

01. Основы схемотехники. Основные сведения

01. Основы схемотехники. Основные сведения.....	1
Законы Кирхгофа	2
Сопротивление конденсаторов и индуктивностей	2
Шунтирование и блокирование в электронных схемах	3
Амплитудно-частотная характеристика.....	5
Электронный узел. Усилитель	6
Активные элементы. Электронные приборы	6
Статические характеристики электронных приборов.....	8
Модели электронных компонентов и схем	10
Простейшая малосигнальная модель транзистора.....	11
Модель транзистора Джоколетто (Джиаколетто).....	11
Модели электронных компонентов и схем.....	14
Модель транзистора.....	14
Модель Джоколетто.....	14
Литература к разделу.....	16

Законы Кирхгофа

Законы Кирхгофа устанавливают **соотношения между токами и напряжениями** в разветвленных электрических цепях произвольного типа. Законы Кирхгофа имеют особое значение в электронике из-за своей универсальности, так как пригодны для решения задач анализа любых электротехнических цепей. Законы Кирхгофа справедливы для линейных и нелинейных цепей, постоянных и переменных напряжений и токов.

||| **Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов**, сходящихся в любом узле, равна нулю.

||| **Второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма падений напряжений** на отдельных участках любого замкнутого контура, выделенного в сложной разветвленной электрической цепи, равна алгебраической сумме напряжений в этом контуре.

Сопrotивление конденсаторов и индуктивностей

Величина **емкостного сопротивления конденсатора** определяется по следующей формуле:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

где

- X_C — емкостное сопротивление конденсатора в ом;
- f — частота переменного тока в гц;
- ω — угловая частота переменного тока;
- C — емкость конденсатора в ф.

Под *чисто индуктивным сопротивлением* мы понимаем сопротивление, оказываемое переменному току катушкой, проводник которой не обладает вовсе омическим сопротивлением.

Подсчет индуктивного сопротивления катушки для переменного тока данной частоты производится по формуле

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

где X_L — индуктивное сопротивление в ом; f — частота переменного тока в гц; L — индуктивность катушки в гн

Как известно, величину $2\pi \cdot f$ называют **круговой частотой** и обозначают буквой ω (омега). Поэтому приведенная выше формула может быть представлена так:

$$X_L = \omega \cdot L$$

Отсюда следует, что для постоянного тока ($\omega = 0$) индуктивное сопротивление равно нулю. Поэтому, когда, нужно пропустить по какой-либо цепи постоянный ток, задержав в то же время переменный, то в цепь включают последовательно катушку индуктивности.

В действительности же всякая катушка обладает некоторым омическим сопротивлением. Но если это сопротивление невелико по сравнению с индуктивным сопротивлением, то им можно пренебречь.

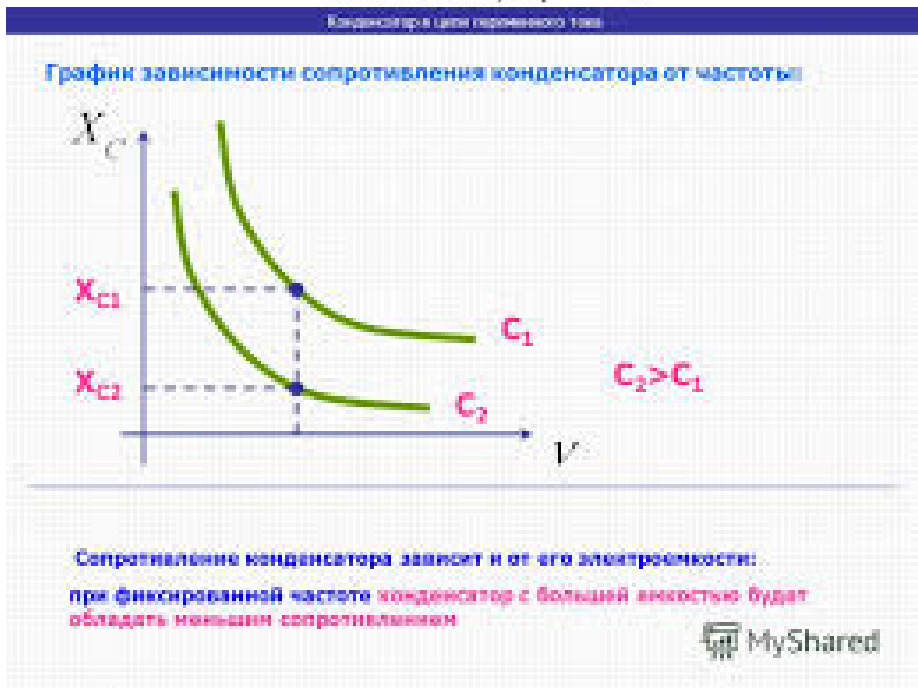
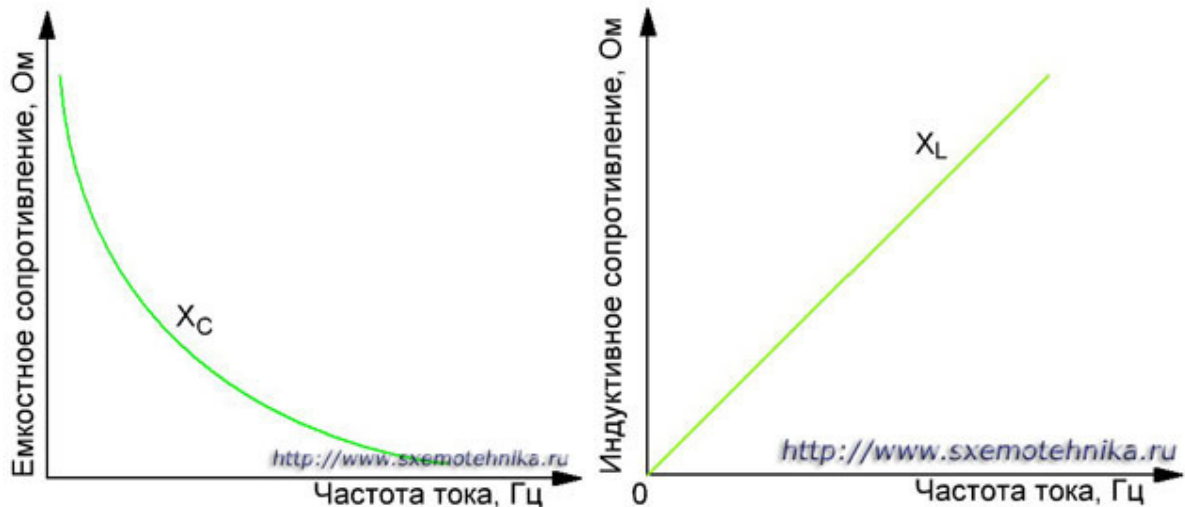


