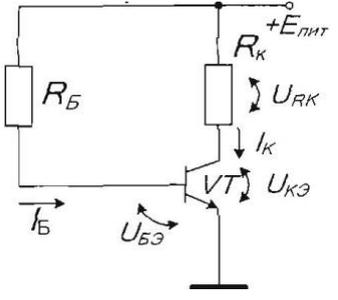


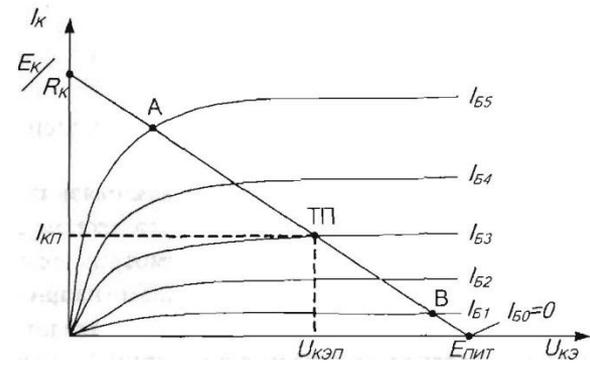
Схемотехника электронных средств

Методы задания начального режима работы транзистора

Схема с фиксированным током базы



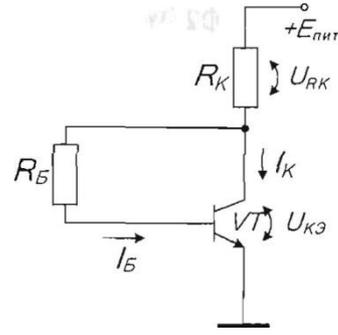
Начальный ток базы задает резистор R_B .
 В соответствии со вторым законом Кирхгофа $I_K R_K + U_{КЭ} - E_{пит} = 0$
 Отсюда находим ток коллектора $I_K = E_{пит} / R_K - U_{КЭ} / R_K$
 что соответствует линейной зависимости вида $y = ax + b$. Это уравнение нагрузочной характеристики.
 В соответствии со вторым законом Кирхгофа $I_B R_B + U_{БЭ} - E_{пит} = 0$
 Отсюда находим ток базы $I_B = E_{пит} / R_B - U_{БЭ} / R_B$
 Так как обычно $E_{пит} \gg U_{БЭ}$, опустим $U_{БЭ}$, тогда $I_B \approx E_{пит} / R_B$.
 Таким образом, в рассматриваемой схеме ток базы задается величинами $E_{пит}$ и R_B (ток фиксирован). При этом $I_K \approx \beta I_B$.



При заданном токе покоя I_B точка покоя ТП займет то положение, которое указано на рис. Самое нижнее возможное положение ТП точка В (режим отсечки, $I_B \approx 0$), а самое верхнее положение - точка А (режим насыщения, $I_B \geq I_{B5}$).

Схему с фиксированным током базы используют редко: при изменении β (при смене транзистора или изменении температуры) будет изменяться ток коллектора и положение рабочей точки.

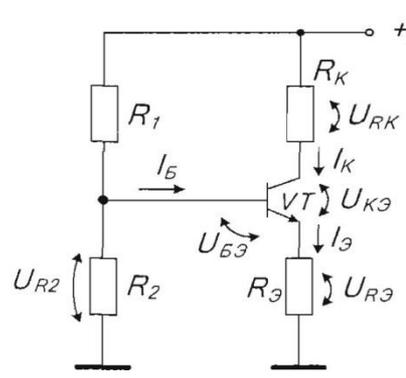
Схема с коллекторной стабилизацией



Пусть, (например, при изменении t°) ток I_K начал увеличиваться. Это увеличит падение напряжения U_{RK} и уменьшит напряжение $U_{КЭ}$ и ток I_B ($I_B \approx U_{КЭ} / R_B$), что подзапирает транзистор и будет препятствие увеличению тока I_K , т.е. будет осуществляться стабилизация тока коллектора.

