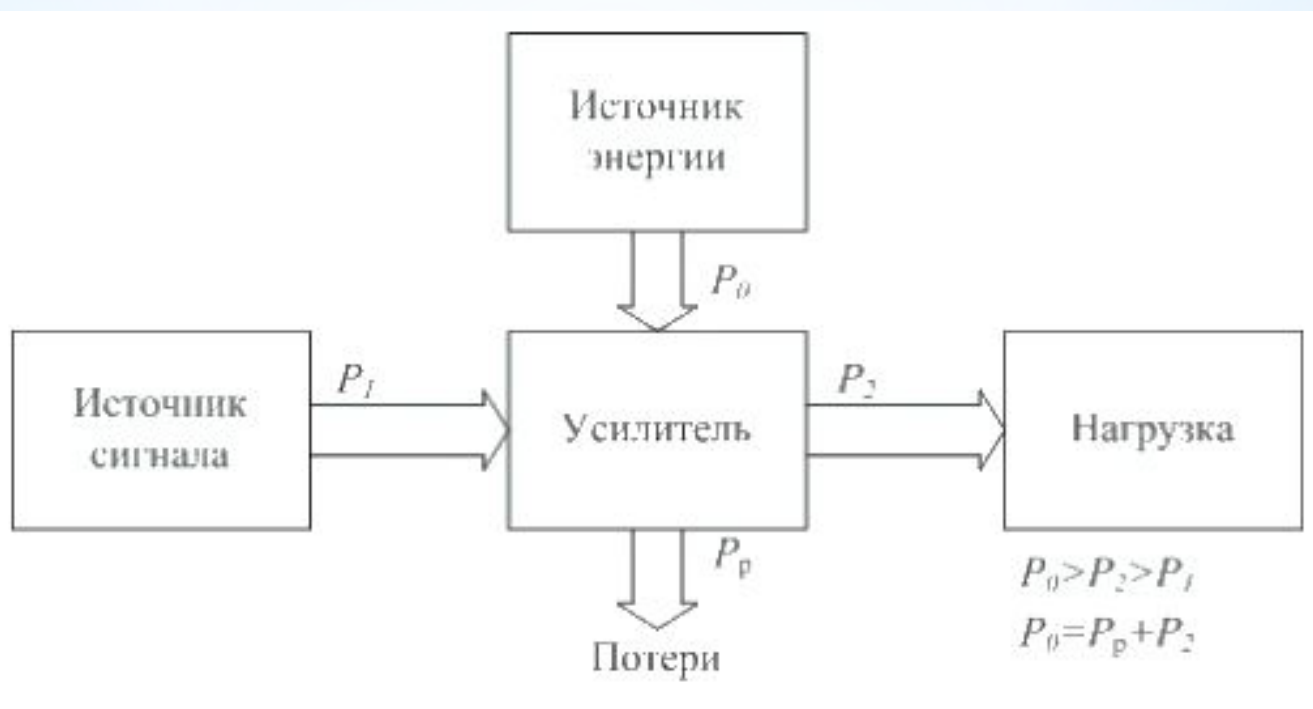


* Структура усилителя

План:

1. Основные понятия и определения.
2. Классификация усилителей электрических сигналов.
3. Каскады усиления
4. Схемы усилителя, включённые по общему эмиттеру.

Усилители электрических сигналов – это электронные устройства, предназначенные для усиления напряжения, тока и мощности входных сигналов за счёт энергии источника питания. На рис.2.1. показана передача сигнала с помощью усилителя в нагрузку, при этом мощность в нагрузке P_2 больше мощности входного сигнала P_1 и изменяется во времени по закону сходному с законом изменения P_1 . Заметим, что любое преобразование энергии сопровождается потерями, которые приводят к нагреву элементов усилителя и учитываются в виде мощности рассеяния P_p .