Рисунок 2. Зависимость емкостного сопротивления конденсатора от частоты. Зависимость индуктивного сопротивления катушки от частоты переменного тока. Реактивное сопротивление катушки возрастает с увеличением рабочей частоты

Шунтирование и блокирование в электронных схемах

Шунтирование (Bypassing) - процесс параллельного подключения электрического элемента (например, конденсатора) к другому элементу, для уменьшения общего сопротивления цепи.

=====

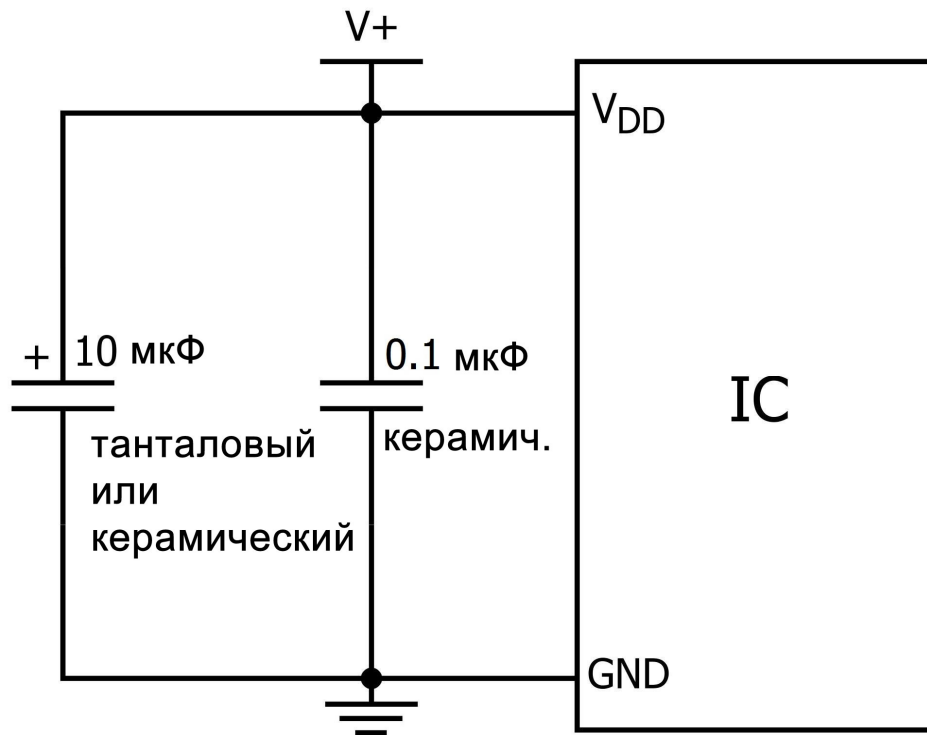
Блокировочный конденсатор (конденсатор развязки):

[<https://radioprogram.ru/post/458>]

Во-первых, короткая заметка о терминологии. Компоненты, обсуждаемые в данной статье, регулярно упоминаются и как «**блокировочные конденсаторы**», и как «**конденсаторы развязки**». Здесь есть тонкое различие:

- «**развязка**» относится к уменьшению степени, в которой одна часть схемы влияет на другую, а
- «**блокирование**» относится к обеспечению низкоимпедансного пути, который позволяет шуму «обходить» микросхему на своем пути к узлу земли.

Оба термина могут быть правильно использоваться, поскольку блокировочный конденсатор / конденсатор развязки выполняет обе задачи. Однако в этой статье предпочтение отдается термину «блокировочный конденсатор», чтобы избежать путаницы с последовательным конденсатором развязки, используемым для блокирования постоянной составляющей сигнала.