- Лучшая стабильность начального режима.
- Отрицательная обратная связь по напряжению

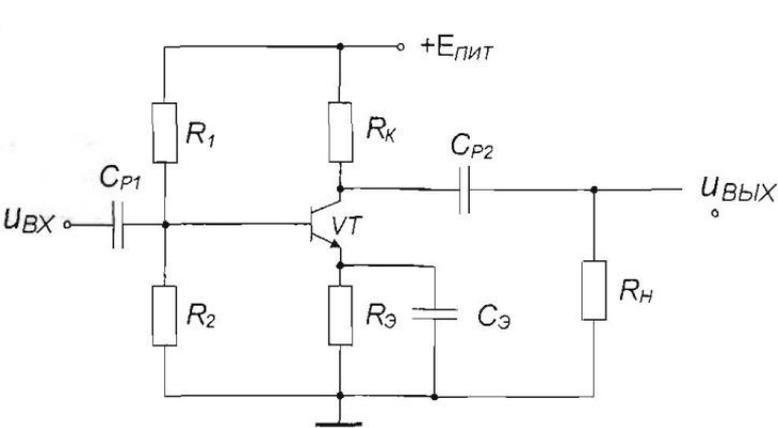
Схема с эмиттерной стабилизацией



Резистор $R_Э$ фиксирует ток $I_Э$ и, соответственно, ток коллектора ($I_K \approx I_Э$).
 $I_Э = U_{RЭ} / R_Э = \text{const}$.
 Сопротивления R_1 и R_2 выбирают, чтобы величина тока I_B практически не влияла на величину напряжения U_{R2} .
 $U_{R2} = E_K R_2 / (R_1 + R_2)$.
 В соответствии с 2 законом Кирхгофа $U_{RЭ} = U_{R2} - U_{БЭ}$.
 При воздействии дестабилизирующих факторов величина $U_{БЭ}$ изменяется мало, что мало изменяется и величина $U_{RЭ}$. На практике обычно напряжение $U_{RЭ}$ составляет небольшую долю напряжения $E_{пит}$.

- обратная связь по току

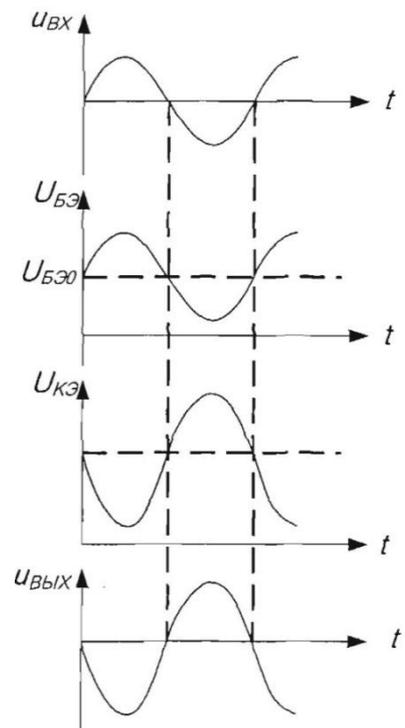
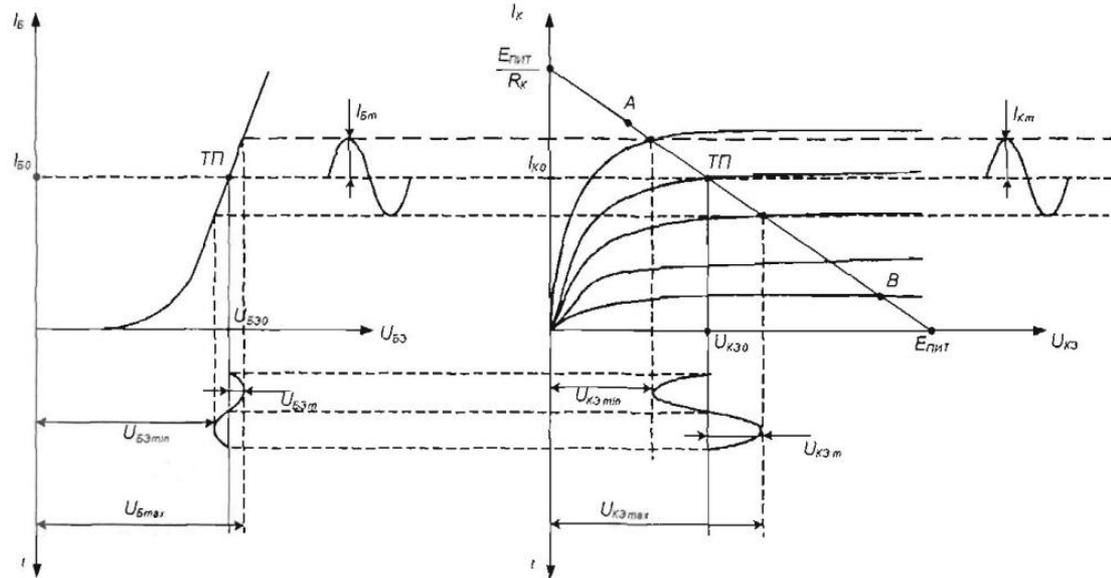
Усилитель на биполярном транзисторе с общим эмиттером