Увеличение мощности, выделяемой в сопротивлении нагрузки, по сравнению с мощностью источника входного сигнала, достигается за счет энергии источника постоянного напряжения, называемого источником питания (при этом соблюдается закон сохранения энергии). Маломощный входной сигнал лишь управляет передачей энергии источника питания в нагрузку. Под воздействием входного сигнала на выходе усилительного элемента возникают более мощные колебания, которые и передаются в нагрузку. Усилители, используемые в современных устройствах, отличаются параметрами, назначением, характером усиливаемых сигналов и т.д. По характеру усиливаемого сигнала усилители можно разделить на две группы: усилители гармонических сигналов и усилители импульсных сигналов:

Усилители гармонических сигналов (гармонические усилители) предназначены для усиления непрерывных во времени сигналов. При изменении любого параметра сигнала в усилителе возникает переходный процесс: колебание на выходе усилителя достигает установившегося значения через определенное время. Параметры усиливаемого сигнала в гармонических усилителях изменяются значительно медленнее переходных процессов;

Усилители импульсных сигналов (импульсные усилители) предназначены для сигналов, уровень которых меняется настолько быстро, что переходный процесс является определяющим для усиленного сигнала. ***По ширине полосы и абсолютным значениям усиливаемых частот можно выделить следующие группы усилителей:***

- усилители постоянного тока (УПТ), усиливающие как переменную, так и постоянную составляющие сигнала, т.е. низшая пропускаемая частота $f_H = 0$;
- усилители переменного тока, усиливающие только переменную составляющую сигнала. В свою очередь, усилители переменного тока в зависимости от значений частот f_H и f_B делятся на следующие группы:
 - усилители звуковых частот (УЗЧ) или усилители низких частот (УНЧ), частотный спектр которых лежит в пределах от 20 Гц до 20 кГц;
 - усилители высокой частоты (УВЧ), имеющих полосу пропускания от десятков килоггерц до сотен мегагерц;
 - избирательные (или селективные) усилители, усиливающие сигналы в очень узкой полосе частот. Для них характерна небольшая величина отношения верхней частоты к нижней (обычно $f_B / f_H \approx 1$). Эти усилители могут использоваться как на низких, так и на высоких частотах. Часто их называют резонансными или полосовыми;

– усилители видеочастот, работающие в полосе частот от 50 Гц до 6 МГц. Усилители с $f_v > 100$ кГц называют широкополосными.

По типу усилительного элемента различают: транзисторные, ламповые, параметрические, квантовые и магнитные усилители.

По конструктивному выполнению усилители можно подразделить на две большие группы: усилители, выполненные с помощью дискретной технологии и усилители, выполненные с помощью интегральной микросхемотехники. А также можно подразделять усилители ***по электрическому параметру*** усиливаемого сигнала. По этому признаку усилители подразделяют на усилители напряжения, тока или мощности (такое разделение условно, так как в любом случае усиливается мощность).

Каскад усиления – ступень усилителя, содержащая один или несколько усилительных элементов, цепи нагрузки и связи с предыдущими или последующими ступенями. В качестве усилительных элементов обычно используются электронные лампы или транзисторы (биполярные, полевые), иногда, в некоторых особых случаях, могут применяться и двухполюсники, например, туннельные диоды (используется свойство отрицательного сопротивления) и др.

Полупроводниковые усилительные элементы (а иногда и вакуумные) могут быть не только дискретными (отдельными) но и интегральными (в составе микросхем), часто в одной микросхеме реализуется полностью законченный усилитель. В зависимости от способа включения усилительного элемента различаются каскады с общей базой, общим эмиттером, общим коллектором (эмиттерный повторитель) (у биполярного транзистора), с общим затвором, общим истоком, общим стоком (истоковый повторитель) (у полевого транзистора) и с общей сеткой, общим катодом, общим анодом (у ламп) **Каскад с общим эмиттером** (исток, катод) – наиболее распространённый способ включения, позволяет усиливать сигнал по току и напряжению одновременно, сдвигает фазу на 180° , то есть является инвертирующим. **Каскад с общей базой** (затвор, сетка) – усиливает только по напряжению, применяется редко, является наиболее высокочастотным, фазу не сдвигает. **Каскад с общим коллектором** (сток, анод) – называется также повторителем (эмиттерным, истоковым, катодным), усиливает ток, оставляя напряжение сигнала равным исходному. Применяется в качестве буферного усилителя. Важными свойствами повторителя являются его высокое входное и низкое выходное сопротивления, фазу не сдвигает.

