

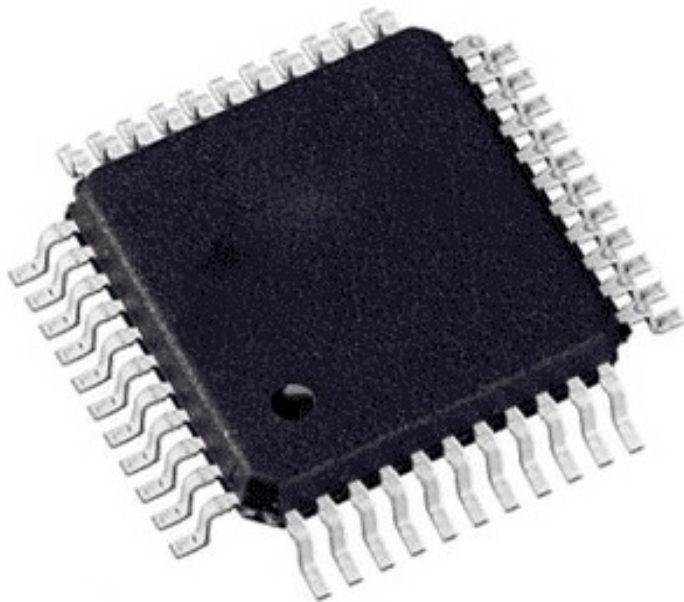
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

При проектировании электронных средств различного назначения используются не дискретные элементы (транзисторы, диоды, резисторы, конденсаторы и т. п.), а законченные функциональные узлы, выполненные в виде интегральных схем (ИС).

Такой подход позволяет значительно повысить статические, динамические, эксплуатационные и надежность показатели аппаратуры, существенно удешевить и сократить сроки ее проектирования, которое фактически сводится к разработке структуры, удовлетворяющей поставленным требованиям, выбору необходимых ИС и согласованию их входных характеристик.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Интегральная микросхема — электронная схема произвольной сложности (кристалл), изготовленная на полупроводниковой подложке (пластине или плёнке) и помещенная в неразборный корпус, или без такового, в случае вхождения в состав микросборки. Большая часть микросхем изготавливается в корпусах для поверхностного монтажа. Часто под *интегральной схемой* (ИС) понимают собственно кристалл или плёнку с электронной схемой, а под *микросхемой* (МС) — ИС, заключённую в корпус.

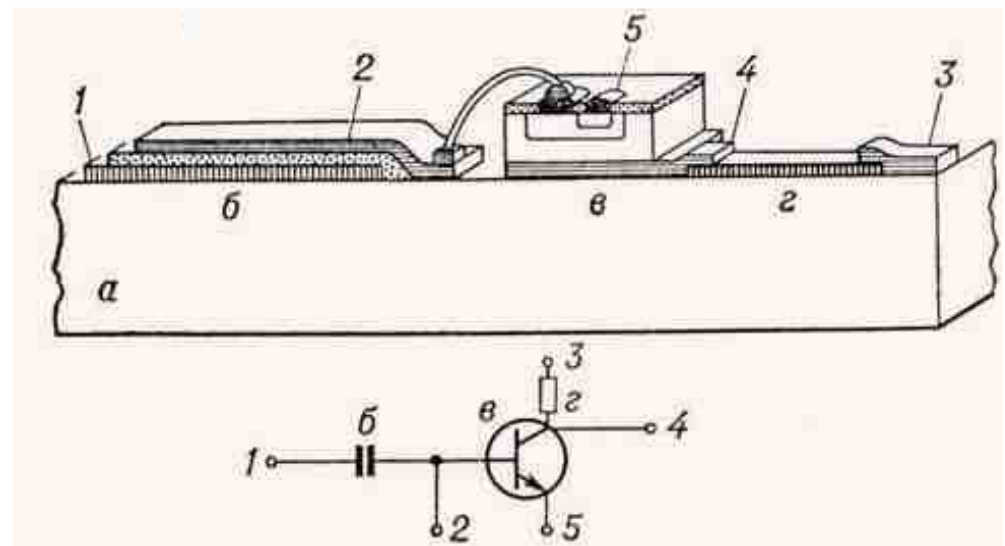
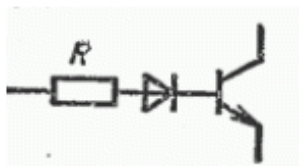
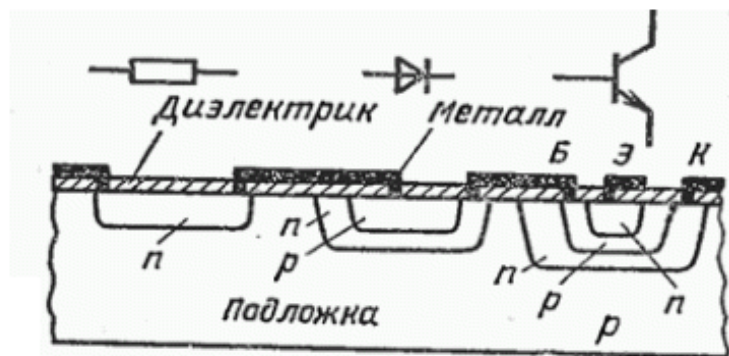


ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИМС

Интегральная микросхема (ИМС) представляет собой микросхему, все или часть элементов которой нераздельно связаны и электрически соединены между собой так, что устройство рассматривается как единое целое.

ИМС или сборку можно получить либо в пластине твердого полупроводникового материала, либо на его поверхности. В первом случае в полупроводниковом материале создают слои резисторов, структуры транзисторов, диодов и конденсаторов, несущие заданные электронные функции. Такие ИМС называются **полупроводниковыми (или монолитными)**.

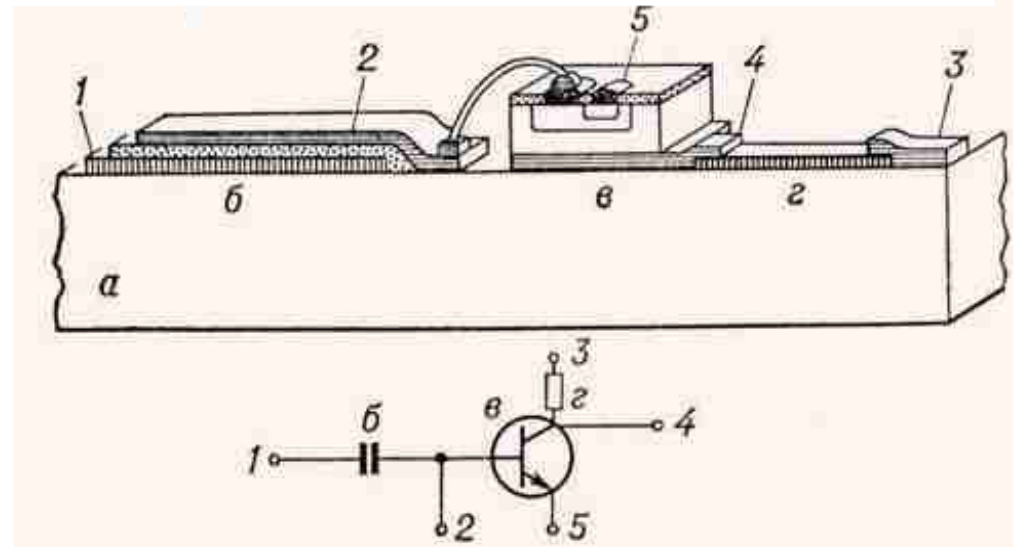
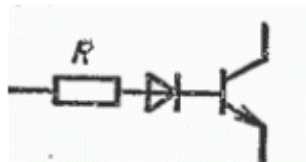
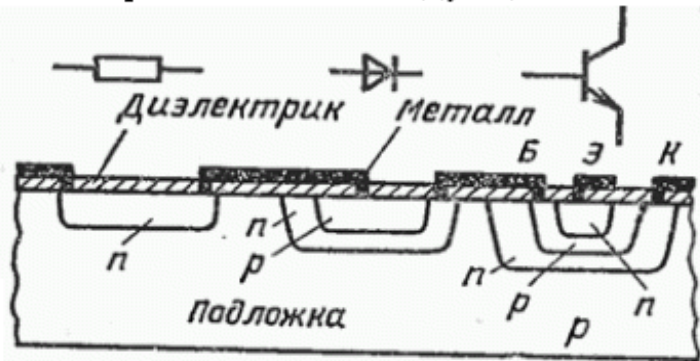
Во втором случае все элементы ИМС (кроме активных) наносят на диэлектрическую пластину (подложку) в виде полукристаллических или аморфных слоев (пленок), выполняющих заданные функции пассивных элементов. Полученную ИМС при необходимости помещают в корпус с внешними выводами. Активные элементы (диоды и транзисторы) «навешивают» на пленочную схему, в результате чего получают смешанную (пленочно-дискретную) ИМС, которую называют **гибридной**.



ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИМС

Гибридная ИМС (ГИС) — это гибкий, дешевый, оперативно проектируемый тип ИС, хорошо приспособленный к решению специальных частных задач. Спецификой ГИС могут быть либо высокие номиналы резисторов и конденсаторов, недостижимые в полупроводниковых ИМС, либо прецизионность (высокая точность) резисторов, обусловленных тем, что их номиналы можно подгонять до завершения технологического цикла и помещения ГИС в корпус, либо повышенная функциональная сложность.

Однако наиболее распространены на практике и перспективны полупроводниковые ИМС, т. к. они позволяют создавать надежные и достаточно сложные в функциональном отношении электронные устройства малых размеров при незначительной их стоимости. Характерной особенностью полупроводниковой ИМС является отсутствие среди ее элементов катушки индуктивности и трансформатора. Это объясняется тем, что до сих пор не удалось использовать в твердом теле какие-либо физические явления, эквивалентные электромагнитной индукции.



ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Функциональную сложность ИМС принято характеризовать степенью интеграции, т. е. числом элементов (чаще всего транзисторов), входящих в состав ИМС. В зависимости от количества элементов в схеме различают:

1. ИМС первой степени интеграции, содержащие до 10 элементов;
2. ИМС второй степени интеграции, содержащие от 10 до 100 элементов;
3. ИМС третьей степени интеграции, содержащие от 100 до 1000 элементов и т. д.

Интегральные микросхемы, содержащие более 100 элементов принято называть **большими интегральными схемами (БИС)**. Повышение степени интеграции микросхем и связанное с этим уменьшение размеров элементов имеют определенные пределы. Интеграция свыше нескольких десятков тысяч элементов оказывается, экономически нецелесообразной и технологически трудно выполнимой.

ТИПЫ ЛОГИКИ ИМС

Микросхемы на полевых транзисторах — самые экономичные (по потреблению тока):

- МОП-логика (металл-оксид-полупроводник логика) — микросхемы формируются из полевых транзисторов n -МОП или p -МОП типа;
- КМОП-логика (комплементарная МОП-логика) — каждый логический элемент микросхемы состоит из пары взаимодополняющих (комплементарных) полевых транзисторов (n -МОП и p -МОП). Существует также смешанная технология BiCMOS.

Микросхемы на биполярных транзисторах:

- РТЛ-логика — резисторно-транзисторная логика (устаревшая, заменена на ТТЛ);
- ДТЛ-логика — диодно-транзисторная логика (устаревшая, заменена на ТТЛ);
- ТТЛ-логика — транзисторно-транзисторная логика — микросхемы сделаны из биполярных транзисторов с многоэмиттерными транзисторами на входе;
- ТТЛШ-логика — транзисторно-транзисторная логика с диодами Шоттки — усовершенствованная ТТЛ, в которой используются биполярные транзисторы с эффектом Шоттки;
- ЭСЛ-логика — эмиттерно-связанная логика — на биполярных транзисторах, режим работы которых подобран так, чтобы они не входили в режим насыщения,— что существенно повышает быстродействие;
- ИИЛ-логика — интегрально-инжекционная логика.

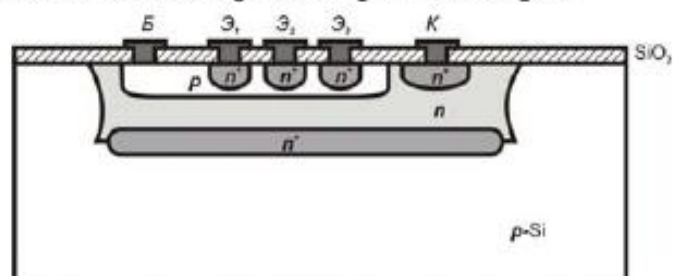
ТИПЫ ЛОГИКИ ИМС

КМОП и ТТЛ (ТТЛШ) технологии являются наиболее распространёнными логиками микросхем. Где необходимо экономить потребление тока, применяют КМОП-технологию, где важнее скорость и не требуется экономия потребляемой мощности применяют ТТЛ-технологию. Слабым местом КМОП-микросхем является уязвимость к статическому электричеству — достаточно коснуться рукой вывода микросхемы, и её целостность уже не гарантируется. С развитием технологий ТТЛ и КМОП микросхемы по параметрам сближаются. Микросхемы, изготовленные по ЭСЛ-технологии, являются самыми быстрыми, но и наиболее энергопотребляющими, и применялись при производстве вычислительной техники в тех случаях, когда важнейшим параметром была скорость вычисления. Сейчас эта технология используется редко.

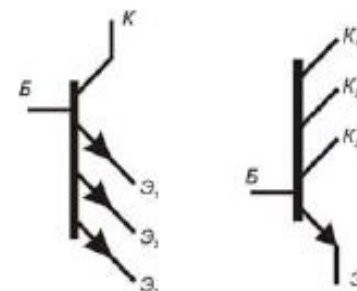
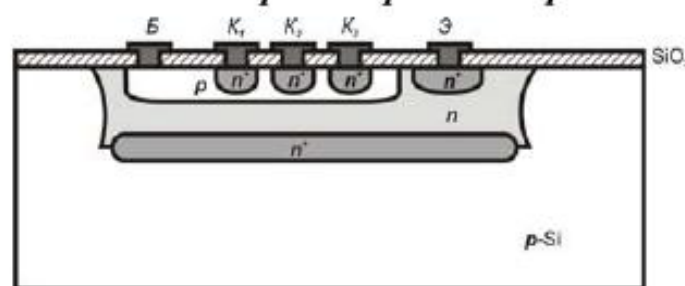
Усилительные устройства

При построении усилительных устройств наибольшее распространение получили каскады на биполярных и полевых транзисторах, использующие соответственно схемы включения транзистора с общим эмиттером и общим истоком. Реже используются схемы включения с общим коллектором и общим стоком. Схемы включения с общей базой или общим затвором находят применение в узком классе устройств, например, во входных цепях радиоприемных устройств в диапазоне УКВ.

Многоэмиттерные транзисторы.



Многоколлекторные транзисторы.



Позволяет повысить степень миниатюризации.

Электронные усилители

Усилитель — это устройство (четырёхполюсник), увеличивающее мощность сигнала.

Усилители используются для компенсации потерь при передаче информационных сигналов на большие расстояния, для обеспечения работы регистрирующих устройств, для создания нормальных условий восприятия информации человеком и т. д.

По усиливаемой электрической величине различают *усилители мощности, напряжения и тока*. Коэффициент передачи усилителя по одному из указанных электрических параметров, как правило, много больше единицы. По другим параметрам коэффициент передачи усилителя может быть меньше единицы. Однако у всех усилителей по определению коэффициент передачи по мощности должен быть больше единицы. Поэтому, например, повышающий трансформатор, у которого коэффициент передачи по напряжению может быть больше единицы, к усилителям не относится.

Электронные усилители

По используемым элементам различают усилители на транзисторах, микросхемах, диодах и т. д. Усилители на транзисторах и микросхемах широко используются в компьютерах.

Усилители классифицируют также по числу каскадов, по назначению, по полосе усиливаемых частот, по характеру усиливаемого сигнала и т. д.

Основными показателями усилителя являются *коэффициенты усиления по напряжению, по току, по мощности*:

$$K_u = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}}; \quad K_i = \frac{\dot{I}_{\text{вых}}}{\dot{I}_{\text{вх}}}; \quad K_p = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}},$$

а также входное $Z_{\text{вх}}$ и выходное $Z_{\text{вых}}$ сопротивления. К дополнительным параметрам усилителя относят: коэффициент полезного действия, потребляемую от источника питания мощность, нелинейные искажения, массу и габариты и т. п.

Электронные усилители

$$\dot{K} = K(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

Зависимость модуля коэффициента усиления от частоты называют *амплитудно-частотной характеристикой* (АЧХ), а зависимость аргумента – *фазочастотной характеристикой* (ФЧХ).

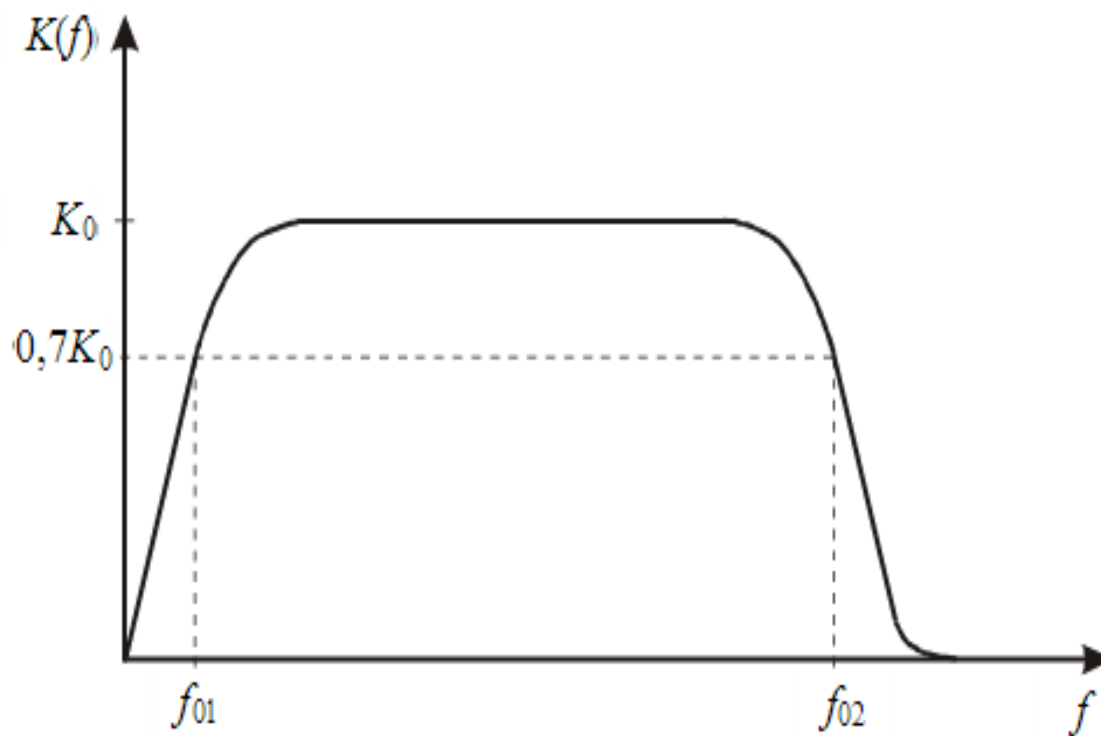


Рис. АЧХ

Электронные усилители

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) – это зависимость модуля коэффициента усиления от частоты гармонического сигнала, $K(\omega)$, рис. По АЧХ можно определить полосу усиливаемых частот. Её принято считать ограниченной частотами, на которых коэффициент усиления усилителя уменьшается в $\sqrt{2}$ раз от своего максимального значения. Если бы в усилителе не было искажений, то АЧХ представляла бы прямую линию, т.е. одинаково усиливались бы сигналы с частотой от 0 до ∞ . Причиной частотных искажений является присутствие в схеме усилителя реактивных элементов.