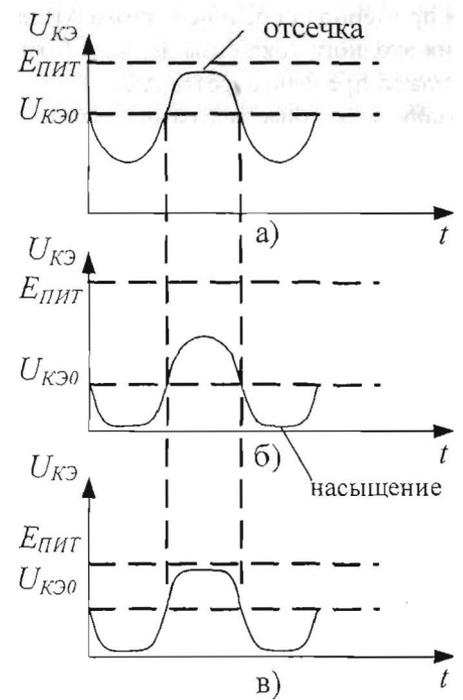
$$U_{ВХm} \square I_{Бm} \square I_{Кm} \square I_{Кm} R_K \square (U_{КЭm} = E_{ПИТ} - I_{Кm} R_K) = U_{ВЫХm}$$

При работе транзистора в активном (усилительном) режиме рабочая точка должна находиться примерно посередине отрезка АВ нагрузочной прямой. Предельные изменения входного тока базы должны быть такими, чтобы рабочая точка не выходила за пределы отрезка АВ.

Временные диаграммы работы транзисторного каскада при правильном выборе точки покоя и величины входного сигнала.



Временные диаграммы работы транзисторного каскада при неправильных режимах:
 а - при недостаточном токе смещения;
 б - при избыточном токе смещения;
 в - при чрезмерном входном сигнале



Усилитель на биполярном транзисторе с общим эмиттером

Начальное положение рабочей точки обеспечивается делителем напряжения, состоящим из резисторов $R1$ и $R2$, значения сопротивлений которых определяют из соотношений:

$$R1 = (E_n - U_{БЭ0} - U_{RЭ}) / (I_D + I_{Б0});$$
$$R2 = (U_{БЭ0} + U_{RЭ}) / I_D;$$

где $I_D = (2...5)I_{Б0}$ - ток в цепи делителя.