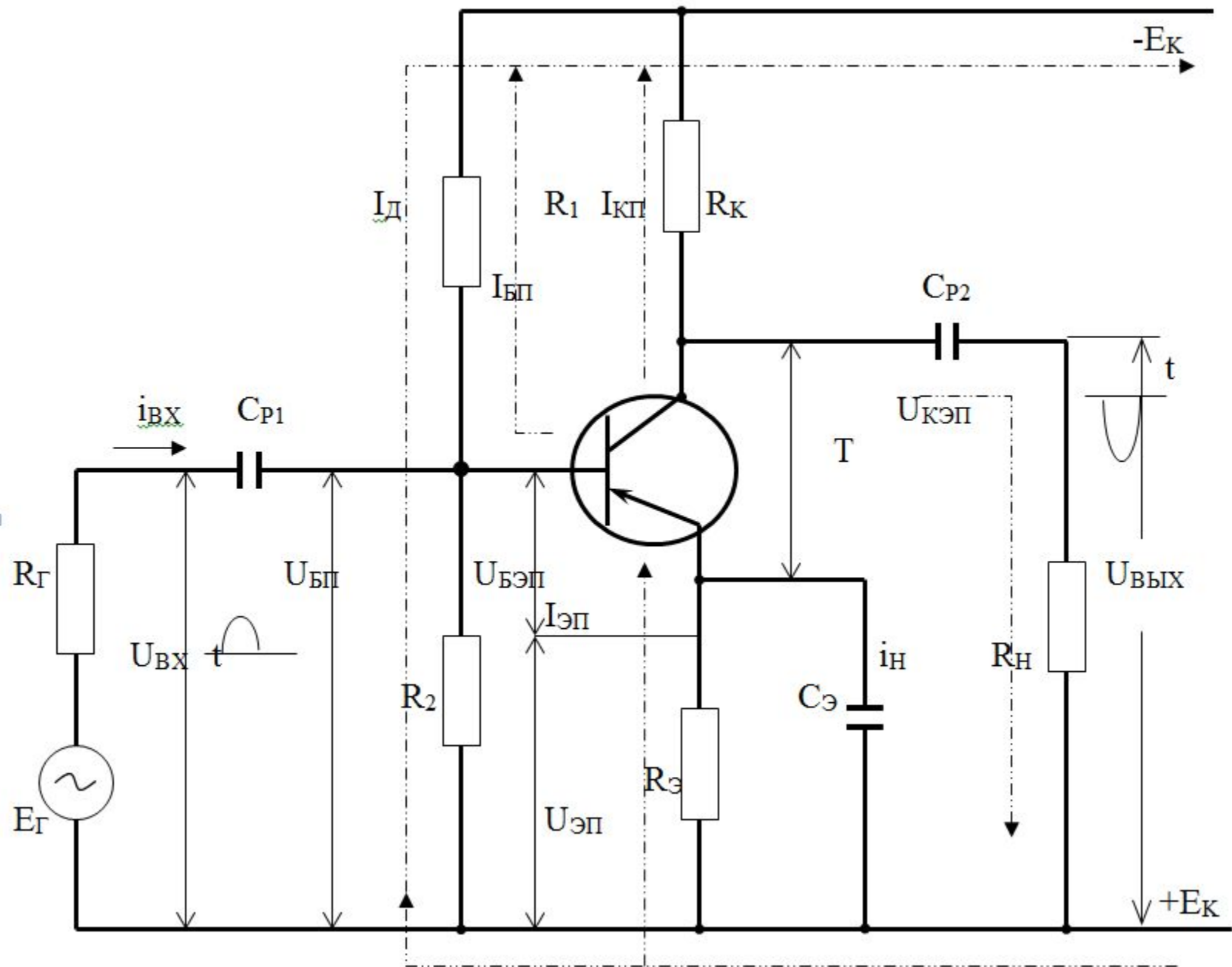
Каскад с распределенной нагрузкой – каскад, занимающий промежуточное положение между схемой включения с общим эмиттером и общим коллектором. Как вариант каскада с распределенной нагрузкой, выходной каскад усилителя мощности "двухподвес". Важными свойствами являются задаваемый элементами схемы фиксированный коэффициент усиления по напряжению и низкие нелинейные искажения. Выходной сигнал дифференциальный. **Каскадный усилитель** – усилитель, содержащий два активных элемента, первый из которых включен по схеме с общим эмиттером (исток, катодом), а второй -- по схеме с общей базой (затвором, сеткой). Каскадный усилитель обладает повышенной стабильностью работы и малой входной ёмкостью. Название усилителя произошло от словосочетания "КАСКад через катОД" (англ. CASCade to cathODE)[1]