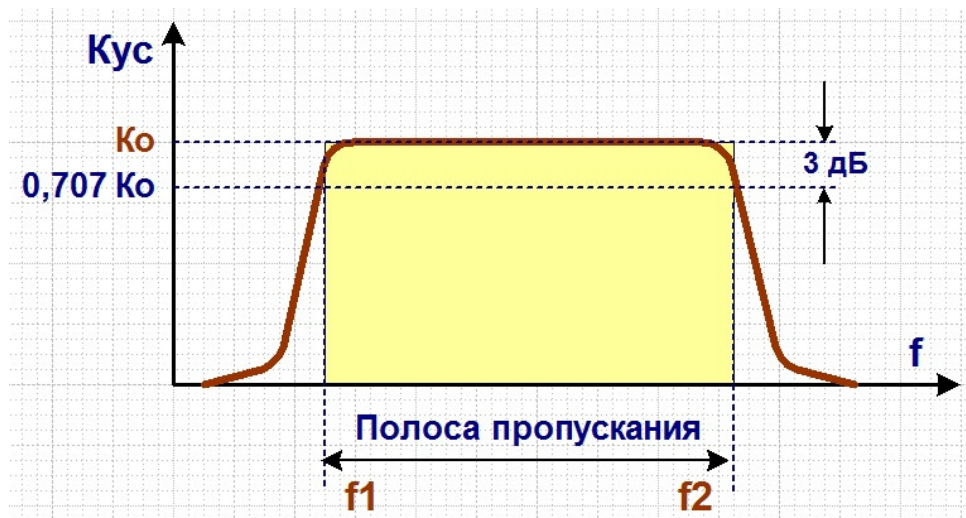


Приведенный выше анализ помогает понять классическую схему блокировки: конденсатор емкостью 10 мкФ находится в двух-пяти сантиметрах от микросхемы, а керамический конденсатор 0,1 мкФ находится как можно ближе к питающему выводу микросхемы. Большой конденсатор сглаживает низкочастотные колебания напряжения питания, а меньший конденсатор более эффективно фильтрует высокочастотный шум и [РЧ сигналы] на линии питания.

Амплитудно-частотная характеристика

Амплитудно-частотная характеристика электронного устройства, часто называемой просто частотной характеристикой - это зависимость модуля коэффициента усиления (коэффициента передачи) от частоты $K(f)$, показывающая неравномерность усиления различных частотных составляющих.

Идеальной характеристикой электронного устройства является прямая, параллельная горизонтальной оси частот. В этом случае устройство имеет постоянный коэффициент передачи во всем рабочем диапазоне частот.



На практике из-за влияния реактивных элементов (конденсаторов и индуктивностей) имеет место спад частотной характеристики в области низких и высоких частот.

По частотной характеристике определяют следующие количественные показатели усилителей:

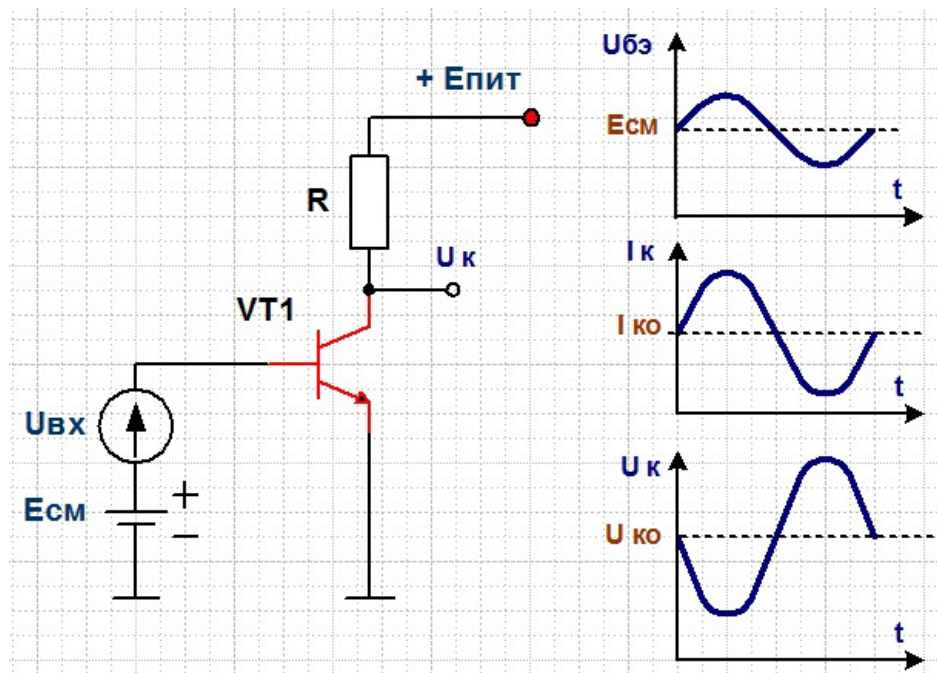
- верхняя f_1 и нижняя f_2 граничные частоты, на которых коэффициент усиления