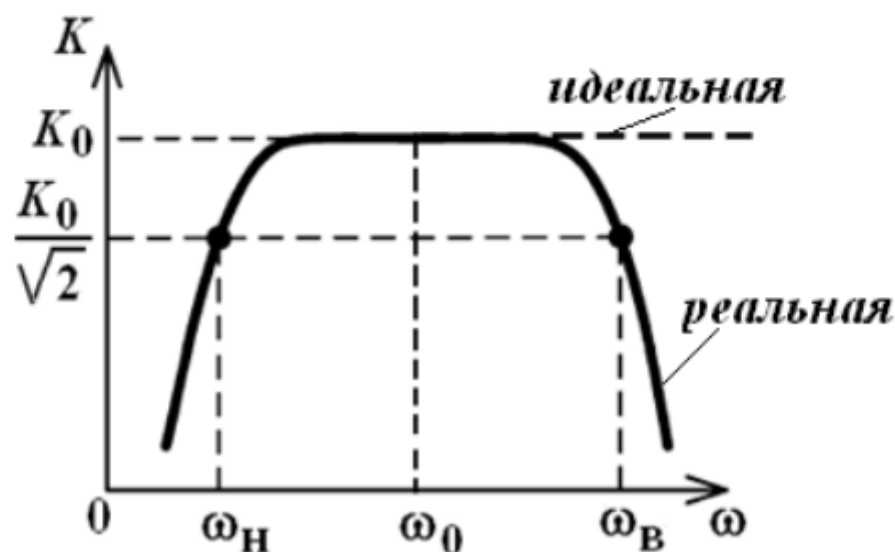


Рис.
АЧХ усилителя

Электронные усилители

Фазочастотная характеристика (ФЧХ) описывает зависимость угла сдвига фаз, вносимого усилителем, от частоты гармонического сигнала, $\varphi(\omega)$.

ФЧХ усилителя без фазовых искажений - это прямая линия, проходящая через начало координат (пунктирная линия на рис. а).

Фазовые искажения возникают из-за непостоянства фазового сдвига для различных гармоничных составляющих.

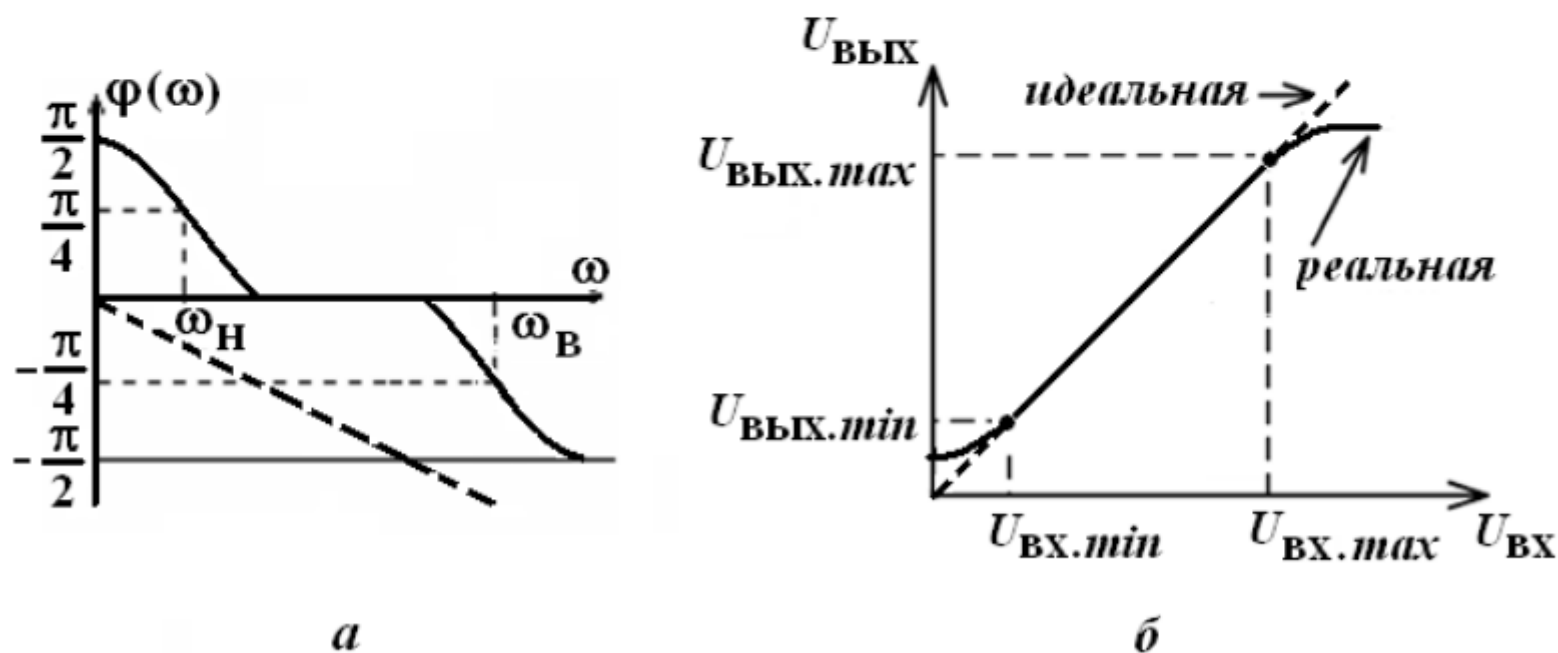


Рис. ФЧХ усилителя (а) и амплитудная характеристика (б)

Электронные усилители

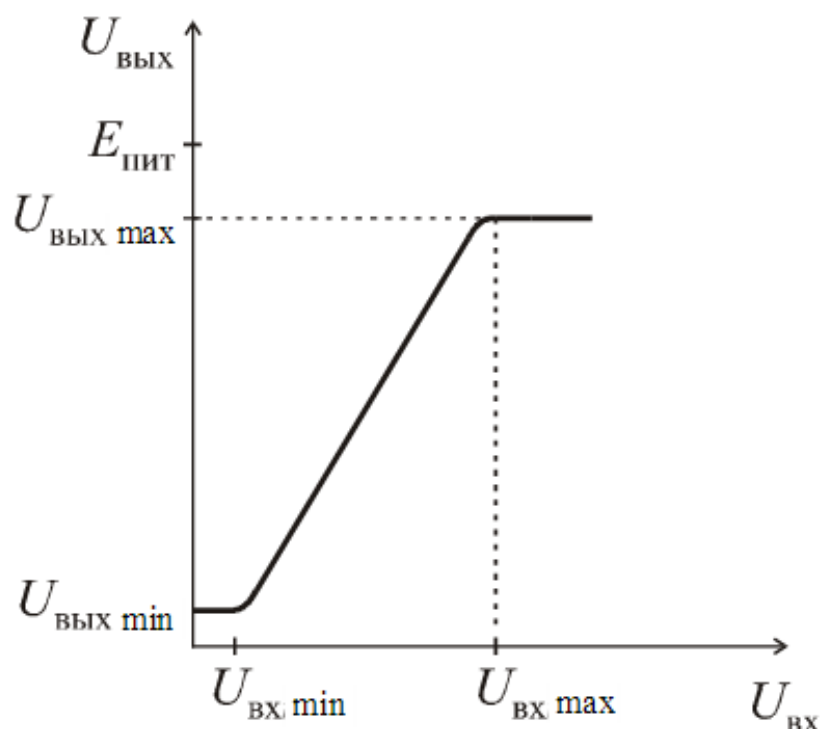


Рис. передаточная (амплитудная) характеристика
— зависимость амплитуды выходного сигнала от амплитуды входного.

Минимальное входное напряжение $U_{\text{ВХ min}}$ ограничено уровнем собственных шумов усилителя, на фоне которых можно выделить полезный сигнал. Отношение максимального входного напряжения к минимальному называют динамическим диапазоном:

$$D = \frac{U_{\text{ВХ max}}}{U_{\text{ВХ min}}}.$$

Электронные усилители

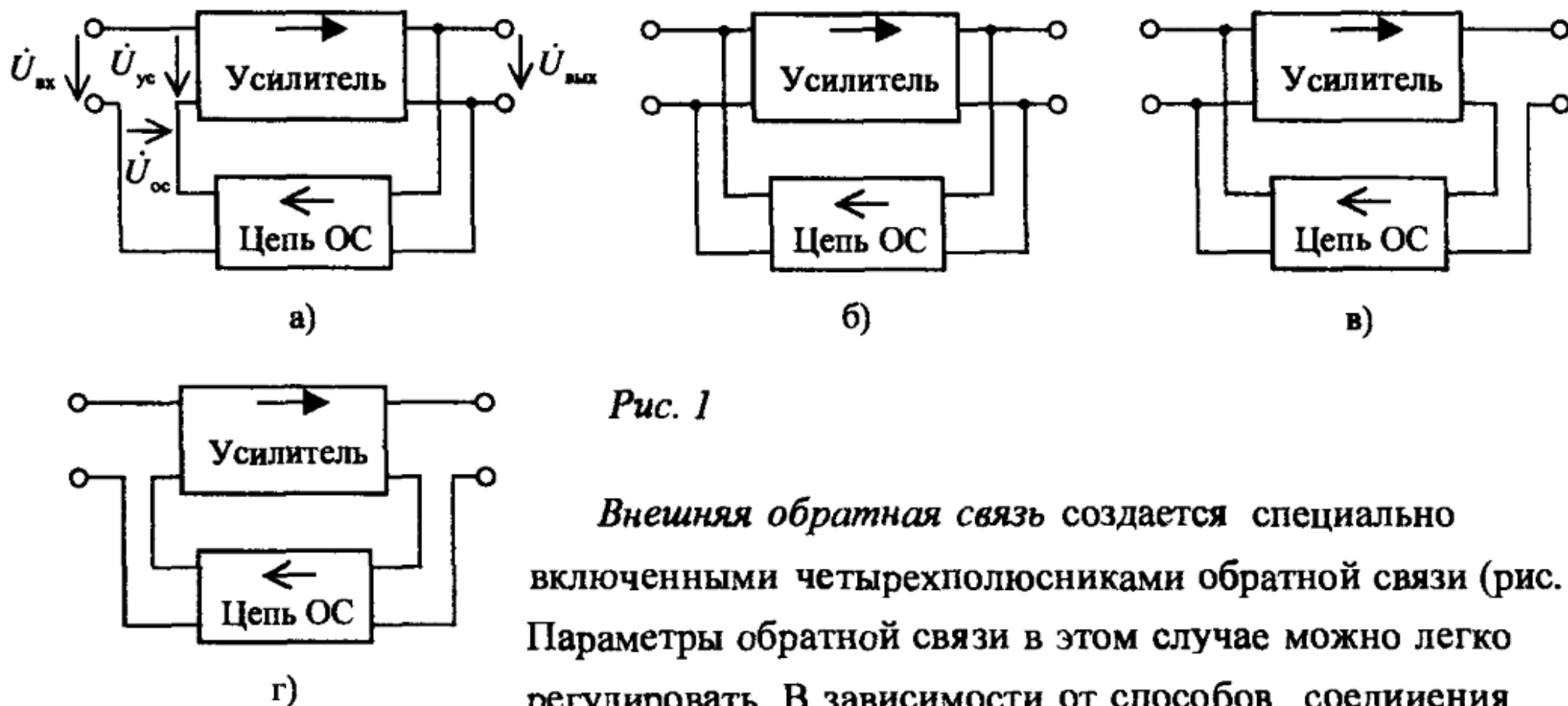


Рис. 1

Внешняя обратная связь создается специально включенными четырехполюсниками обратной связи (рис. 1). Параметры обратной связи в этом случае можно легко регулировать. В зависимости от способов соединения

усилителя и четырехполюсника обратной связи различают четыре вида внешней обратной связи: последовательная ОС по напряжению (рис. 1, а), параллельная ОС по напряжению (рис. 1, б), параллельная ОС по току (рис. 1, в) и последовательная ОС по току (рис. 1, г). Стрелками на рис. 1 показано направление передачи сигналов в четырехполюсниках.

Электронные усилители

На практике наиболее часто применяется последовательная ОС по напряжению. Выходное напряжение усилителя в этом случае поступает на вход цепи ОС, а выходное напряжение четырехполюсника ОС вводится на входе усилителя последовательно с входным сигналом. Выходное напряжение усилителя равно $\dot{U}_{\text{вых}} = \dot{K} \dot{U}_{\text{ус}}$,

где K — коэффициент усиления исходного усилителя.

Выходное напряжение поступает на вход цепи ОС.

В свою очередь выходное напряжение цепи ОС равно

$\dot{U}_{\text{ос}} = \dot{\beta} \dot{U}_{\text{вых}}$, где β — коэффициент передачи четырехполюсника ОС.

Из анализа схемы рис. 1, а следует, что напряжение на входе усилителя равно сумме входного напряжения и напряжения, поступающего от четырехполюсника ОС: $\dot{U}_{\text{ус}} = \dot{U}_{\text{вх}} + \dot{U}_{\text{ос}}$. Следовательно, напряжение на

выходе усилителя можно представить в виде $\dot{U}_{\text{вых}} = \dot{K} (\dot{U}_{\text{вх}} + \dot{\beta} \dot{U}_{\text{вых}})$.

Разделив левую и правую части этого соотношения на амплитуду входного напряжения, после преобразований получим выражение для комплексного коэффициента усиления усилителя с обратной связью

$$\dot{K}_{\text{ос}} = \frac{\dot{K}}{1 - \dot{\beta} \dot{K}}. \quad (1)$$

Электронные усилители

Многокаскадные усилители. Для получения необходимого усиления используют усилители, образованные последовательным соединением нескольких звеньев или каскадов. Обычно число каскадов равно двум-трем. Первый каскад служит для предварительного усиления слабых сигналов, поступающих на вход устройства. Для этого используют усилители напряжения. Выходной каскад служит для передачи в нагрузку сигнала необходимой мощности.

Коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов передачи отдельных каскадов:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3.$$

Если используется логарифмический масштаб, результирующий коэффициент усиления равен сумме логарифмических коэффициентов отдельных каскадов:

$$K(\text{дБ}) = K_1(\text{дБ}) + K_2(\text{дБ}) + K_3(\text{дБ}).$$

Коэффициент полезного действия усилителя представляет отношение мощности, отдаваемой в нагрузку, к мощности, потребляемой от источника питания:

$$\eta = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{ист}}}.$$

КПД имеет особое значение для выходных каскадов усилителей, поскольку они потребляют большую часть мощности источника питания.

Электронные усилители

Коэффициент усиления по мощности: $K_{P(\partial B)} = 10 \lg K_P = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$

Коэффициент усиления по напряжению: $K_{U(\partial B)} = 20 \lg K_U = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$

Коэффициент усиления по току: $K_{I(\partial B)} = 20 \lg K_I = 20 \lg \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}$

Коэффициент частотных искажений $M(f) = K_0 / K(f)$, $M_{(\partial B)} = 20 \lg M$,

где K_0 – коэффициент усиления на средних частотах $f_0 = \sqrt{f_n \cdot f_v}$,

$K(f)$ – коэффициент усиления на какой-либо частоте рабочего диапазона.

Коэффициент частотных искажений многокаскадного усилителя:

$$M_{\text{общ}} = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_n, \quad M_{\text{общ}(\partial B)} = M_{1(\partial B)} + M_{2(\partial B)} + \dots + M_{n(\partial B)}.$$

Режимы работы усилителя на транзисторе

Перед тем как подавать на вход усилителя на транзисторе сигнал, подлежащий усилению, необходимо обеспечить начальный режим работы (статический режим, режим по постоянному току, режим покоя). Начальный режим работы характеризуется постоянными токами электродов транзистора и напряжениями между этими электродами. Используют термин «начальный режим работы транзистора» и фактически равноценный ему термин «начальный режим работы усилителя». Для определенности обратимся к схеме с общим эмиттером и соответствующим выходным характеристикам транзистора. Тогда начальный режим работы характеризуется положением так называемой начальной рабочей точки (НРТ) с координатами $(U_{кэ н}, I_{к н})$, где $U_{кэ н}$ и $I_{к н}$ — начальное напряжение между коллектором и эмиттером и начальный ток коллектора. Для стабильной работы усилителя стремятся не допускать изменения положения начальной рабочей точки.

Методы стабилизации рабочей точки

1. Метод термокомпенсации базируется на том, что внешними конструктивными и схемотехническими решениями стараются исключить воздействие на транзисторный каскад нежелательных возмущений, вызывающих недопустимые изменения его параметров. Так, если основным возмущающим воздействием является изменение температуры окружающей среды, то наиболее чувствительные к этим воздействиям каскады усилителя могут быть конструктивно выделены в некоторый самостоятельный узел, в котором принудительно (вне зависимости от внешних условий) поддерживается неизменная температура. В эту же группу методов можно отнести питание наиболее подверженных воздействию каскадов стабилизированным напряжением или применение элементов со стабильными параметрами и т. п.

2. Метод параметрической стабилизации базируется на использовании в транзисторных каскадах специальных элементов, характеристики которых зависят от внешних возмущающих воздействий, причем изменения параметров этих элементов должны компенсировать изменения параметров транзисторного каскада.

3. Метод введения цепей обратной связи является универсальным методом стабилизации параметров не только одиночного транзисторного каскада, но и всего усилителя в целом. При правильном выборе он способен компенсировать влияние всех воздействующих на усилитель внешних возмущений.

2. Метод параметрической стабилизации

В качестве примера на рис. а приведена схема транзисторного каскада, в которой для введения начального смещения рабочей точки используется внешний делитель на резисторах R_{61} и R_{62} . Очевидно, что в данной схеме при увеличении температуры окружающей среды будет увеличиваться ток $I_{кп}$. Это обусловлено уменьшением напряжения $U_{бэ}$ вследствие сдвига входной характеристики транзистора влево и увеличением $h_{21э}$ и $I_{к0}$. Поэтому при увеличении температуры, сохранение $I_{кп}$ на неизменном уровне требует уменьшения начального смещения $U_{см}$. Для этого необходимо либо увеличивать сопротивление R_{61} , либо уменьшать сопротивление R_{62} . Возможно и одновременное изменение сопротивлений обоих резисторов.

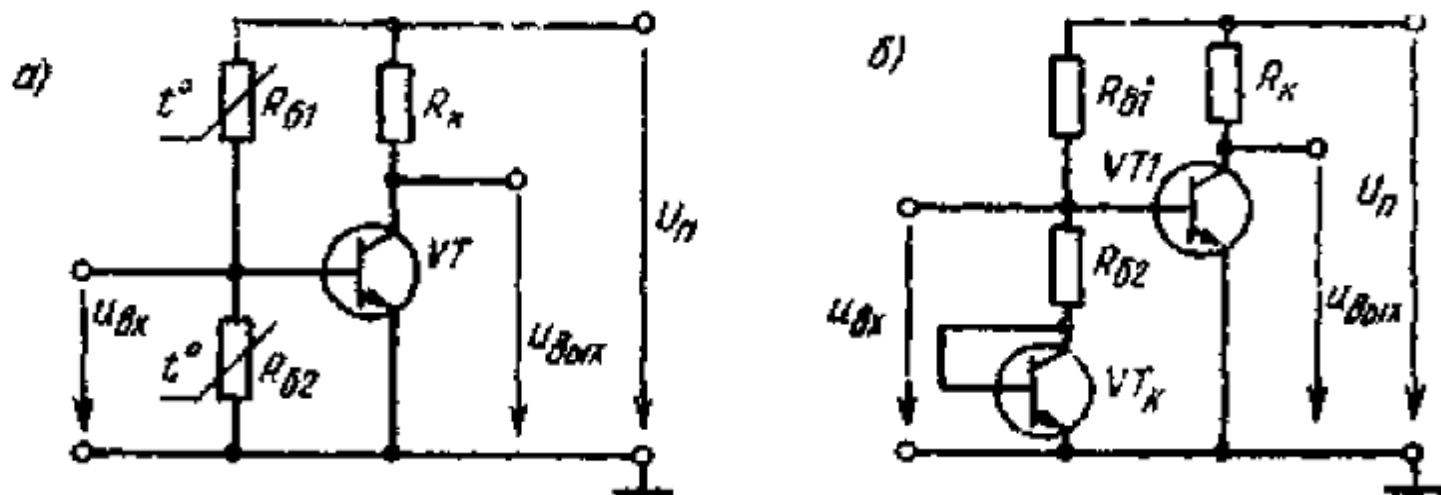


Рис. Параметрическая стабилизация режима покоя усилительного каскада с использованием терморезисторов (а) и дополнительного транзистора (б)

2. Метод параметрической стабилизации

Если параметры изменения сопротивлений согласованы с изменениями параметров транзисторов, такое решение позволяет получить хорошую температурную стабильность каскада.