Каскады усиления могут быть одноктактными и двухтактными.

Одноктактный усилитель – усилитель, в котором входной сигнал поступает во входную цепь одного усилительного элемента или одной группы элементов, соединённых параллельно.

Двухтактный усилитель – усилитель, в котором входной сигнал поступает одновременно во входные цепи двух усилительных элементов или двух групп усилительных элементов, соединённых параллельно, со сдвигом по фазе на 180° .

Схема усилительного каскада приведена на рис.2.1. Основными элементами схемы являются источник питания E_k , управляемый элемент-транзистор T и резистор R_k . Эти элементы образуют главную цепь усилительного каскада, в которой за счёт протекания управляемого по цепи базы коллекторного тока создаётся усиленное переменное напряжение на выходе схемы. Остальные элементы каскада выполняют вспомогательную роль. Конденсаторы C_{p1}, C_{p2} являются разделительными. Конденсаторы C_{p1} исключает шунтирование входной цепи каскада цепью источника входного сигнала по постоянному току, что позволяет, во-первых, исключить протекание постоянного тока через источник входного сигнала по цепи $E_k-R_1-R_r$ и, во-вторых, обеспечить независимость от внутреннего сопротивления этого источника R_r напряжения на базе Убп в режиме покоя. Функция конденсатора C_{p2} сводится к пропусканию в цепь нагрузки переменной составляющей напряжения и задержанию постоянной составляющей. Резисторы R_1, R_2 используют для задания режима покоя каскада. Поскольку биполярный транзистор управляется током, ток покоя управляемого элемента (в заданном случае ток I_{kp}) создаётся заданием соответствующей величины тока базы покоя I_{bp} . Резистор R_1 предназначен для создания цепи протекания тока I_{bp} совместно с R_2 резистор R_1 обеспечивает исходное напряжение на базе Убп относительно зажима ”+” источника питания.



Резистор $R_э$ является элементом отрицательной обратной связи, предназначенным для стабилизации режима покоя каскада при изменении температуры конденсатор $C_э$ шунтирует резистор $R_э$ по переменному току, исключая, тем самым проявление отрицательной обратной связи в каскаде по переменным составляющим. Конденсатора $C_э$ привело бы к уменьшению коэффициентов усиления схемы. В схеме включения транзистора с общим эмиттером усилитель обеспечивает усиление по напряжению, по току, по мощности. Такой усилитель имеет средние значения входного и выходного сопротивления по сравнению со схемами включения с общей базой и общим коллектором. Конденсатор $C_{р1}$ служит для включения источника переменной входной ЭДС $E_{вх}$, с внутренним сопротивлением $R_{вх}$ в цепь базы. Конденсатор связи $C_{р2}$ служит для выделения на нагрузке R_n переменной составляющей коллекторного напряжения. Название схемы “с общим эмиттером” означает, что вывод эмиттера транзистора по переменному току является общим для входной и выходной цепи каскада.

