

Билет 1

1. Какие основные функции транзистора вы знаете? Что понимают под режимом работы, укажите на ВАХ области основных режимов работы БТ.

Две его основные функции в электрической цепи - это усилитель и переключатель.

В зависимости от этого различают четыре режима работы транзистора:

- 1) активный (усиления). Эмиттерный переход смещён в прямом направлении, а коллекторный – в обратном;
- 2) отсечки. Оба перехода смещены в обратном направлении;
- 3) насыщения. Оба перехода смещены в прямом направлении;
- 4) инверсный. Эмиттерный переход смещён в обратном направлении,

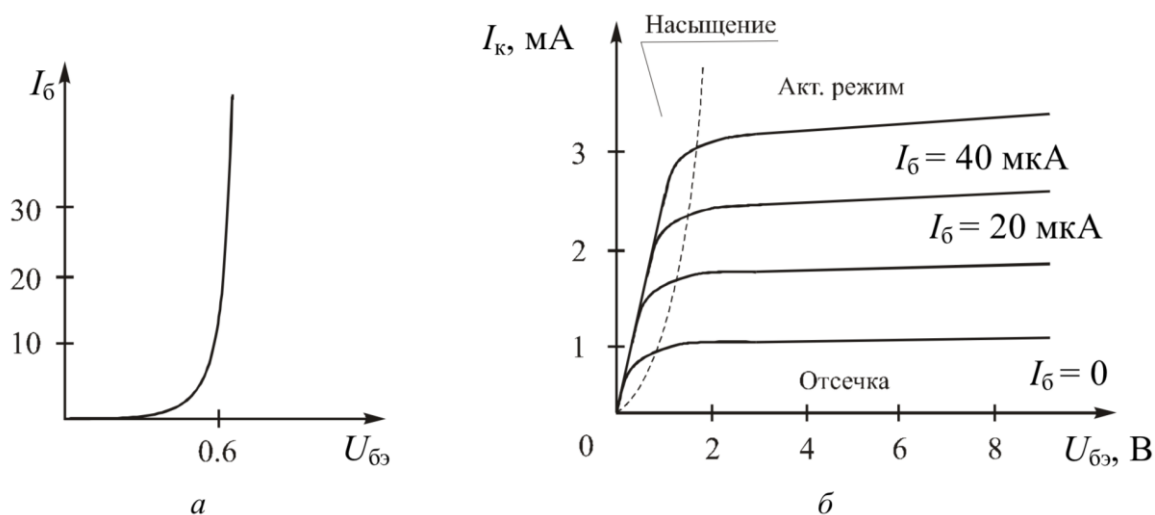


Рис. 20.4

а коллекторный – в прямом.

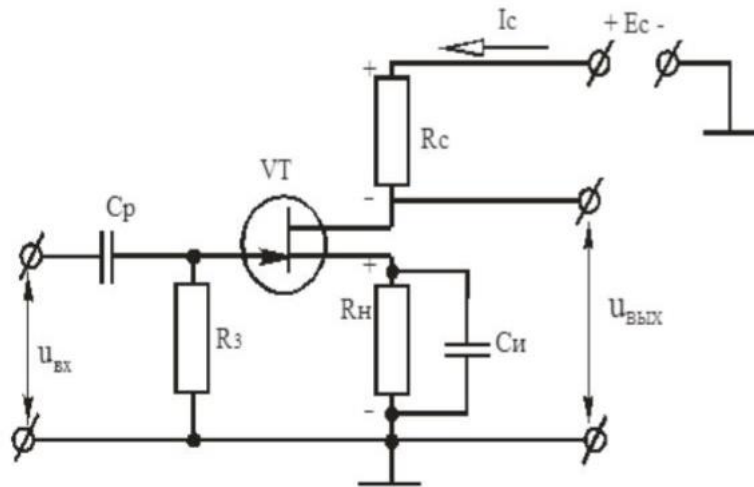
2. Каков механизм усиления сигнала в БТ и ПТ. Какой транзистор является более экономичным в импульсном режиме и почему?