Во входном делителе могут быть использованы различные элементы, например, терморезисторы, либо другие полупроводниковые приборы. На рис. б показано использование эмиттерного перехода дополнительного транзистора VT_K в качестве такого элемента. Если параметры транзисторов VT_K и VT_1 одинаковы, то такое решение позволяет полностью устранить изменение тока $I_{КП}$, вызванное изменением напряжения $U_{БЭ}$. Такое решение находит широкое применение при разработке аналоговых интегральных схем.

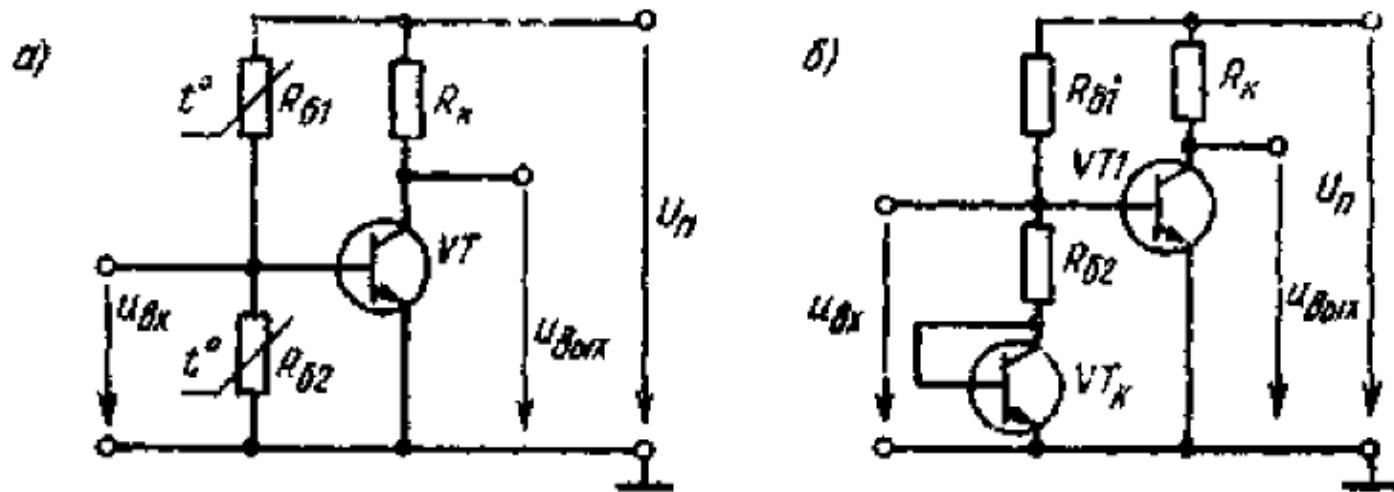
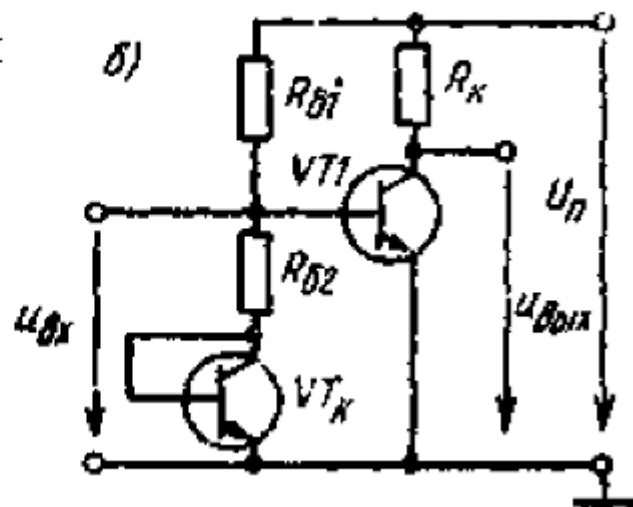


Рис. Параметрическая стабилизация режима покоя усилительного каскада с использованием терморезисторов (а) и дополнительного транзистора (б)

Методы стабилизации рабочей точки

Общим для 1 и 2 методов является компенсация только одного из дестабилизирующих факторов. Так, решение, представленное на рис. 6 не позволяет компенсировать изменение тока I_{KT} , обусловленное изменением значения $h_{21Э}$, а термостабилизация части каскадов не устраняет возмущений, вызванных изменением напряжения питания и т. п. К тому же при использовании параметрического метода трудно подобрать элементы, способные в широком диапазоне изменения внешних возмущений достаточно точно стабилизировать параметры транзисторного каскада, поэтому рассмотренные выше методы применяются как дополнительные, т. е. совместно с введением в каскад различных цепей обратной связи. Введение цепей обратной связи способно сильно изменять все параметры усилителя, причем, чем больше исходный коэффициент усиления, тем сильнее могут быть эти изменения

Рис.



Классы (режимы работы) усилителей

Режим класса А. Рабочая точка (р.т.), определяющая состояние схемы при отсутствии сигнала, выбирается на линейном участке динамической вольт–амперной (передаточной) характеристики (рис.). Амплитуда входного напряжения U_y на управляющем электроде активного элемента (базе транзистора) для минимизации нелинейных искажений выбирается меньше величины напряжения смещения. Выходной ток $I_{вых}$ протекает непрерывно в течение всего периода сигнала и достаточно точно воспроизводит форму входного переменного напряжения, а положение рабочей точки не выходит за пределы прямолинейного участка динамической характеристики.

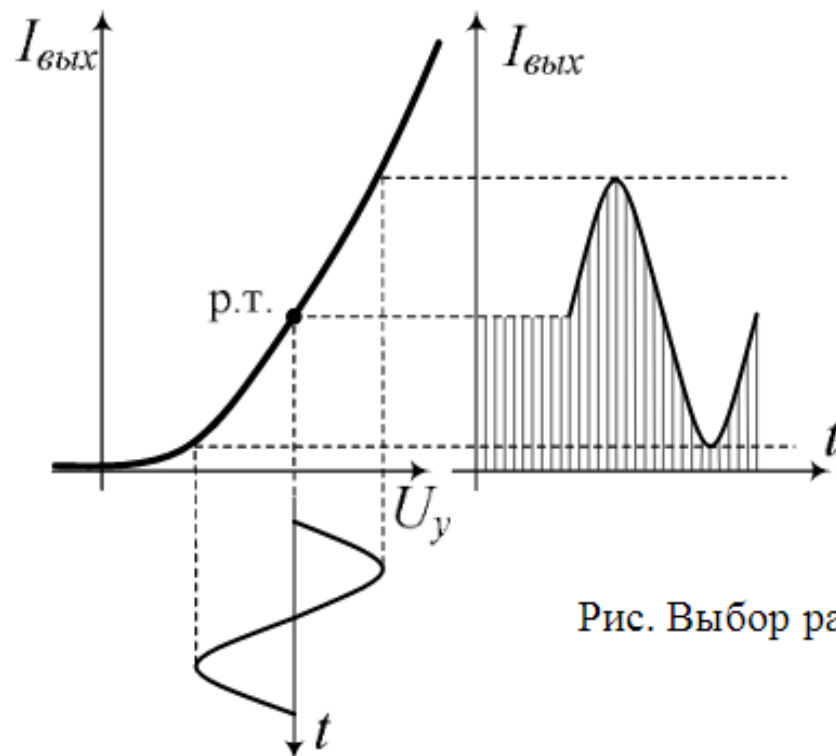


Рис. Выбор рабочей точки усилителя

Классы (режимы работы) усилителей

Достоинством режима класса А являются малые нелинейные искажения, недостатками – низкий КПД (отношение отдаваемой мощности к потребляемой, в УНЧ не более 25%) и относительно малая мощность в нагрузке. Поэтому режим класса А применяется в маломощных (до 3...5 Вт) одноконтурных выходных каскадах. В режиме класса А работают и все каскады усиления напряжения.