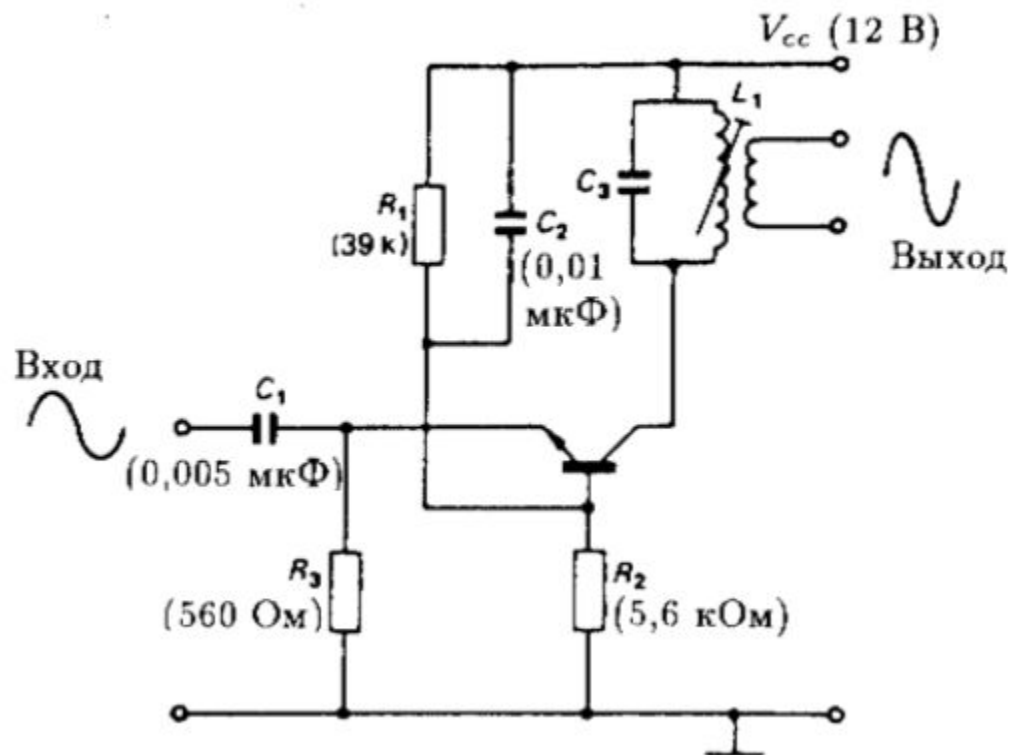
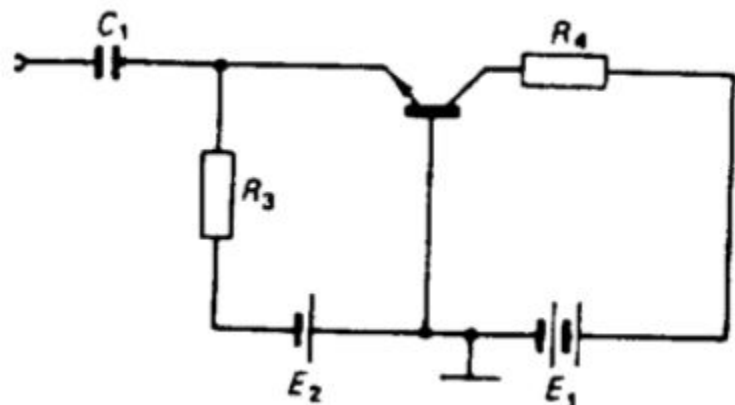
Усилительный каскад с общей базой (аббревиатура — ОБ) — одна из трёх типовых схем построения электронных усилителей с применением биполярного транзистора. Характеризуется отсутствием усиления по току (коэффициент передачи близок к единице, но немного меньше единицы), высоким коэффициентом усиления по напряжению и умеренным (по сравнению со схемой с общим эмиттером) коэффициентом усиления по мощности. В этой схеме входной переменный усиливаемый сигнал подаётся на эмиттер, а выходной снимается с коллектора. Входное сопротивление каскада очень мало, а выходное — велико. Фазы входного и выходного сигналов при усилении периодического, например, гармонического сигнала совпадают при рабочих частотах ниже предельной частоты усиления по мощности. При работе вблизи предельной частоты фаза тока коллектора начинает отставать от фазы тока эмиттера, так как на прохождение неосновных носителей через базовый слой требуется конечное время. Полезным свойством схемы с общей базой является минимальная среди трёх типовых схем усилителей паразитная отрицательная обратная связь с коллектора на базу, обусловленная эффектом Миллера, снижающая коэффициент усиления на высоких частотах, так как база транзистора по переменному току «закорочена» на «землю». Поэтому схема с общей базой наиболее высокочастотная среди двух других и часто используется для построения высокочастотных усилителей и генераторов, в том числе в диапазоне СВЧ.