$$K_g = K_n = 0,707 K_0;$$

- полоса пропускания усилителя или диапазон усиливаемых частот

$$\Pi = f_2 - f_1.$$

Электронный узел. Усилитель



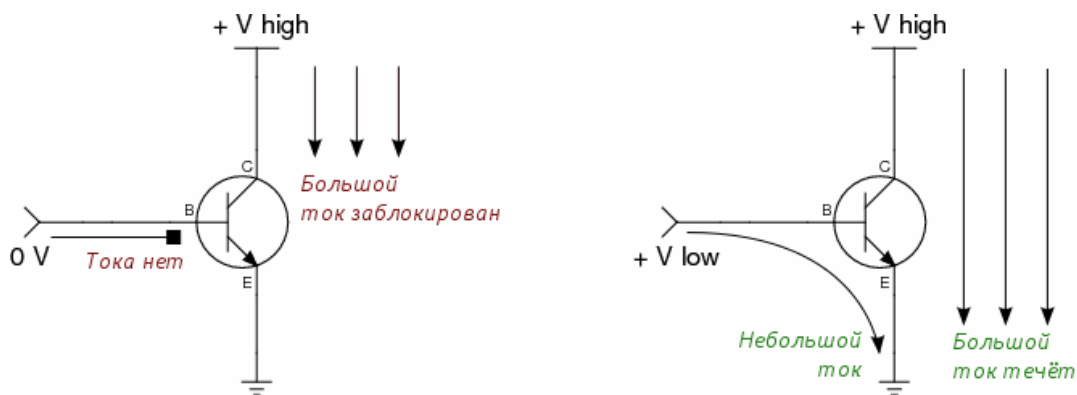
В состав элементарного каскада – усилителя - входят электронный прибор (ЭП) или активный элемент (АЭ), нагрузка, цепи питания и смещения АЭ и цепь возбуждения, по которой на вход АЭ подается рабочий сигнал от возбуждителя.

Активные элементы. Электронные приборы

В качестве АЭ в УМ используются биполярные и полевые транзисторы, электровакуумные лампы.

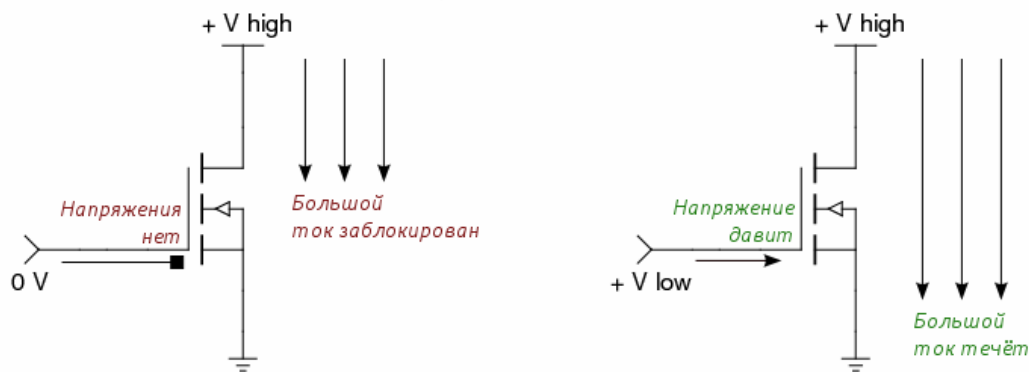
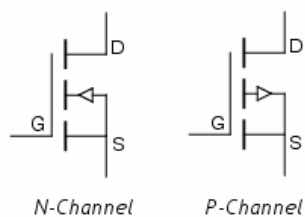
Биполярные транзисторы (Bipolar Junction Transistor. BJT) имеют три контакта:

- Коллектор (collector) — на него подаётся высокое напряжение, которым хочется управлять
- База (base) — через неё подаётся небольшой ток, чтобы разблокировать большой; база заземляется, чтобы заблокировать его
- Эмиттер (emitter) — через него проходит суммарный ток коллектора и базы, когда транзистор «открыт»



Полевые транзисторы (Field Effect Transistor, FET) обладают тремя контактами:

- Сток (drain) — на него подаётся высокое напряжение, которым хочется управлять
- Затвор (gate) — на него подаётся напряжение, чтобы разрешить течение тока; затвор заземляется, чтобы заблокировать ток.
- Исток (source) — через него проходит ток со стока, когда транзистор «открыт»



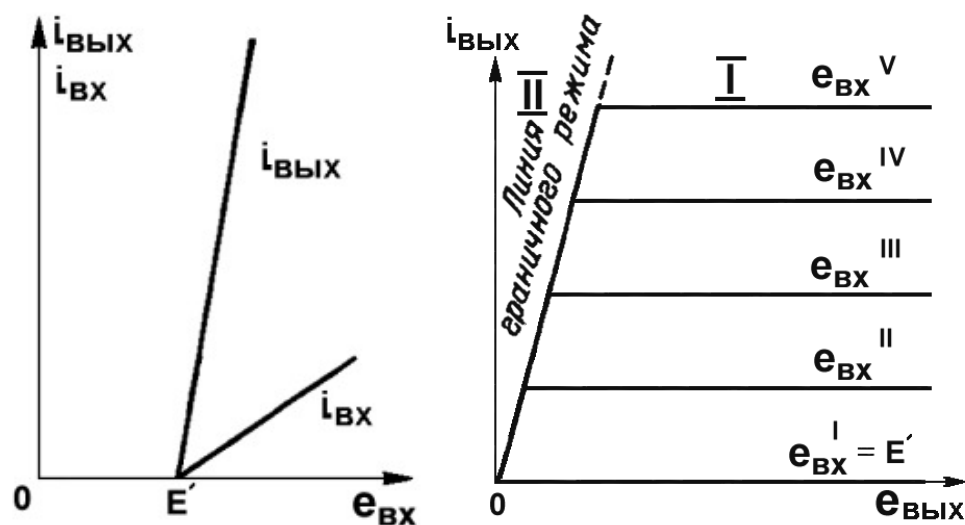
Статические характеристики электронных приборов

Статическая характеристика ЭП - выраженная графически зависимость (функция) тока какого-либо электрода ЭП от напряжения на каком-либо электроде (аргумент) при неизменных напряжениях на других электродах (параметр) (рис. 10.1).