При обеспечении режима работы транзистора необходимо осуществить температурную стабилизацию положения рабочей точки (уменьшить влияние температуры на начальное положение рабочей точки). С этой целью в эмиттерную цепь введен резистор $R_Э$, на котором создается напряжение ООС по постоянному току $U_{RЭ}$.

ООС в данной схеме действует следующим образом: при изменении, например, температуры транзистора увеличивается ток коллектора. Это вызывает соответствующее увеличение тока эмиттера и падения напряжения на нем. Следовательно, напряжение $U_{БЭ}$, которое является управляющим для транзистора, уменьшается, транзистор подзапирается, ток коллектора уменьшается и возвращается в заданный режим.

Введение ООС уменьшает коэффициент усиления схемы. Для того, чтобы обратная связь действовала только по постоянному току и для устранения ООС по переменному току резистор $R_Э$ шунтируют конденсатором $C_Э$, сопротивление которого на частоте усиливаемого сигнала должно быть незначительным.

При анализе схемы можно считать, что ООС по переменному току отсутствует. В таком случае коэффициент усиления каскада по току

$$K_I = \beta R_K / (R_K + R_H).$$

Это означает, что усиление транзисторного каскада по току определяется коэффициентом усиления транзистора по току β , сопротивлениями коллектора и нагрузки.

АЧХ и ФЧХ усилителя аналогичны типовым характеристикам усилителей низкой частоты. Спад АЧХ в области низких частот обусловлен уменьшением коэффициента усиления усилителя за счет увеличения реактивного сопротивления емкостей C_{P1} , C_{P2} , $C_Э$. Спад АЧХ в области высоких частот обусловлен ограниченными частотными свойствами транзистора, в частности, наличием паразитных емкостей.