Существенно, что термин «общая база» имеет в виду присоединение базы к «земле» именно для сигнала переменного тока. Фактически, в реальных схемах, база редко присоединяется непосредственно к «земле» электрически, а «закорачивание» её на «землю» осуществляется через блокировочный конденсатор достаточной ёмкости обеспечивающей его пренебрежимо малое реактивное сопротивление в диапазоне усиливаемых частот. Электрические параметры: Коэффициент усиления по току: $I_{\text{вых}} / I_{\text{вх}} = I_{\text{к}} / I_{\text{э}} = \alpha, (\alpha \approx 1)$

Входное дифференциальное сопротивление (сопротивление для малого сигнала): $r_{\text{вх}} = dU_{\text{вх}} / dI_{\text{вх}} = dU_{\text{эб}} / dI_{\text{э}}$

Входное дифференциальное сопротивление для схемы с общей базой существенно зависит от тока эмиттера и относительно мало. Для маломощных транзисторов при малых токах базы не превышает сотни—единицы кОм, для мощных – единицы—десятки Ом, так как входная цепь каскада при этом представляет собой открытый эмиттерный p-n переход транзистора, вольт-амперная характеристика которого близка к таковой у прямосмещённого полупроводникового диода.

• Выходное дифференциальное сопротивление коллектора существенно выше чем у каскада с общим эмиттером, так как изменения напряжения на коллекторе при фиксированном напряжении на эмиттере относительно базы мало изменяют ток коллектора. Фактически, полное выходное дифференциальное сопротивление каскада представляет собой в эквивалентной схеме параллельное соединение коллекторного резистора и дифференциального выходного коллекторного сопротивления транзистора. Так как дифференциальное выходное коллекторное сопротивления транзистора обычно многократно больше сопротивления коллекторного резистора, то обычно оказывается, что выходное дифференциальное сопротивление каскада практически равно сопротивлению коллекторного резистора. При включении в коллектор каскада ОБ колебательного контура при построении частотноизбирательного усилителя выходное коллекторное сопротивление слабо нагружает контур и поэтому меньше снижает его добротность. *Достоинствами* схемы являются стабильные температурные и частотные свойства, то есть параметры схемы (коэффициент усиления напряжения, тока и входное сопротивление) незначительно изменяются при изменении температуры окружающей среды, высокое выходное дифференциальное сопротивление. *Недостатками* схемы являются малое входное дифференциальное сопротивление и отсутствие усиления по току, так как $\alpha < 1$



При уменьшении входного сигнала потенциал эмиттера уменьшается относительно потенциала базы, ток I_c увеличивается и увеличивает падение напряжения на коллекторном резисторе. В результате уменьшается выходное напряжение. Таким образом, усилитель с ОБ не изменяет фазу входного сигнала при его усилении.

На рисунке далее(а) показан усилитель, где транзистор включен по схеме с **общим коллектором**. Здесь С1 и С2 – входной и выходной разделительные конденсаторы, резисторы R1 и R2 образуют цепь смещения по постоянному току. Коллекторный резистор отсутствует, так как выходной сигнал снимается с эмиттера. На рис. (б) представлен обычный способ изображения схемы усилителя с ОК. Выходной сигнал действует на эмиттерном резисторе R3, и поэтому данная схема называется эмиттерным повторителем. Эмиттерный повторитель имеет высокий коэффициент усиления по току и меньший единицы коэффициент усиления по напряжению. Такое значение коэффициента усиления по напряжению связано с действием 100 %-ной отрицательной обратной связи через резистор R3. При увеличении входного сигнала потенциал базы увеличивается относительно потенциала эмиттера, т. е. увеличивается напряжение $U_{бэ}$, и соответственно увеличивается падение напряжения на эмиттерном резисторе, являющегося выходным напряжением. Таким образом, усилитель с ОК не изменяет фазу входного сигнала при его усилении.

