряжением, широко используемый в теории электрических цепей (рис. 1).

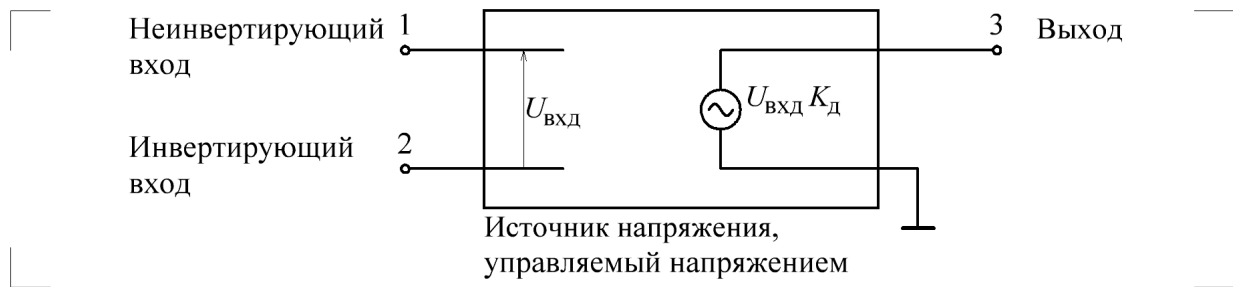


Рис. 1

В общем случае допускается работа операционного усилителя как с положительными, так и отрицательными входными и выходными напряжениями.

Операционные усилители реализуются в виде интегральных микросхем, имеющих два входных вывода, один выходной, два вывода для подачи питающих напряжений. Иногда имеются дополнительные выводы для организации частотной коррекции, балансировки и др.

Условное графическое обозначение операционного усилителя, как интегральной микросхемы приведено на рис. 2а.

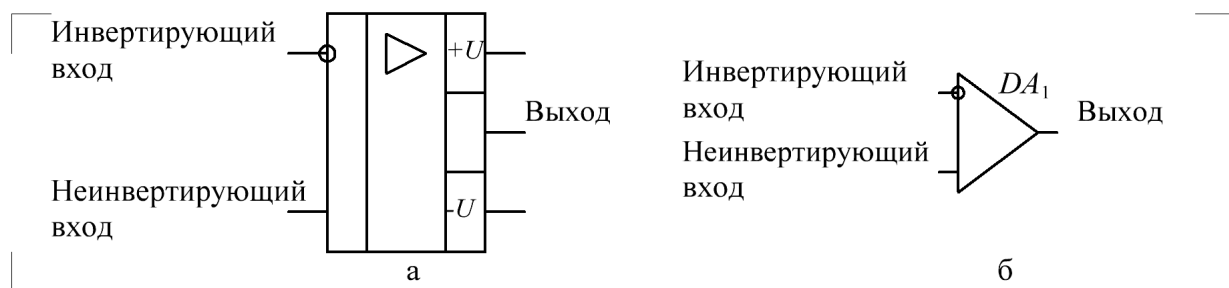


Рис. 2

Иногда используется упрощенное начертание условного графического обозначения (рис. 2б), где выводы питания явно не отображаются, но наличие их подразумевается.

В идеальном операционном усилителе $U_{\text{ВЫХ}} = 0$ при $U_{\text{ВХД}} = 0$. Это условие балансировки операционного усилителя. На рис. 3а пунктиром нанесена передаточная характеристика сбалансированного операционного усилителя с конечным коэффициентом усиления.

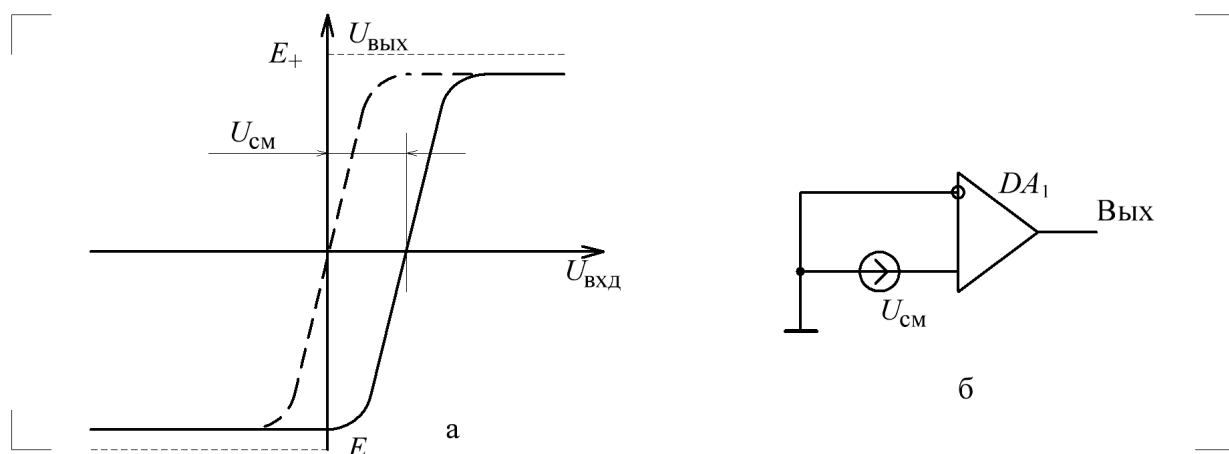


Рис. 3

У реального устройства при нулевом дифференциальном входном напряжении выходное напряжение не равно нулю. Для того чтобы это напряжение сделать нулевым, необходимо между входами приложить напряжение смещения, компенсирующее собственную разбалансировку дифференциальной схемы операционного усилителя (рис. 3б).