БТ:

На вход усилителя подается сигнал - переменное напряжение u_{BX} , которое преобразуется в переменную составляющую тока базы. Изменение тока базы вызывают изменение тока коллектора и напряжения на коллекторе. Вследствие этого появляется переменное напряжение на нагрузочном резисторе, т.е. создается выходное напряжение усилителя.

ПТ:

Усилители на полевых транзисторах применяются, в основном, в специальных схемах. На рис. приведена схема усилителя, выполненного по схеме с ОИ и одним источником питания.



Затвор находится на «земле», режим покоя обеспечивается отрицательным напряжением

смещения на затворе полевого транзистора относительно истока, Потенциал истока определяет резистор R_i при прохождении тока I_{cp} ($U_{Ri} = I_{cp} R_i$). Резистор R_i , кроме обеспечения напряжения смещения затвора, используется также для температурной стабилизации режима работы усилителя по постоянному току. Чтобы на резисторе R_i не выделялась переменная составляющая напряжения, его шунтируют конденсатором C_i и обеспечивают неизменность коэффициента усиления каскада. Сопротивление конденсатора C_i на наименьшей частоте сигнала должно быть намного меньше сопротивления резистора R_i .

При подаче на вход усилительного каскада переменного напряжения $u_{вх}$ напряжение между затвором и истоком будет изменяться во времени $U_{зи}(t) = u_{вх}$; ток стока также будет изменяться во времени, появится переменная составляющая $I_{ic}(t) = i_c$, приводящая к изменению напряжения между стоком и истоком.

Полевые транзисторы практически вытеснили биполярные в ряде применений. Самое широкое распространение они получили в интегральных схемах в качестве ключей (электронных переключателей). Благодаря очень высокому входному сопротивлению, цепь полевых транзисторов расходует крайне мало энергии, так как практически не потребляет входного тока. Усиление по току у полевых транзисторов намного выше, чем у биполярных. Значительно выше помехоустойчивость и надежность работы, поскольку из-за отсутствия тока через затвор транзистора, управляющая цепь со стороны затвора изолирована от выходной цепи со стороны стока и истока.

3. Какие носители электричества используются в проводниках, какие в БТ, какие в ПТ? Чем отличаются основные и неосновные?

Транзистор называется *биполярный*, поскольку в работе прибора одновременно участвуют два типа носителей заряда – *электроны* и *дырки*.

Дырки, перешедшие в полупроводник *n*, являются для него не основными носителями (основные носители в *n*- области - электроны; в *p*- области - дырки). Встречаясь с электронами, они рекомбинируют. Точно так же электроны, перешедшие в полупроводник *p*, являются для него неосновными носителями и, в конце концов, рекомбинируют с дырками.

Этим он отличается от *униполярного* (полевого) транзистора, в работе которого участвует только один тип носителей заряда.

Билет 2

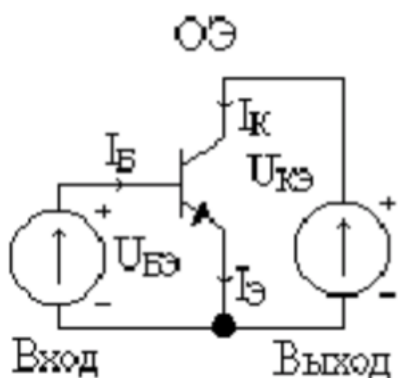
1. Какие носители электрического тока используются в ПТ и чем они управляются. Какой транзистор является более экономичным в импульсном режиме и почему?

Транзистор называется *биполярный*, поскольку в работе прибора одновременно участвуют два типа носителей заряда – *электроны и дырки*.

А базой является область, которая управляет движением инжектируемых эмиттером зарядов.