Классы усиления транзисторных усилительных каскадов

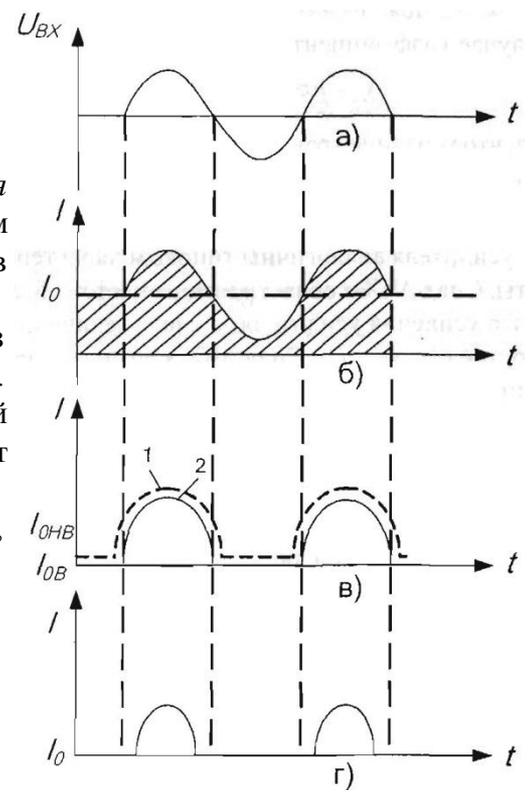
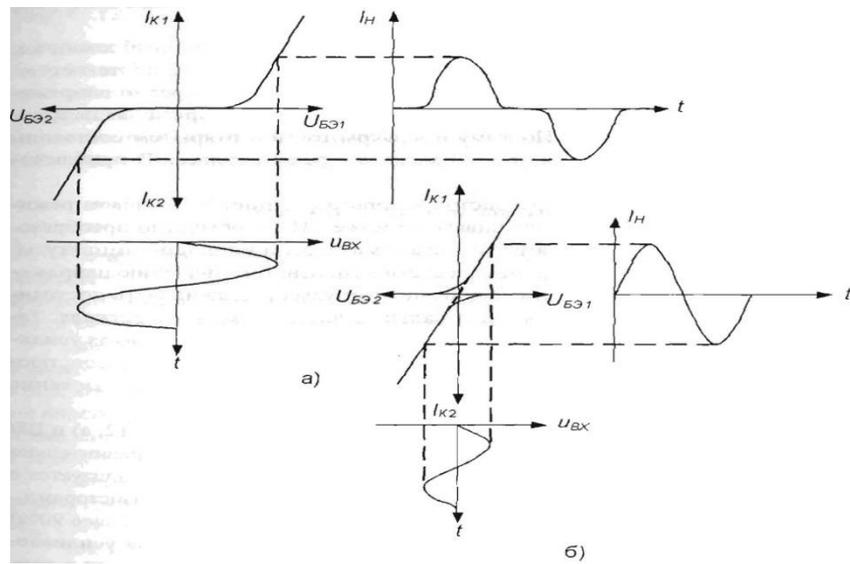
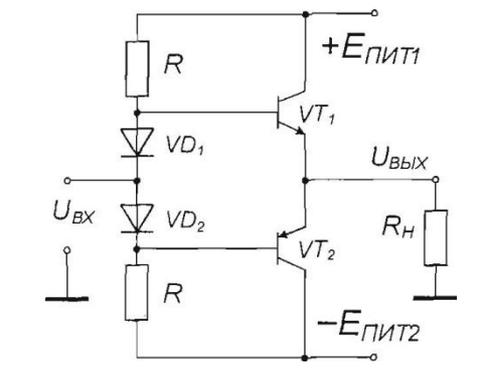
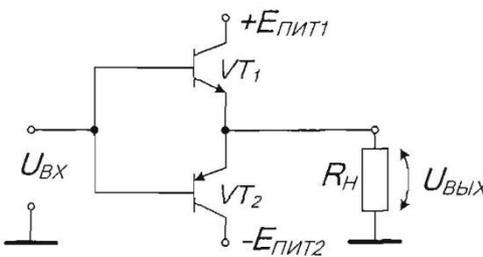
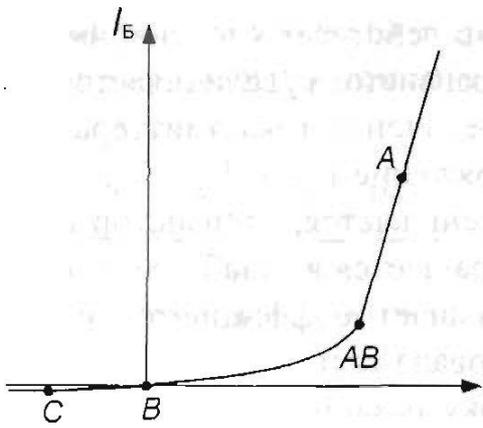
Режим А - это режим работы транзистора, при котором ток в выходной цепи I_K протекает в течение всего периода входного сигнала. Рабочая точка в пределах отрезка АВ нагрузочной прямой, только в линейном (активном) режиме работы транзистора.

Преимуществом являются малые нелинейные искажения. КПД каскада $\eta = P_- / P_0$ (P_- - выходная мощность, P_0 - полная мощность, потребляемая каскадом) низкий - менее 0,5. Режим А используют в каскадах предварительного усиления, а также в маломощных выходных каскадах.

Режим В - режим работы транзистора, при котором ток через него протекает в течение половины периода входного сигнала. Из-за нелинейности начального участка входной характеристика транзистора выходной сигнал имеет значительные нелинейные искажения.

Режим В обычно используют в двухтактных каскадах (рис.), имеющих высокий КПД.

Искажения, присущие классу В для двухтактного каскада, называются переходными искажениями (ступенька) (рис. а).