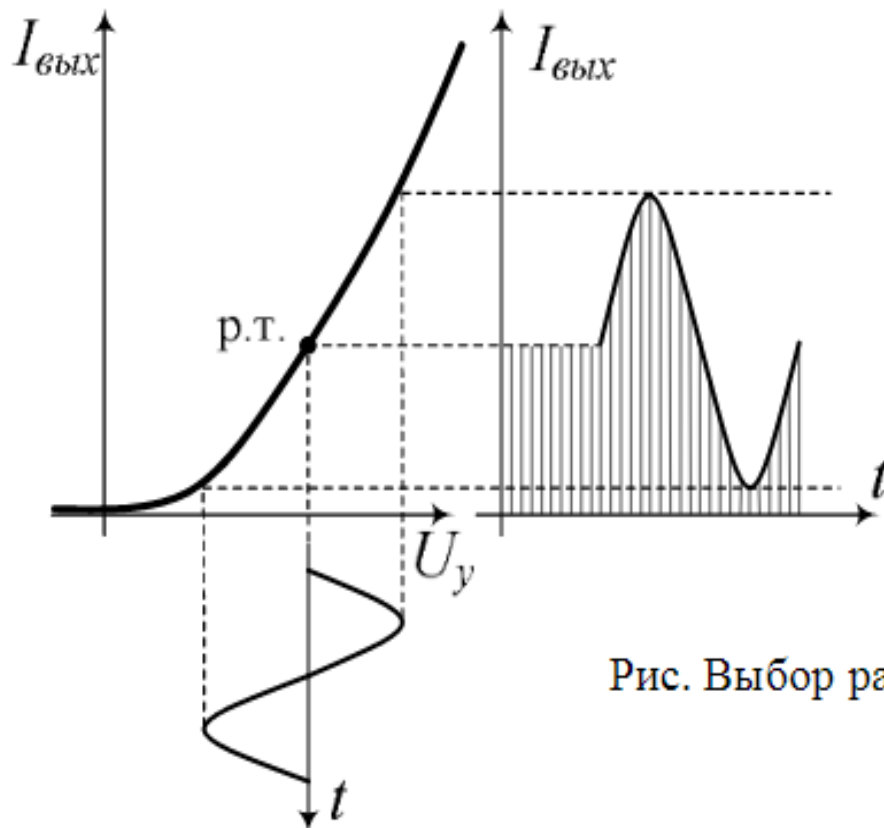
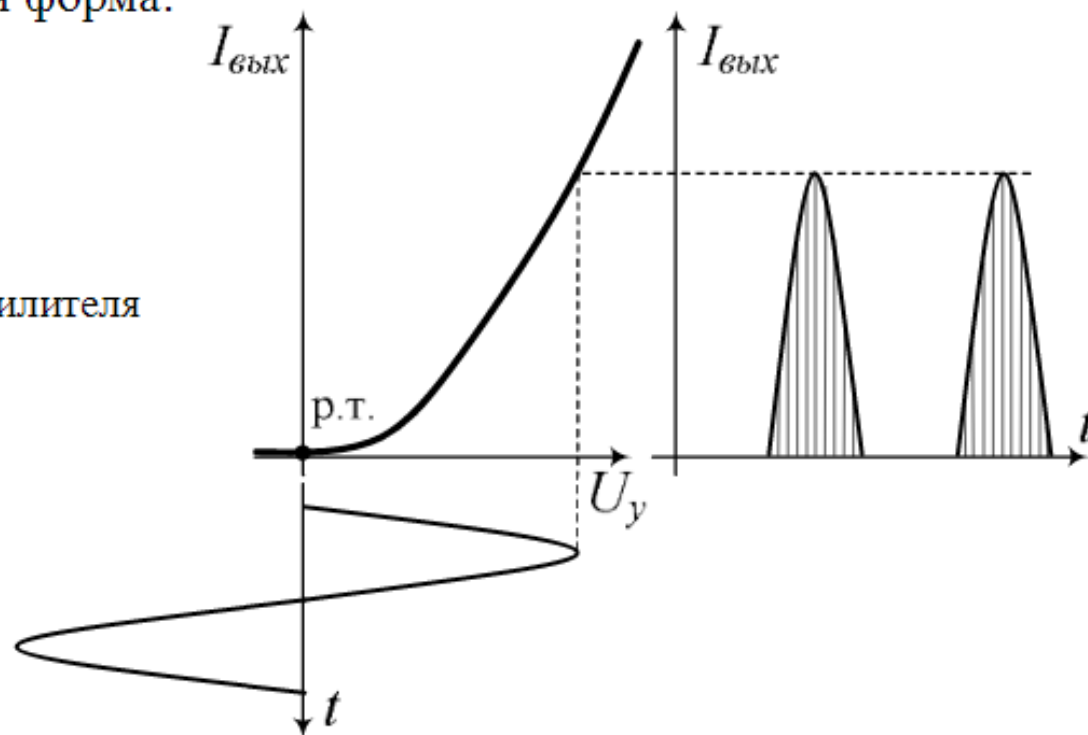


Рис. Выбор рабочей точки усилителя

Режим класса В. Рабочая точка выбирается в самом начале динамической вольт–амперной характеристики (рис.), в результате чего при отсутствии входного сигнала выходной ток практически равен нулю и выделяемая в каскаде мощность мала. Однако в этом случае каскад способен усиливать только одну полуволну гармонического сигнала (сигналы только одной полярности). При подаче на вход синусоидального сигнала ток в выходной цепи протекает лишь в течение половины периода (в течение другой половины периода активный элемент находится в состоянии отсечки) и имеет форму импульсов. Чтобы получить усиление полного сигнала применяются двухтактные схемы, в которых положительные составляющие сигнала усиливаются одним активным элементом, а отрицательные – другим. В нагрузке R_n усиленные компоненты сигнала складываются таким образом, что восстанавливается его первоначальная форма.

Рис. Выбор рабочей точки усилителя



Классы (режимы работы) усилителей

Достоинства усилителя мощности, работающего в режиме класса В, – высокий КПД (до 70%) и большая мощность сигнала в нагрузке, однако форма выходного сигнала искажена из-за нелинейного участка передаточной характеристики. Чистый режим класса В практически используют очень редко, значительно чаще используется так называемый смешанный или промежуточный режим АВ.

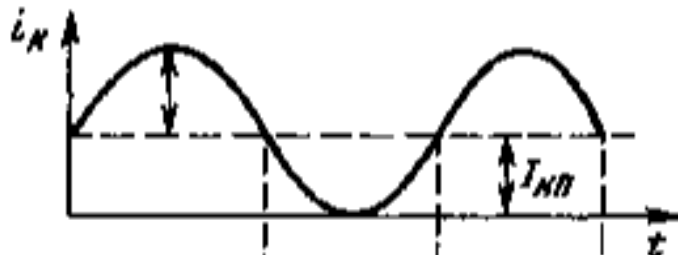
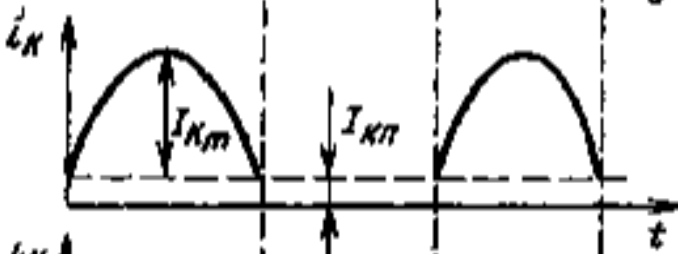
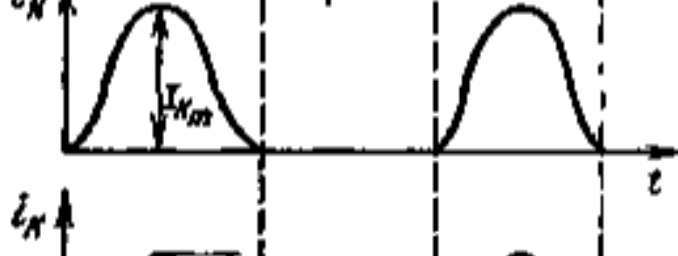
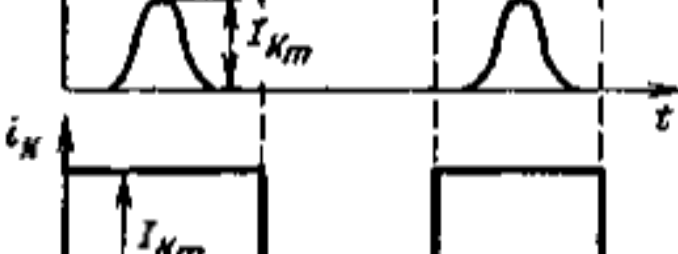
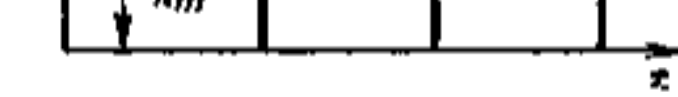
Режим АВ. Рабочая точка занимает промежуточное положение на передаточной характеристике (между началом координат и серединой линейного участка). За счет сдвига рабочей точки из нуля в начало линейного участка на передаточной характеристике при отсутствии входного сигнала через активный элемент протекает некоторый начальный ток покоя. При этом выбором максимальной амплитуды входного напряжения можно добиться, чтобы активный элемент не переходил в состояние отсечки и усиливал (с разной степенью искажений) обе полуволны синусоидального сигнала. Режим АВ работы усилителя характеризуется достаточно высоким КПД при относительно небольших нелинейных искажениях формы выходного сигнала.

Классы (режимы работы) усилителей

Режим С – это режим, при котором выходной ток протекает в течение промежутка времени, меньшего половины периода входного сигнала, т.к. рабочая точка располагается левее точки начала координат на переходной характеристике (отрицательное смещение). Ток покоя отсутствует, поэтому КПД режима С выше, чем режима В и достигает 80% и более. В режиме С использование двухтактной схемы не дает возможности получить в выходной цепи сигнал той же формы, что и подаваемой во входную цепь, поэтому такой режим не применяют для усиления сигналов произвольной формы. Этот режим широко используется в мощных избирательных (резонансных) усилителях, где нагрузкой является параллельный резонансный контур, настроенный на частоту подаваемого на вход синусоидального колебания или на одну из его высших гармоник.

Режим D – это ключевой режим работы, при котором транзистор может находиться только в двух состояниях: или полностью заперт (режим отсечки), или полностью открыт (режим насыщения). Достоинство режима D заключается в очень высоком (близком к 100%) КПД. Его недостаток – значительное усложнение схемы усилителя. Такой режим широко используется в цифровой технике, во всевозможных управляющих, регулирующих, следящих устройствах, где вследствие высокого КПД и малого потребления энергии он находит широкое применение для усиления прямоугольных импульсов произвольной длительности и скважности.

