

# Билет 4

## 1. Конденсатор и в цепи переменного тока

**Емкость** – это устройство, имеющее два выхода и обладающее свойством  $Q=CU$  [Ф]. Если есть конденсатор в 1Ф, и на нем в течении 1с поддерживается напряжение в 1В, то течет ток в 1А.

**Параллельное** соединение компонентов:  $CU=Q=Q_1+Q_2+...=C_1U+C_2U+... , C=C_1+C_2+... ,$  **последовательное**:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ...} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad \text{Соединение RC. } C \frac{dU}{dt} = -\frac{U}{R} - \text{у-е имеет}$$

решение  $U=Ae^{-t/RC}$ . RC – постоянная времени цепи R[Ом], C[Ф], RC[с]. Для конденсатора емкостью 1мФ, подключенному к сопротивлению в 1кОм за время 1мс, если конденсатор был заряжен на 1В, через резистор будет протекать ток в 1А.

**Подключение RC к батарее.** При  $t=0, I=CdU/dt=(U_{вх}-U_{вых})/R, U_{вых}=U_{вх}+Ae^{-t/RC}$ . Н.у.  $U=0, t=0, A=-U_{вх}, U_{вых}=U_{вх}/(1-e^{-t/RC})$ . Правило 5RC: за время, равное пяти постоянным времени, конденсатор заряжается или разряжается на 99%. Для анализа цепей переменного тока можно использовать х-ки 2х типов: - рассматривать изменения U и I во времени; -изменение амплитуды при изменении частоты сигнала. Часто емкость используется для задержки входного сигнала.

## 2. Операционные усилители

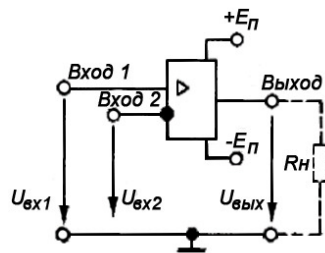
**Операционный усилитель (ОУ)** — унифицированный многокаскадный усилитель постоянного тока, удовлетворяющий следующим требованиям к электрическим параметрам(на практике ни одно из перечисленных требований не может быть удовлетворено полностью):

- коэффициент усиления по напряжению  $K_U$  стремится к

бесконечности ( $K_U \rightarrow \infty$ );

- входное сопротивление стремится к бесконечности ( $R_{вх} \rightarrow \infty$ );

- выходное сопротивление стремится к нулю ( $R_{вых} \rightarrow 0$ );



- если входное напряжение равно нулю, то выходное напряжение

также равно нулю ( $U_{вх} = 0 \rightarrow U_{вых} = 0$ );

- бесконечная полоса усиливаемых частот ( $f_B \rightarrow \infty$ ).

Достоверность допущений об идеальности свойств в каждом конкретном случае подтверждается сопоставлением реальных параметров ОУ и требований к разрабатываемым электронным средствам (ЭС). Так, если требуется разработать усилитель с коэф.усил. 10, то стандартный ОУ с коэф.усил. 25000 можно рассматривать как идеальный.

**Операционный усилитель** — это аналоговая интегральная схема, снабженная, как минимум, пятью выводами. Два вывода ОУ используются в качестве входных, один вывод является выходным, два оставшихся вывода используются для подключения источника питания ОУ. С учетом фазовых соотношений входного и выходного сигналов один из входных выводов (вход 1) называется неинвертирующим, а другой (вход 2)—инвертирующим. Выходное напряжение  $U_{вых}$  связано с входными напряжениями  $U_{вх1}$  и  $U_{вх2}$  соотношением

$$U_{вых} = K_{U0} (U_{вх1} - U_{вх2})$$

где  $K_{U0}$  — собственный коэффициент усиления ОУ по напряжению.

Из приведенного выражения следует, что ОУ воспринимает только разность входных напряжений, называемую дифференциальным входным сигналом, и нечувствителен к любой составляющей входного напряжения, воздействующей одновременно на оба его входа (сифазный входной сигнал).

Как было отмечено ранее,  $K_{U0}$  в ОУ должен стремиться к бесконечности, однако на практике он ограничивается значением 105...106 или 100... 120 дБ.

В качестве источника питания ОУ используют двухполярный источник напряжения ( $+E_{п}, -E_{п}$ ). Средний вывод этого источника, как правило, является общей шиной для входных и выходных сигналов и в большинстве случаев не подключается к ОУ. В реальных ОУ напряжение питания лежит в диапазоне  $\pm 3В... \pm 18В$ . Использование источника питания со средней точкой предполагает возможность изменения не только уровня, но и полярности как входного, так и выходного напряжений ОУ.