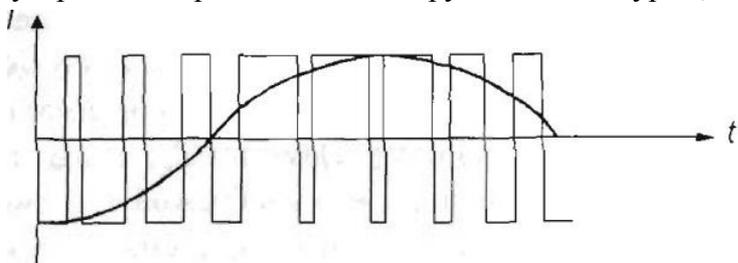
а - входной сигнал усилителя;
 б - режим А;
 в - режим В и АВ;
 г - режим С

а) - класс В; б) - класс АВ

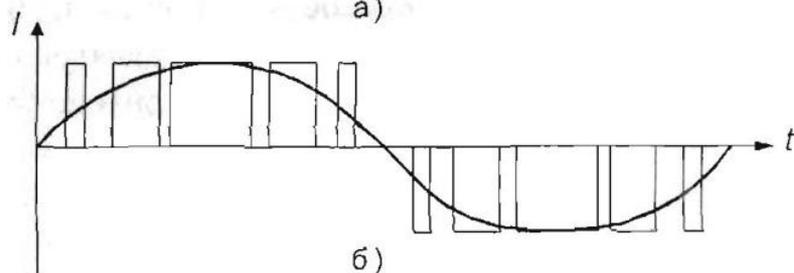
Классы усиления транзисторных усилительных каскадов

Режим АВ. Чтобы исключить переходные искажения выходного сигнала, применяют режим класса АВ, когда на базу транзистора подается небольшое напряжение смещения $U_{Б0}$, при котором рабочая точка занимает начальное положение в нелинейной области входных характеристик, но через транзисторы в отсутствие входного сигнала протекает небольшой ток $I_{Б0}$. При этом КПД схемы практически не изменяется, но переходные искажения уменьшаются в несколько раз (рис. б).

Режим С. Если подается напряжение смещения, запирающее транзистор, то такой режим называется режимом класса С. Усиливаются фактически только «макушки» входной синусоиды. Нелинейные искажения выше, а КПД больше, чем в режиме класса В. Режим класса С применяется в основном в схемах резонансных усилителей, где нелинейные искажения, возникающие в результате отсечки тока, устраняются резонансным нагрузочным контуром, настроенным на частоту входного сигнала.



а)



б)

Режим D. В режиме D транзистор работает как электронный ключ, т.е. он открыт или заперт. В закрытом состоянии через транзистор протекает незначительный ток, а падение напряжения на нем примерно равно напряжению источника питания. В открытом состоянии падение напряжения на транзисторе мало, а ток велик. Поэтому и в закрытом, и в открытом состоянии потери на транзисторе малы, и КПД каскада в режиме класса D приближается к 100%.

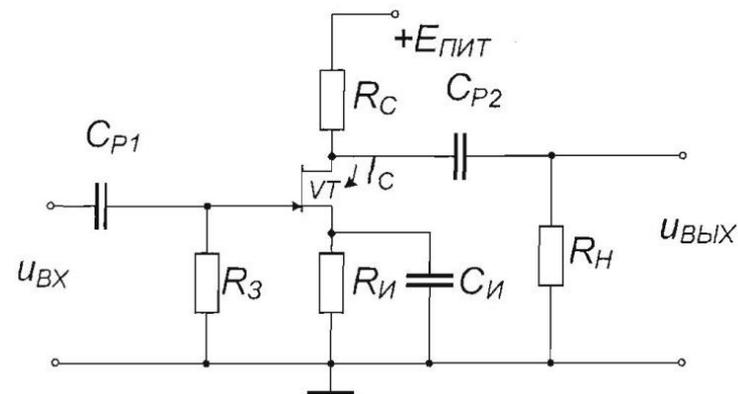
Каскад, транзистор которого работает в ключевом режиме, гармонические сигналы усиливать не может. Их необходимо преобразовывать (модулировать) в прямоугольные импульсы постоянной амплитуды, но с длительностями, пропорциональными мгновенному значению напряжения сигнала. При этом частота следования импульсов должна быть постоянной и значительно превышать максимальную частоту входного сигнала. После усиления импульсов, промодулированных по ширине, осуществляется их обратное преобразование (демодуляция) в сигнал первоначальной формы.