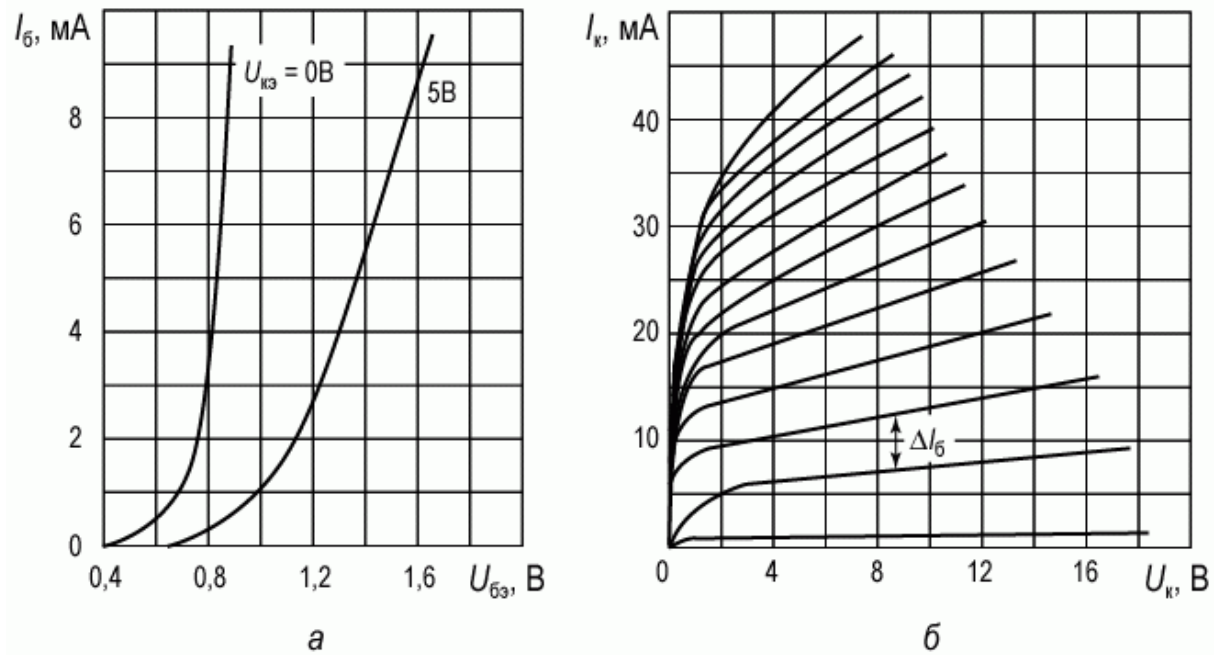
Поскольку параметр может иметь несколько значений, строятся **семейства характеристик**. Семейства характеристик позволяют определять значения тока любого электрода электронного прибора при любых произвольных комбинациях напряжений на его электродах.

Различают:

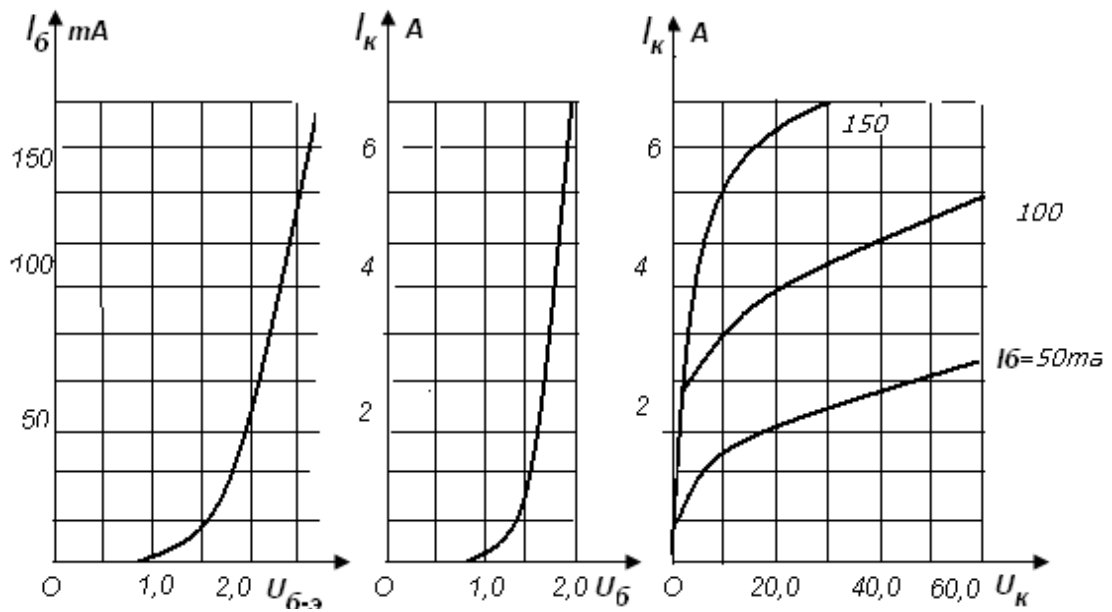
- а) входные характеристики $i_{вх} = f(e_{вх})$; например, у БП – $i_{б} = f_1(e_{бэ})$, при $\text{cons } I$;
- б) проходные характеристики $i_{вых} = f(e_{вх})$; например, у БП – $i_{к} = f_1(e_{бэ})$, при $\text{cons } i$;
- в) выходные характеристики $i_{вых} = f(e_{вых})$, например, у БП – $i_{к} = f_1(e_{к})$; при $e_{бэ} = \text{cons}$.