Полевые транзисторы практически вытеснили биполярные в ряде применений. Самое широкое распространение они получили в интегральных схемах в качестве ключей (электронных переключателей). Благодаря очень высокому входному сопротивлению, цепь полевых транзисторов расходует крайне мало энергии, так как практически не потребляет входного тока. Усиление по току у полевых транзисторов намного выше, чем у биполярных. Значительно выше помехоустойчивость и надежность работы, поскольку из-за отсутствия тока через затвор транзистора, управляющая цепь со стороны затвора изолирована от выходной цепи со стороны стока и истока.

2. Как называются электроды БТ и какие являются входными и выходными в схеме ОЭ, каково соотношение между токами БТ (базовым, коллекторным, эмиттерным)?



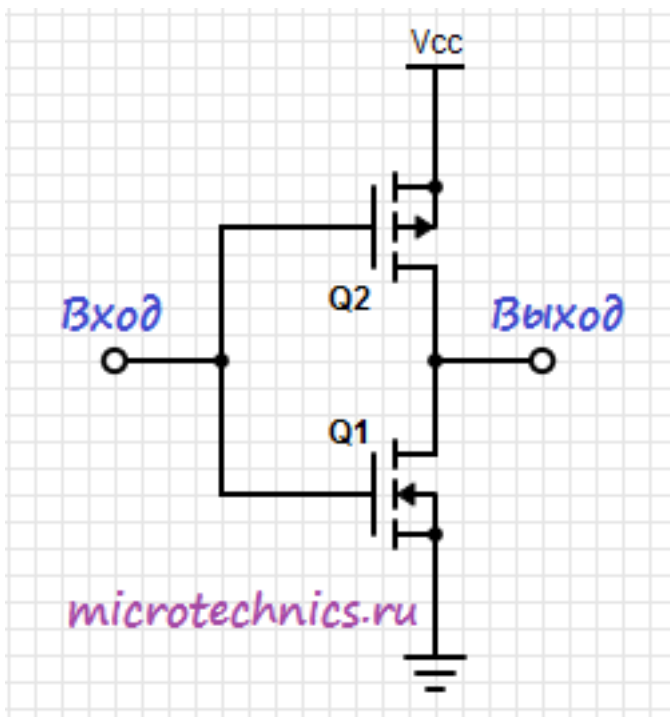
Рассмотрим схему включения транзистора с общим эмиттером (ОЭ). При таком включении входным электродом является база, эмиттер заземляется (общий электрод), а выходным электродом является коллектор.

Основным передаточным параметром для схемы включения с ОЭ является коэффициент усиления тока базы β : $h_{21э} = \beta = d I_K / d I_B$, $U_{КЭ} = \text{const}$.

Параметр β связан с коэффициентом передачи тока эмиттера соотношением $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$

3. Приведите схему ключа на комплементарной паре ПТ. Как он работает и в какие моменты потребляет мощность?

схема на комплементарных МОП-транзисторах (КМОП). Она имеет следующий вид:



Итак, пусть у нас на входе сигнал высокого уровня. Тогда p-канальный МОП-транзистор $Q2$ будет выключен, а $Q1$, напротив, будет во включенном состоянии. При этом на выходе будет сигнал низкого уровня. А что если на входе низкий уровень? А тогда наоборот $Q1$ будет выключен, а $Q2$ включен, и на выходе окажется сигнал высокого уровня.

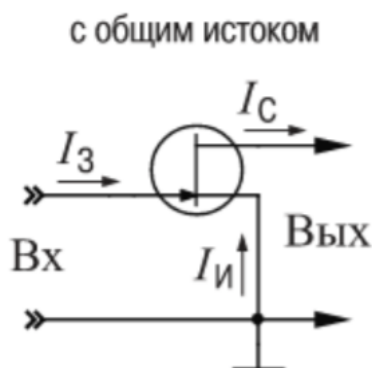
В любом статическом состоянии схема не потребляет мощности от источника питания, т.к. один из транзисторов оказывается запертым. Во время переключения через транзисторы протекает ток, вызванный перезарядом собственных емкостей транзисторов и емкости нагрузки, поэтому с ростом частоты переключения потребление энергии схемой растет.