Реальные ОУ обычно снабжаются большим числом выводов, которые используются для подключения внешних цепей частотной коррекции, формирующих требуемый вид ЛАЧХ усилителя. Реализация перечисленных выше требований к электрическим параметрам ОУ невозможна на основе схемы однокаскадного усилителя. Поэтому реальные ОУ строятся на основе двух- или трехкаскадных усилителей постоянного тока. Функциональная схема включает в себя входной, согласующий и выходной каскады усиления.

**Основные параметры операционных усилителей.**

$$K_{U0} = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}}$$

**Коэффициент усиления по напряжению**

характеризует способность ОУ усиливать подаваемый на его входы дифференциальный сигнал. Типовое значение до 105...106 или 100...120 дБ.

**Входное напряжение смещения** – это напряжение, обусловленное неидентичностью напряжений эмиттерных переходов транзисторов входного дифференциального усилителя. Наличие этого напряжения приводит к нарушению условия

$$U_{вх} = 0 \rightarrow U_{вых} = 0$$

Численно определяется как напряжение, которое необходимо приложить ко входу усилителя, чтобы его выходное напряжение было равно нулю. Иногда это напряжение называют напряжением сдвига нуля (УСМ). Типовое значение этого напряжения единицы – десятки милливольт.

**Входной ток  $I_{вх}$**  (входной ток смещения) – ток, протекающий во входных выводах ОУ и необходимый для обеспечения требуемого режима работы его транзисторов по постоянному току. Типовое значение этого тока единицы микроампер — сотни наноампер.

**Разность входных токов  $\Delta I_{вх}$**  (ток сдвига). Природа этого тока кроется, в основном, в неодинаковости коэффициентов передачи тока  $h_{21Э}$  транзисторов входного каскада ОУ. Численно он равен

$$\Delta I = |I_{\hat{A}01} - I_{\hat{A}02}|$$

модулю разности входных токов усилителя

Типовое значение параметра – от единиц микроампер до единиц и десятых долей наноампера.

**Входное сопротивление  $R_{вх}$ .** Различают дифференциальное  $R_{вхдиф}$  и сифазное  $R_{вхсиф}$ .

$R_{вхдиф}$  определяется как сопротивление между входами усилителя, а  $R_{вхсиф}$  – как сопротивление между объединенными входными выводами и нулевой шиной.

Повышают входное сопротивление дифференц. усилителя снижением базовых токов покоя транзисторов VT1 и VT2 (см. рис. 7.3) до малых значений (единицы наноампер), но это ухудшает работу дифференц. усилителя из-за уменьшения его динамического диапазона(выраженного в децибелах отношения максимального сигнала к минимальному). Для предотвращения этого в качестве VT1 и VT2 применяют супербета транзисторы, отличающиеся большими коэффициентами усиления по току (единицы тысяч) за счет использования в них предельно тонкой базы. Однако применение таких транзисторов усложняет задачу стабилизации дифференциального усилителя. Поэтому в ряде случаев повышение входного сопротивления ОУ достигается использованием в его входном канале полевых транзисторов. Типовое значение входного сопротивления — сотни килоом.

**Выходное сопротивление  $R_{вых}$**  – это сопротивление усилителя, рассматриваемого как эквивалентный генератор. Типовое значение выходного сопротивления – сотни ом.

**Коэффициент подавления сифазного сигнала  $K_{п.сф}$**  определяет степень подавления (ослабления) сифазной составляющей входного сигнала. Его типовое значение – 50...70 дБ.

**Максимальная скорость изменения выходного напряжения (V)** характеризует частотные свойства усилителя при его работе в

импульсных схемах; измеряется при подаче на вход ОУ напряжения ступенчатой формы. Типовое значение скорости изменения выходного напряжения – единицы вольт/микросекунд. **Частота единичного усиления  $f_{max}$**  – это частота, на которой модуль коэффициента усиления ОУ равен единице. Обычно эта частота не превышает нескольких мегагерц. Кроме перечисленных обычно задаются и предельно допустимые значения основных эксплуатационных параметров:

- максимально допустимое напряжение питания;
- максимально допустимый выходной ток;
- диапазон рабочих температур;
- максимально допустимая рассеиваемая мощность;
- максимально допустимое входное синфазное напряжение;
- макс. допуст. входное дифференц. напряжение и др.