Основные параметры усилителей различных классов усиления

Класс усиления	Напряжение смещения	Ток покоя транзистора I_{KP}	Зависимость тока от времени	Примечание
A	>0	$I_{БП} h_{21Э}$		$I_{Km} < I_{KP}$
AB	>0	$I_{БП} h_{21Э}$		$I_{Km} < I_{KP}$ $I_{Km} < U_n/R_K$
B	$=0$	$I_{K.нач}$		$I_{Km} \leq U_n/R_K$
C	<0	I_{KO}		$I_{Km} \leq U_n/R_K$
D	≤ 0	I_{KO}		$I_{Km} = U_n/R_K$

Операционный усилитель

Операционные усилители выполняются в виде интегральных микросхем, в состав которых входят несколько десятков или сотен транзисторов. Первоначально операционный усилитель (ОУ) применялся в аналоговых вычислительных машинах для выполнения чисто математических операций, таких, как суммирование, вычитание, интегрирование и дифференцирование. На сегодняшний день многосторонние возможности операционного усилителя сделали его основным унифицированным узлом практически в любой области электроники. Операционные усилители используются в составе нормирующих преобразователей, стабилизаторов напряжения, активных фильтров, генераторов функций, аналого-цифровых преобразователей и цифро-аналоговых, а также многих других устройств.

Операционный усилитель

Операционный усилитель – это унифицированный многокаскадный усилитель постоянных и переменных сигналов с дифференциальным входом и несимметричным выходом с непосредственной связью между каскадами, характеризующийся большим коэффициентом усиления по напряжению, высоким входным и малым выходным сопротивлением с широкой полосой пропускания, а также с низким уровнем шумов при хорошей температурной стабильности, способный устойчиво работать при замкнутой цепи ОС. Следует отметить, что на практике перечисленные характеристики ОУ проявляются в различной степени у ОУ разных марок.

На схемах операционные усилители обычно обозначают в виде треугольника или прямоугольника с изображенным на нем треугольником.

Операционный усилитель

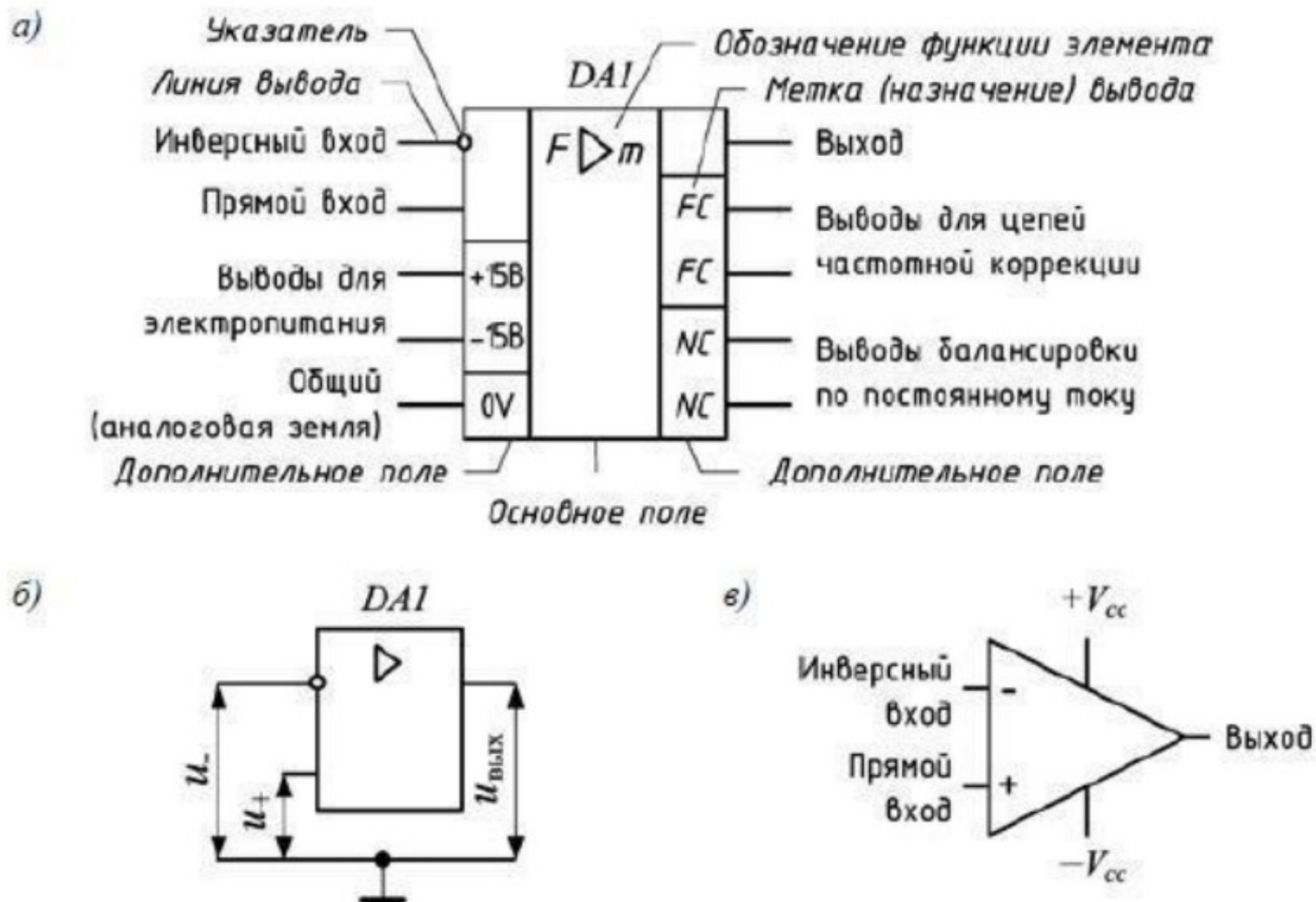


Рис. Условное графическое изображение ОУ на схемах:

а – полное обозначение; *б* – упрощенное обозначение; *в* – зарубежное обозначение

Операционный усилитель

Большинство операционных усилителей имеют один несимметричный выход и два входа, симметричных по отношению к общему проводу. Прямые входы и выходы обозначают линиями, присоединяемыми к контуру графического изображения ОУ без каких-либо знаков, а с указателем в виде круга в месте присоединения – инверсные входы и выходы. Прямой вход называют также **неинвертирующим**, так как фаза выходного сигнала совпадает с фазой сигнала, поданного на этот вход. Другой вход называют **инвертирующим**, так как фаза выходного сигнала сдвинута на 180° относительно входного сигнала. Поэтому входы оказывают на выходное напряжение равное в количественном отношении, но противоположное по знаку влияние. Если к входам приложены **синфазные** (действующие одновременно одинаковые по величине и фазе относительно общего провода) сигналы, то их влияние будет взаимно скомпенсировано и выход будет иметь нулевой потенциал, благодаря чему параметры ОУ малочувствительны к изменениям напряжения питания, температуры и других внешних факторов.

Операционный усилитель

С целью упрощения анализа схем с ОУ последние часто идеализируют. С идеальным ОУ обычно связывают следующие свойства: бесконечно большой коэффициент усиления в бесконечно большой полосе пропускания, бесконечное входное и нулевое выходное сопротивление.

Операционный усилитель предназначен в основном для работы в устройствах с глубокой отрицательной ОС, т. е. сигнал обратной связи всегда подается на инверсный вход, и параметры устройств определяются преимущественно параметрами цепи ООС. В зависимости от условий подачи усиливаемого сигнала на входы ОУ и подключение к нему внешних элементов можно получить три основные схемы включения: **инвертирующую, неинвертирующую и дифференциальную**. Любое схемотехническое решение с применением ОУ базируется на этих схемах.

Операционный усилитель

На основе дифференциального включения ОУ строят так называемые измерительные усилители, применяемые в измерительной технике для усиления сигналов с датчиков и прочих устройств.

Большой коэффициент усиления, высокое входное и низкое выходное сопротивления операционного усилителя (ОУ) позволяют с успехом строить на его основе так называемые **активные RC-фильтры**. Преимуществом таких фильтров перед пассивными является возможность получения большой крутизны спадов амплитудно-частотной характеристики при усилении сигнала в полосе пропускания. Активные фильтры на основе ОУ содержат, как правило, не больше резисторов и конденсаторов, чем пассивные, причем их сопротивления и емкости оказываются сравнительно небольшими даже на очень низких частотах. Вследствие этого габариты и масса активных фильтров получаются небольшими.

Активные фильтры на ОС

Среди преимуществ активных фильтров по сравнению с пассивными следует выделить отсутствие катушек индуктивности, лучшую избирательность, компенсацию затухания полезных сигналов и даже их усиление, пригодность к реализации в виде интегральных микросхем и др. Особенно преимущество активных фильтров на ОУ проявляется на самых низких частотах, вплоть до долей герц.

К недостаткам активных фильтров можно отнести потребление энергии от источника питания, ограниченный динамический диапазон (отношение наибольшего допустимого значения входного напряжения к наименьшему допустимому) и дополнительные нелинейные искажения сигнала. Использование активных фильтров с ОУ на частотах выше десятков мегагерц вообще затруднено из-за малой частоты единичного усиления большинства операционных усилителей широкого применения.

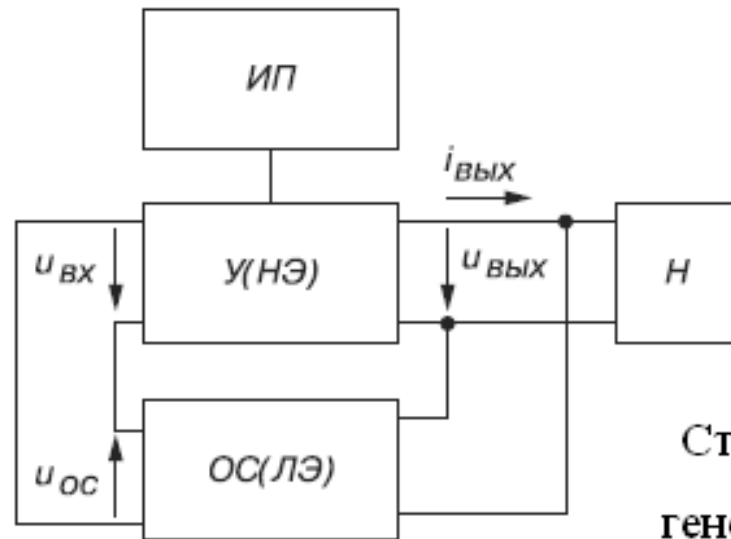
ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Электронный генератор – это устройство, преобразующее электрическую энергию источника постоянного тока в энергию незатухающих электрических колебаний заданной формы и частоты.

