

## 7.6. СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

**Общие сведения.** Операционными усилителями (ОУ) называют широкий класс усилителей с гальваническими связями, работающих при наличии глубокой обратной связи. Эта обратная связь настолько велика, что параметры и характеристики устройства на ОУ практически полностью определяются видом и характеристиками элементов, входящих в цепь ОС.

Впервые ОУ были разработаны около 40 лет назад и предназначались для выполнения некоторых математических операций (сложения, вычитания, интегрирования и др.) в аналоговых вычислительных машинах. В современных ЭВМ математические операции выполняются логическими (цифровыми) ИМС, а усилители с большим коэффициентом усиления и глубокими обратными связями для этих цепей не используются. Однако термин «операционные усилители» за ними сохранился.

Реализовать высококачественный ОУ на дискретных элементах — задача очень трудная, а для серийного производства почти неразрешимая. Поэтому широкое распространение получили лишь интегральные ОУ, стабильные параметры которых достигнуты благодаря обеспечению высокой симметрии плеч входящих в них балансных каскадов и повышению сложности электрической схемы.

**Структура ОУ.** Независимо от сложности принципиальной схемы почти все ОУ имеют структурную схему, показанную на рис. 7.13. Операционные усилители, построенные по такой структурной схеме, имеют два входа и один выход. По отношению к выходу один из входов является инвертирующим, другой — неинвертирующим. Наличие в ОУ инвертирующего и неинвертирующего входов значительно облегчает введение в него различных ОС и с их помощью реализацию различных функций.

Отклонения от данной структурной схемы носят не принципиальный характер. Например, могут быть три

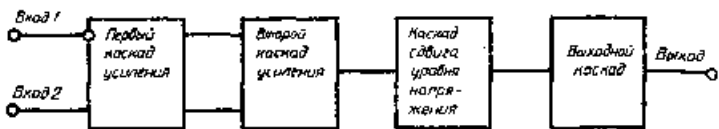


Рис. 7.13. Структурная схема ОУ

каскада усиления напряжения, схема защиты выхода от короткого замыкания и схема защиты входного каскада от перенапряжений.

*Каскады усиления* служат для обеспечения заданного коэффициента усиления. В современных ОУ коэффициент усиления составляет от единиц до десятков тысяч. *Каскад сдвига уровня* напряжения предназначен для исключения постоянной составляющей напряжения, которая возникает в ОУ при непосредственной связи между каскадами. Благодаря этому каскаду на выходе ОУ устанавливается нулевое напряжение при отсутствии сигналов на его входах.

*Выходной (оконечный) каскад* служит для получения малого выходного сопротивления ОУ в целях лучшего согласования ОУ с нагрузкой. Он выполняется по одноконтурной, а чаще всего — по двухконтурной схеме. В некоторых ОУ в выходных каскадах предусмотрена схема защиты от перегрузок, с помощью которой ограничивается максимальный ток транзисторов выходного каскада.

Питание ОУ осуществляется от разнополярных источников, благодаря чему облегчается задача компенсации смещения нуля на выходе ОУ при отсутствии входных сигналов и исключается постоянная составляющая тока и напряжения в нагрузке. Для большинства современных ОУ напряжения питания можно изменять в широких пределах: от  $\pm 3$  до  $\pm 15$  В (важно лишь, чтобы по абсолютному значению напряжения «положительного» и «отрицательного» источников оставались одинаковыми).

Для обеспечения устойчивости в операционных усилителях широко используются частотно-зависимые обратные связи (цепи коррекции).

Хорошие шумовые свойства ОУ обеспечиваются специальными технологическими операциями при производстве транзисторов с минимальной площадью контакта  $p-n$ -переходов с поверхностью, уменьшением абсолютных размеров транзисторов, высококачественной изоляцией и использованием во входных каскадах полевых транзисторов.

Большинство интегральных ОУ изготавливают по полупроводниковой технологии (серии К140, К153, К553, К740, 744 и др.) и лишь некоторые — по гибридной (серии 284, 287).

**Параметры и характеристики ОУ.** Наиболее употребительные параметры интегральных ОУ:

коэффициент усиления напряжения  $K_{y, \text{н}}$ , или коэффициент усиления дифференциального сигнала;

коэффициент усиления синфазных входных напряжений  $K_{y, \text{сф}}$ ;

коэффициент ослабления синфазных входных сигналов  $K_{oc, \text{сф}}$ ;

напряжение смещения  $U_{см}$  — значение напряжения на входе ОУ, при котором выходное напряжение равно нулю;

входные токи  $I_{вх1}, I_{вх2}$  и разность входных токов  $\Delta I_{вх} = I_{вх1} - I_{вх2}$ , определяемые в заданном режиме (обычно при  $U_{вых} = 0$ ).

Параметры  $U_{см}$ ,  $I_{вх}$  и  $\Delta I_{вх}$  изменяются с изменением температуры. Поэтому эти параметры дополнительно характеризуются температурным дрейфом, который численно равен отношению отклонения соответствующего параметра от его значения при комнатной температуре к изменению температуры окружающей среды.

Кроме указанных параметров свойства интегральных ОУ характеризуются выходным  $I_{вых}$  и потребляемым  $I_{пот}$  токами, входным  $R_{вх}$  и выходным  $R_{вых}$  сопротивлениями, максимальными и минимальными входными и выходными напряжениями и др.

Перечисленные параметры составляют группу так называемых *статических параметров* ОУ. Быстродействие ОУ характеризуется *динамическими параметрами*, основными из которых являются следующие:

верхняя граничная частота полосы пропускания  $f$  на которой коэффициент усиления ОУ уменьшается в  $\sqrt{2}$  раз по сравнению с его значением при  $f = 0$ ;

частота единичного усиления  $f_1$ , на которой коэффициент усиления ОУ равен 1;

скорость нарастания выходного напряжения  $\dot{U}_{вых}$ , определяемая при подаче на вход ОУ напряжения прямоугольной формы с амплитудой, равной максимальному входному напряжению. Этот параметр выражают в вольтах на микросекунду (В/мкс).

Реакцию ОУ на воздействие ступенчатого входного

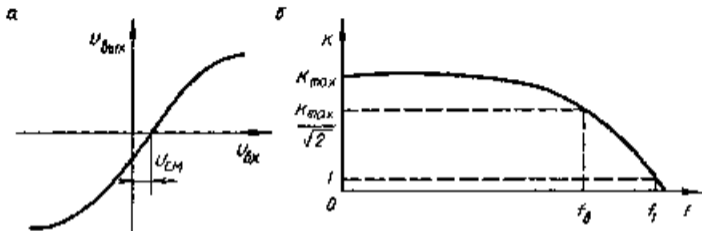


Рис. 7.14. Характеристики ОУ:  
 а — амплитудная; б — АЧХ

напряжения оценивают временем установления  $t_y$  выходного напряжения (см. § 5.8).

Основными характеристиками ОУ являются амплитудная и амплитудно-частотная (рис. 7.14).