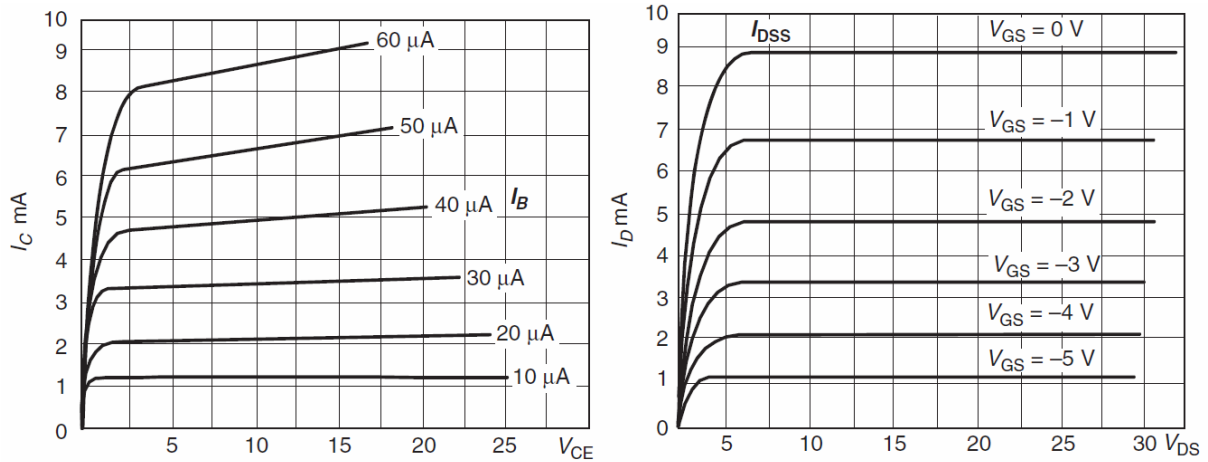
Идеализированные проходные и выходные характеристики транзистора



Вольт-амперные а) входные характеристики; б) выходные характеристики биполярного транзистора КТ215В, включенного по схеме с общим эмиттером



Входная, переходная и выходная статические вольт-амперные характеристики транзистора



Выходные характеристики БТ и ПТ

Модели электронных компонентов и схем

Зачем нужна модель (схема замещения) ЭК и схем:

- Электронная схема при анализе может быть описана **уравнениями Кирхгофа**.
- Для такого описания схема должна быть представлена **набором двухполюсников**.
- Поэтому все многополюсники в схеме должны быть **представлены в виде своих моделей, состоящих только из двухполюсников**.
- Модели состоят только из двухполюсников!

Что такое модель ЭК:

- Модель устройства (схема замещения) с **необходимой полнотой точностью** описывает **основные, значимые свойства** устройства.
- Модель устройства может быть представлена в виде **системы уравнений**, таблицы, графиков, текстового описания.
- Простые модели электронных компонентов чаще всего представляются в виде **электрической схемы**.
- От точности модели зависит достоверность результатов моделирования.

Не применять таблицу тупо!!!

Необходимо учитывать окружающие элементы!!!

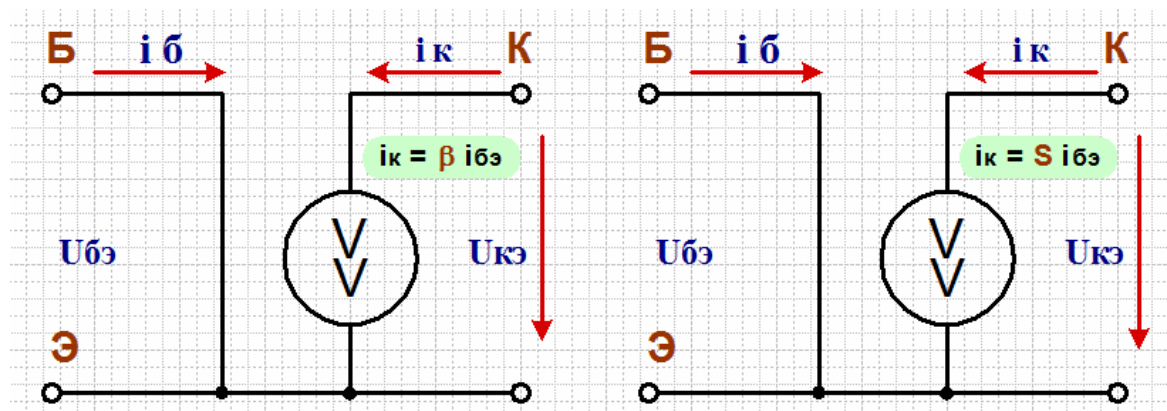
Диапазон	ПТ (DC)	НЧ	СЧ	ВЧ
С большие	разомкнуть	учитывать	закоротить	закоротить
С малые	разомкнуть	пренебрегать	пренебрегать	учитывать
L б	закоротить	закоротить	учитывать	разомкнуть
L м	закоротить	закоротить	учитывать	учитывать

Простейшая малосигнальная модель транзистора

Основные свойства полупроводникового транзистора:

- Усиление;
- Частотные свойства – изменение коэффициента усиления при изменении рабочей частоты.