Перечисленные параметры сильно зависят от условий эксплуатации. Эти зависимости обычно задаются графически.

### 3. Ключи на биполярных транзисторах

#### Ключ — устройство для замыкания и размыкания электрической цепи.

Ключи на биполярных транзисторах являются управляемыми. (то есть статические характеристики определяются значением управляющего сигнала  $e_{упр}$ ).

#### Структура

Биполярный транзистор, работающий в режиме насыщения, представляет собой два встречноключенных п-н-перехода (эмиттерный и коллекторный), каждый из которых смещен в прямом направлении.

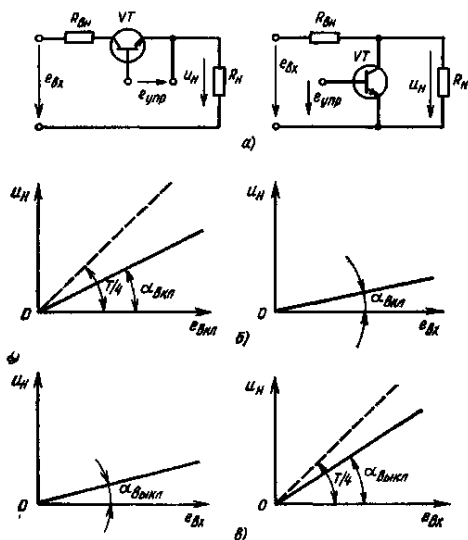


Рис. 10.10. Последовательная и параллельная схемы коммутации на биполярном транзисторе (а) и соответствующие статические характеристики передачи для включенного (б) и выключенного (в) состояний транзистора

1. Включенное состояние ключа, как правило, соответствует работе биполярного транзистора в режиме насыщения. В этом случае транзистор может быть заменен некоторым эквивалентным сопротивлением, которое зависит от его конструкции. В режиме отсечки ток базы мал, и равен току обратного смещенного п-н-перехода база-эмитер.

2. Сопротивление  $R_{нас}$  для включенного транзистора, как правило, меньше аналогичного сопротивления диодного ключа. Что касается выключенного состояния, соответствующего, как правило, режиму отсечки биполярного транзистора, то здесь свойства диодных и транзисторных ЭК примерно одинаковы. Указанные особенности приводят к тому, что ключ на биполярном транзисторе по своим свойствам ближе к идеальному по сравнению с диодным.

Следует также отметить еще одну особенность ключей на биполярных транзисторах. Так как их выходные ВАХ при включении по схеме с общим эмиттером расположены в одном квадранте, то в практических схемах их используют при неизменной полярности коммутируемого напряжения  $e_{вх}$ . Конкретная полярность  $e_{вх}$  определяется типом проводимости используемого биполярного транзистора.

В соответствие со сделанными замечаниями ниже приводятся схемы и статические характеристики передачи транзисторных ключей, выполненных по последовательной и параллельной СК ( $\alpha$  – угол наклона прямой)

При вкл. транзисторном ключе

для последовательной СК

$$\alpha_{вкл} = \arctan(1/(R_{нас} + R_{вн})/R_n)$$

для параллельной СК

$$\alpha_{вкл} = \arctan(1/(R_{вн} (1/R_{нас} + 1/R_n)))$$

При выкл. транзисторном ключе

для последовательной СК

$$\alpha_{выкл} = \arctan(1/(R_{выкл} + R_{вн})/R_n)$$

для параллельной СК

$$\alpha_{выкл} = \arctan(1/(R_{вн} (1/R_{выкл} + 1/R_n)))$$

#### Работа биполярного транзистора в ключевом режиме. (ОСОБЕННОСТИ)

При построении транзисторных ключей наибольшее распространение получила схема включения с общим эмиттером. Для работы в ключевом режиме рабочая точка транзисторного каскада должна находиться либо левее точки Н е (режим насыщения), либо правее точки От (режим отсечки). Превышение базового тока насыщенного транзистора над его граничным значением принято характеризовать коэффициентом насыщения

$$\eta_{нас} = I_{Б нас} / I_{Б гр}$$

Коллекторный ток биполярного транзистора принципиально не может быть меньше значения  $I_{ко}$ . Различают две разновидности выключенного состояния биполярного транзистора: режим глубокой отсечки, режим пассивного запираения.

$$0 < U_{БЭ} < U_{БЭ пор} \quad (10.24)$$

Очевидно, что при пассивном запираении мощность, рассеиваемая в биполярном транзисторе больше, чем в режиме глубокой отсечки.