Сплошной линией на рис. 3а приведена передаточная характеристика реального операционного усилителя.

Следует также отметить, что выходное напряжение ограничено сверху и снизу напряжениями питания, что также отражено на рис. 3а. Кроме того реальные микросхемы операционных усилителей имеют конечные значения входных сопротивлений для дифференциального и синфазного сигналов и выходного со-

противления. Модель операционного усилителя, построенная с учетом этих факторов, приведена на рис. 4а.

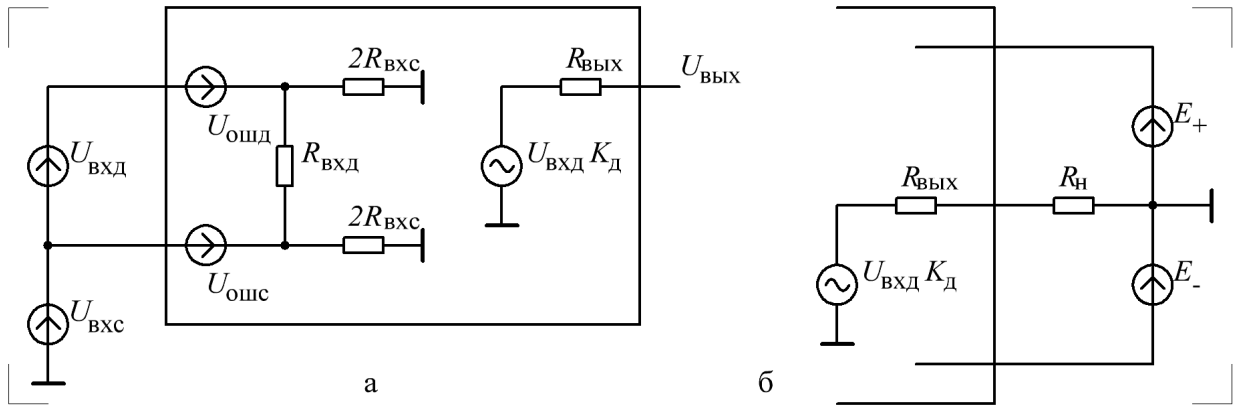


Рис. 4

На этой схеме источник напряжения $U_{\text{ошд}} = 0$ отражает наличие выходного напряжения при нулевых $U_{\text{вхд}} = 0$ и $U_{\text{вхс}} = 0$. Источник $U_{\text{ошс}} = 0$ описывает дополнительную ошибку, обусловленную синфазным напряжением на входах. Конечные входные и выходное сопротивления отражены соответствующими резисторами.

Конечное выходное сопротивление ограничивает размах выходного напряжения на конечной нагрузке, поскольку в выходной цепи образуется делитель напряжения (рис. 4б), что наглядно иллюстрируется рис. 5а, где изображены две передаточные характеристики, соответствующие различным выходным сопротивлениям.

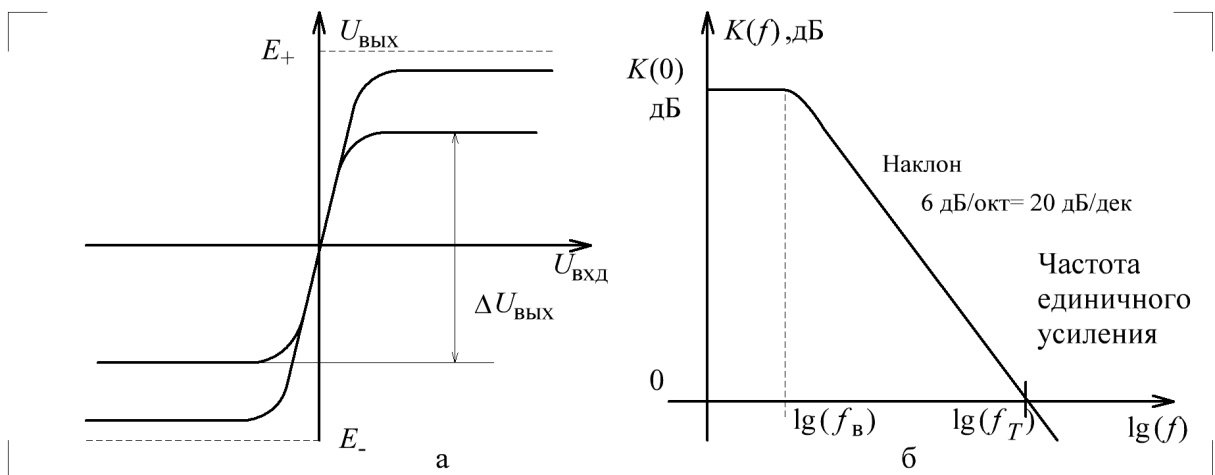


Рис. 5

Частотные свойства операционного усилителя в основном определяются частотной зависимостью дифференциального коэффициента усиления. На практике в большинстве случаев можно считать, что эта зависимость соответствует

инерционному звену 1 порядка с комплексным коэффициентом передачи

$$K_{\text{д}}(jf) = \frac{K_{\text{д}}(0)}{1 + jf/f_{\text{в}}},$$

модуль которого равен

$$K_{\text{д}}(f) = \frac{K_{\text{д}}(0)}{\sqrt{1 + (f/f_{\text{в}})^2}}$$

и характеризуется верхней частотой среза $f_{\text{в}}$. График этой зависимости в логарифмическом масштабе качественно представлен на рис. 5б.

Точка пересечения кривой с горизонтальной осью соответствует единичному коэффициенту усиления (0 дБ) и называется частотой единичного усиления.