В усилителях класса D используются два режима: AD (рис. а) и BD (рис.б). Если для осуществления режима AD применяются сравнительно простые электрические схемы, как и для режима А, то режим BD реализуется с помощью сложных двухтактных схем с двойным управлением транзисторами.

Режим E, как и режим D, позволяет получать высокий КПД (более 90%) в оконечном каскаде усилителя мощности при изменении уровня усиливаемого сигнала в широких пределах. Точка покоя транзистора не зафиксирована, а изменяет свое положение в зависимости от уровня входного сигнала. Это достигается за счет регулируемого источника питания, который изменяет свое напряжение в соответствии с входным сигналом. Транзистор меняет свое положение на ВАХ таким образом, что падение напряжения на транзисторе получается минимальным для активного режима, что обеспечивает значительное уменьшение рассеиваемой мощности на транзисторе.

Усилитель на полевом транзисторе

На рис. приведена типовая схема каскада на полевом транзисторе с управляющим $p-n$ переходом и каналом n -типа.



$$R_C \ll R_3; R_3 \approx R_{ВХ}$$

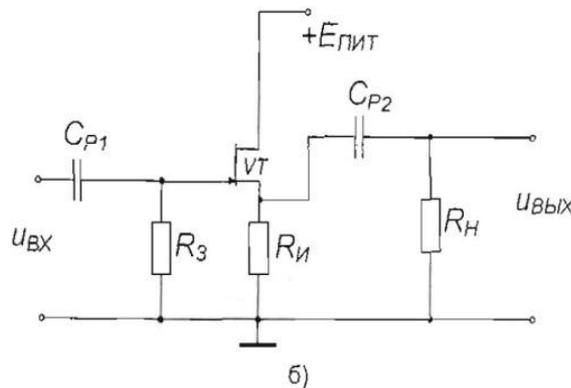
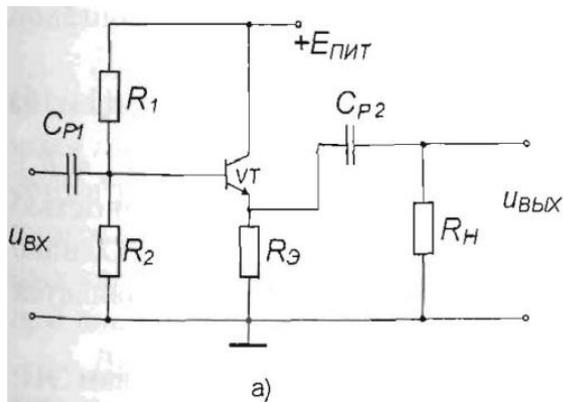
$$K_U = -S R_{C\sim}$$

$$R_{C\sim} = R_C R_H / (R_C + R_H)$$

преимущества полевого транзистора перед биполярным:

- большее входное сопротивление, что упрощает его согласование с высокоомным источником сигнала;
 - как правило, меньший коэффициент шума, что делает его более предпочтительным при усилении слабых сигналов;
 - большая собственная температурная стабильность режима покоя.
- Вместе с тем каскады на полевых транзисторах обычно обеспечивают получение меньшего коэффициента усиления по напряжению.

Эмиттерный и истоковый повторители



$$\beta_U = 1$$

$$K_{UЭП} = K_U / (1 + K_U \beta_U) = K_U / (1 + K_U) < 1$$

$$R_{ВХ} = \beta R_E$$

$$K_{ЭП} = \beta + 1$$

$$K_{UИП} < 1;$$

$$R_{ВХ} \approx R_3 - \text{велико};$$

$$R_{ВЫХ} \approx 1/S - \text{мало}$$