В линейном режиме транзистор для малых приращений тока базы можно заменить источником тока коллектора, управляемого током базы. Если пренебречь падением напряжения между базой и эмиттером, то можно считать этот переход коротким замыканием. В результате для линейного режима можно использовать простейшую **малосигнальную модель биполярного транзистора**, приведенную на рисунке.



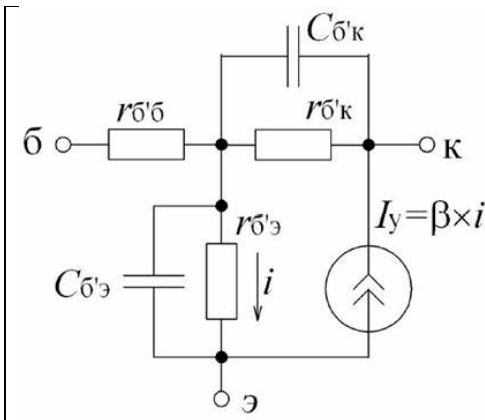
Скорректировать формулу

To analyze the AC transistor operation, we will use the T and Π models. These models are used to replace the transistor in the circuit. The transistor is replaced by the emitter resistor and a current source.

Модель транзистора Джоколетто (Джиаклетто)

Существует очень большое количество различных моделей транзисторов. Одной из наиболее простых и наглядных является модель Джоколетто, один из вариантов которой показан ниже.

Рисунок: <http://www.scriu.com/15/85813568986.php>



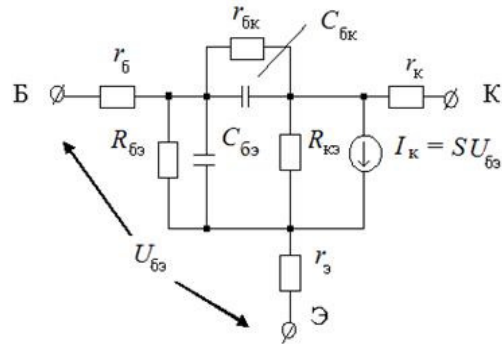
- Гибридная малосигнальная П-образная модель (hybrid-pi model). Модель Джоклетто (Giacoletto model)
- Более сложная модель транзистора, учитывающая частотные свойства.

Как в модели учитываются частотные свойства транзистора:

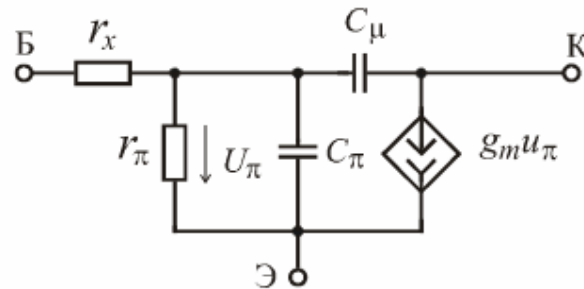
- **Модель транзистора** состоит только из двухполюсников!
- Частотные свойства транзистора **учитываются** введением в модель **шунтирующих емкостей** $C_{б'э}$ и $C_{б'к}$;
- Основа модели – **управляемый ток** источник тока $I_y = I(R_{б'э})$, который зависит (управляется) от тока через резистор $R_{б'э}$;
- Большой по величине ток коллекторной цепи I_y , создаваемый управляемым источником тока, **в β раз больше** управляющего тока через резистор $R_{б'э}$;
- С ростом рабочей частоты **сопротивление емкости** $C_{б'э}$, шунтирующей резистор $R_{б'э}$, **уменьшается**, через него протекает все большая доля входного управляющего тока базы;
- При этом доля этого **тока, протекающего через резистор $R_{б'э}$, и управляющего током I_y коллекторной цепи**, уменьшается;
- В результате этих процессов **уменьшается усиление каскада**, в котором использован данный транзистор.

http://ikit.edu.sfu-kras.ru/files/kb/electrical_and_circuitry/lectures/Electronics_5.pdf

Резистор $r_{б'б}$ учитывает сопротивление базового слоя. Величина этого сопротивления зависит от типа транзистора и положения рабочей точки и может изменяться от единиц до нескольких десятков ом. Конденсатор $C_{б'к}$ учитывает емкость смещенного в обратном направлении коллекторного перехода. Конденсатор $C_{б'э}$ учитывает емкость, связанную с накоплением неосновных носителей в базе, и емкость, обусловленную пространственным зарядом в области эмиттерного перехода. В большинстве случаев $C_{б'э}$ составляет от нескольких пикофарад до нескольких десятков. Емкость $C_{б'к}$ не превышает нескольких пикофарад.