По способу возбуждения генераторы подразделяются на генераторы с независимым возбуждением и генераторы с самовозбуждением (автогенераторы). Генераторы с независимым возбуждением являются усилителями колебаний, которые вырабатывают посторонние источники. Автогенераторы сами создают незатухающие колебания за счет использования положительной обратной связи.

Среди автогенераторов можно выделить генераторы синусоидальных колебаний и импульсные генераторы. Генераторы синусоидальных колебаний подразделяются на автогенераторы типа LC и автогенераторы типа RC .

ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ



Структурная схема
генератора гармонических колебаний

Генератор состоит из усилителя U (нелинейного элемента НЭ)

с комплексным коэффициентом усиления по напряжению $\dot{K}_u = \dot{U}_{вых} / \dot{U}_{вх}$

и четырехполюсника положительной обратной связи ОС (линейного элемента ЛЭ

в виде LC - или RC -звеньев) с комплексным коэффициентом передачи $\dot{\beta} = \dot{U}_{ос} / \dot{U}_{вых}$.

Так как $\dot{U}_{вх} = \dot{U}_{ос}$, то напряжение $\dot{U}_{вых} = \dot{K}_u \dot{U}_{вх} = \dot{K}_u \dot{\beta} \dot{U}_{вых}$

ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

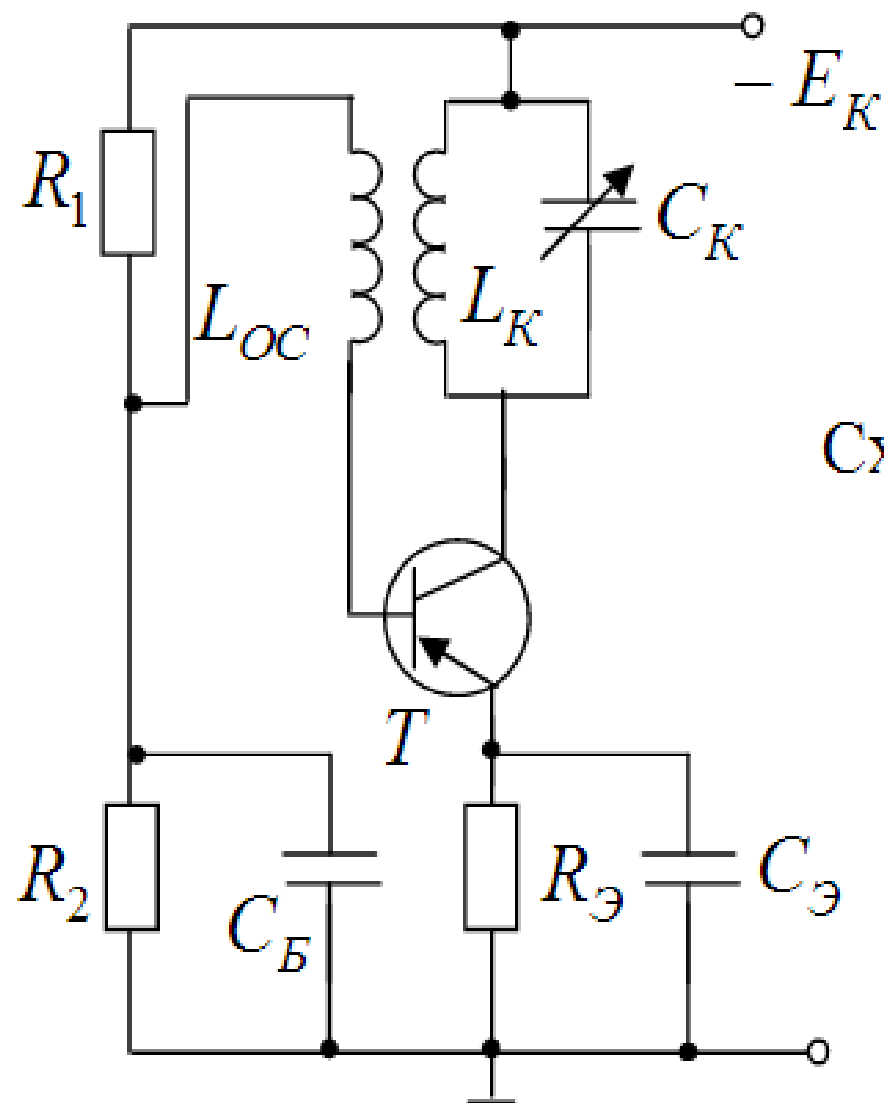


Схема транзисторного автогенератора
с индуктивной связью

ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

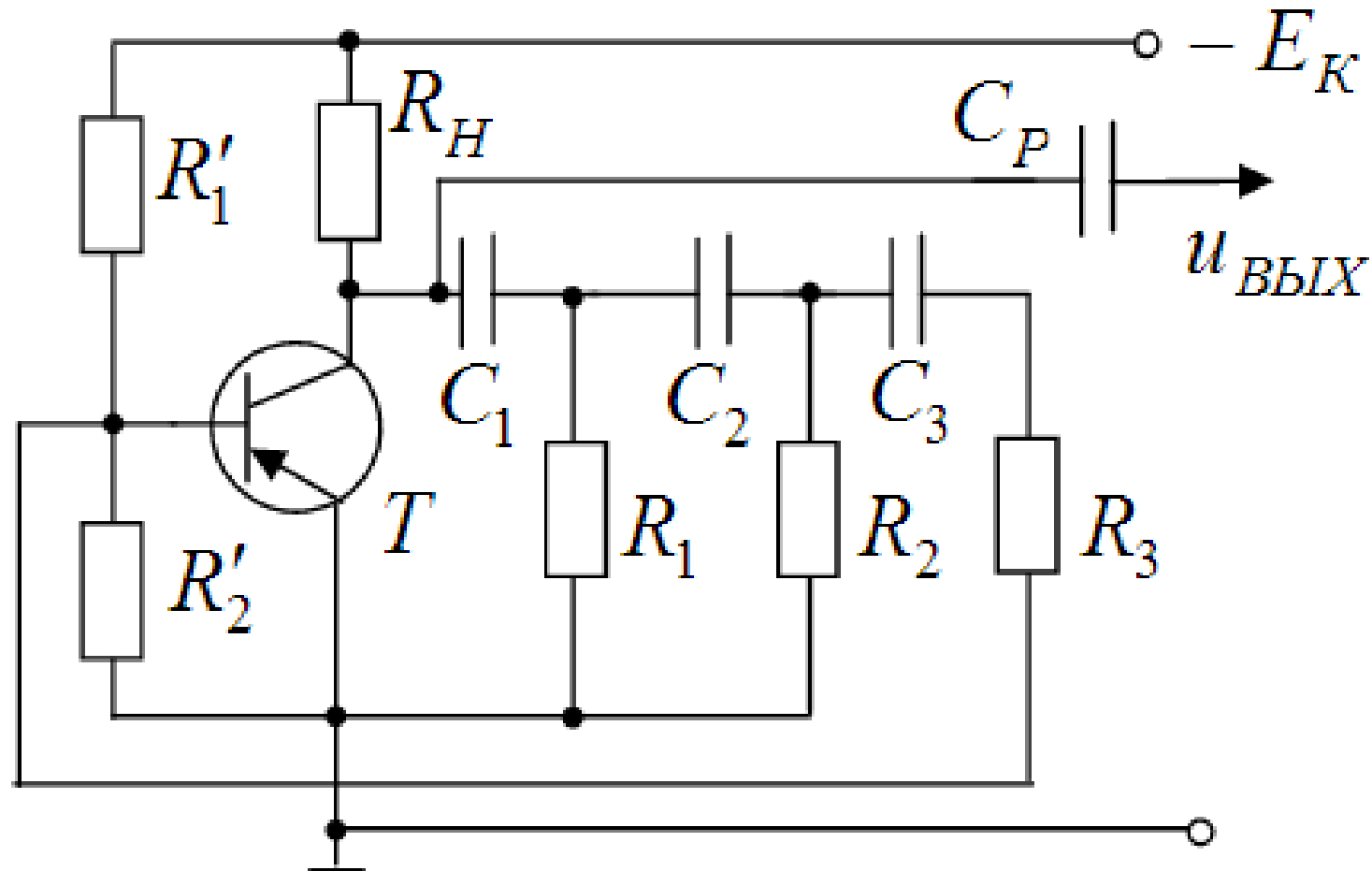


Схема транзисторного автогенератора типа RC

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

Достижения электронной науки и техники используются почти без исключения во всех областях человеческой деятельности. Ускоренными темпами электроника внедряется в научные исследования, промышленность, на транспорт, в связь, сельское хозяйство, здравоохранение, культуру, быт, военное дело и др. Особое место занимают микропроцессоры на основе больших интегральных схем (БИС) и СБИС (сверхбольших интегральных схем).

Внедрение микропроцессоров и микросхем в управление технологическими процессами рассматривается как новый этап промышленной революции. На их основе развивается производство и применение станков с ЧПУ, промышленных роботов, систем автоматического контроля качества продукции, управление цехами и заводами.

Значительные успехи медицины по диагностике и лечению болезней были бы невозможны без достижений электроники. Так создание компьютерного томографа дало возможность получить наглядную информацию о состоянии некоторых областей человеческого организма, в хирургии используют лазеры, в кардиологии - электронные стимуляторы.

На основе развития электроники быстрыми темпами развивается связь, радиовещание, телевидение и т.д.

Элементы электронных схем

```
graph TD; A[Элементы электронных схем] --> B[Полупроводниковые диоды]; A --> C[Биполярные транзисторы]; A --> D[Полевые транзисторы]; A --> E[Тиристоры]; A --> F[Оптоэлектронные приборы]; A --> G[Операционные усилители];
```

Полупроводниковые
диоды

Биполярные
транзисторы

Полевые
транзисторы

Тиристоры

Оптоэлектронные
приборы

Операционные
усилители