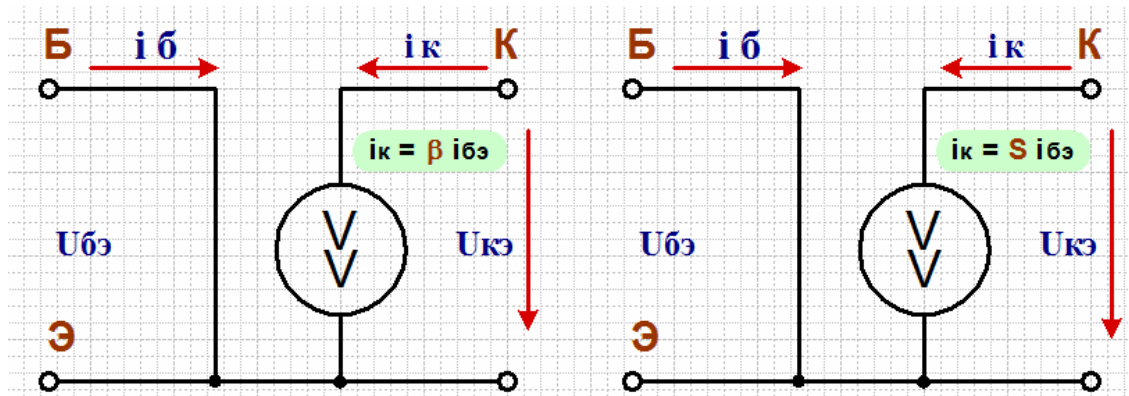


Резистор r_x учитывает сопротивление базового слоя. Величина этого сопротивления зависит от типа транзистора и положения рабочей точки и может изменяться от единиц до нескольких десятков ом. Конденсатор C_x учитывает емкость смещенного в обратном направлении коллекторного перехода. Конденсатор C_π учитывает емкость, связанную с накоплением неосновных носителей в базе, и емкость, обусловленную пространственным зарядом в области эмиттерного перехода. В большинстве случаев C_π составляет от нескольких пикофарад до нескольких десятков. Емкость C_x не превышает нескольких пикофарад.



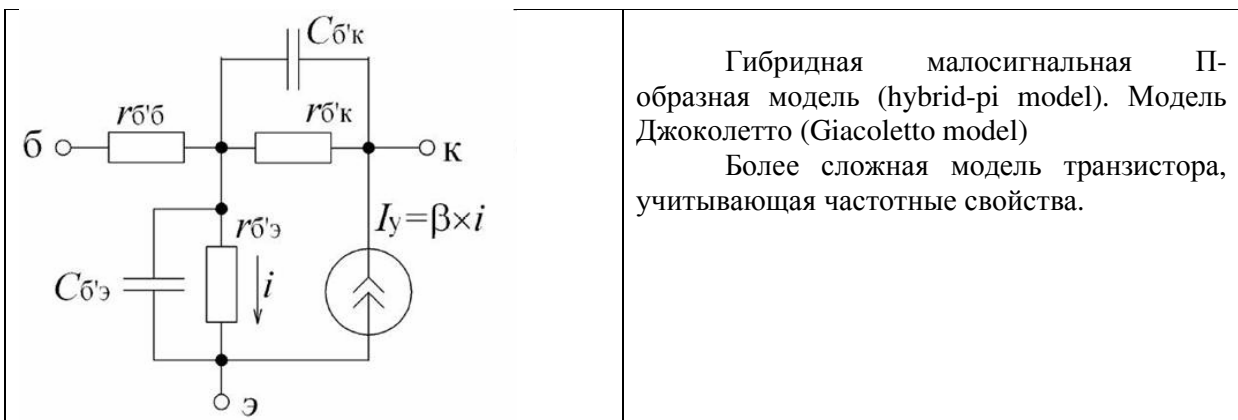
Модели электронных компонентов и схем

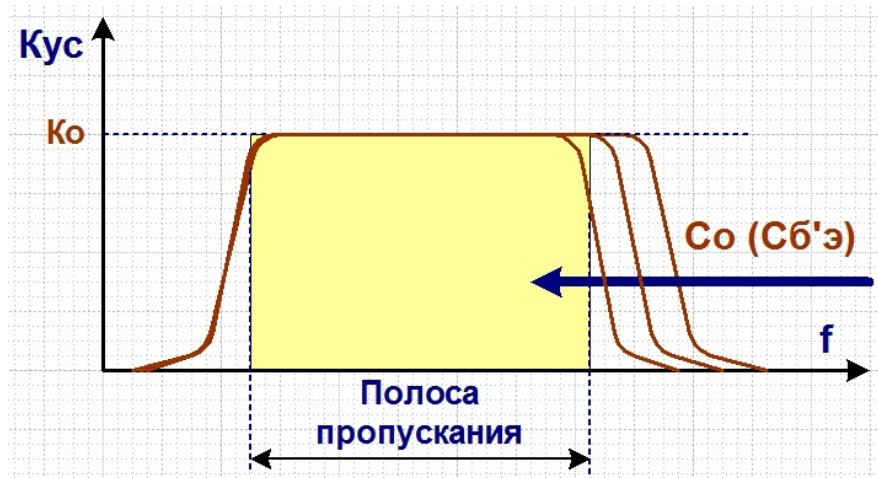
Модель транзистора



В линейном режиме транзистор для малых приращений тока базы можно заменить источником тока коллектора, управляемого током базы. Если пренебречь падением напряжения между базой и эмиттером, то можно считать этот переход коротким замыканием. В результате для линейного режима можно использовать простейшую **малосигнальную модель транзистора**, приведенную на рисунке.

Модель Джоколетто





Литература к разделу

Учебные материалы ОКСО 210000. Электронная техника, радиотехника и связь. Лекции для преподавателей и студентов. Основы схемотехники. (Качественные рисунки, много материалов).

URL: <https://siblec.ru/radiotekhnika-i-elektronika/osnovy-skhemotekhniki>