Билет 3

1. Как называются электроды ПТ, какие являются входными, а какие выходными в схеме ОИ. Что такое крутизна передаточной характеристики и какие величины она связывает? Какие смещения надо подать на затвор относительно истока для работы JFET (n-типа), n-MOS, p-MOS для работы в активном режиме?

Электроды полевого транзистора называются:

- исток — электрод, из которого в канал входят основные носители заряда;
- сток — электрод, через который из канала уходят основные носители заряда;
- затвор — электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала.



Параметр усилительной способности JFET – это крутизна сток-затворной характеристики. Обозначается g_m или S , и измеряется в мА/В (миллиАмпер/Вольт). Крутизна сток-затворной характеристики показывает усилительные способности транзисторного каскада – чем она больше, тем больше коэффициент усиления.

Итак, в **рабочем режиме** полевого транзистора с управляющим р-п переходом напряжение на затворе должно быть либо нулевым (канал открыт полностью), либо обратным.

2. Что такое коэффициент усиления по напряжению и по мощности. Как его определить на графике входных и выходных напряжений?

Коэффициентом усиления по напряжению называют физическую величину, равную отношению амплитуды переменной компоненты выходного напряжения к амплитуде входного напряжения

$$K_U = \frac{U_{vih}}{U_{vh}}$$

Коэффициентом усиления по

мощности (является физическая величина, равная:

где P_{vih} — выходная мощность, P_{vh} — входная мощность

$$K_P = \frac{P_{vih}}{P_{vh}} = \frac{I_{vih} U_{vih}}{I_{vh} U_{vh}} = K_I K_U$$

3. Из каких составляющих состоит ток через р-п-переход. От чего зависит преобладание одного из токов?

Если к р-п-переходу приложена

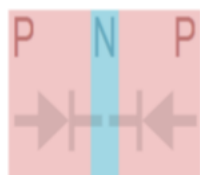
внешняя разность потенциалов в прямом (пропускном) направлении, под действием этой разности потенциалов дырки переходят из полупроводника р в полупроводник п, электроны из п- в р-, и в цепи возникает ток I , идущий слева направо. Дырки, перешедшие в полупроводник п, являются для него не основными носителями (основные носители в п- области - электроны; в р- области - дырки). Встречаясь с электронами, они рекомбинируют. Точно так же электроны, перешедшие в полупроводник р, являются для него неосновными носителями и, в конце концов, рекомбинируют с дырками.

Билет 4

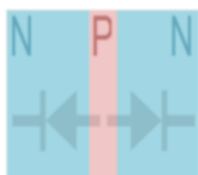
1. Если представить БТ как два диода по отношению к базе, то как должны быть включены эти диоды, чтобы сформировать биполярный транзистор?

Почему носители электрического тока проникают через

обратносмещенный переход коллектор-база?



PNP транзистор



NPN транзистор

Теперь подключим напряжение между базой и эмиттером V_{BE} , превышающее напряжение открывания диода Э-Б. Под его действием переход откроется, дырки (их мало) направятся в эмиттер, электроны (их много больше) направятся к базе. Часть из них начнет заполнять находящиеся там дырки (рекомбинировать), образуя ток базы (дырки постоянно образуются источником $U_{БЭ}$). Однако большинство электронов направится в сторону коллектора, поскольку там напряжение намного выше, осуществляя переход через обратносмещенный переход в качестве неосновных носителей. Этому способствует очень маленькая толщина слоя базы. В итоге мы получаем два тока: маленький - от базы к эмиттеру I_{BE} , и большой - от коллектора к эмиттеру I_{CE}

2. Какие основные параметры БТ вы знаете, чем отличаются транзисторы $p-n-p$ и $n-p-n$?

Параметры транзистора

Ток коллектора практически равен току эмиттера, за исключением небольшой потери на рекомбинацию в базе, которая и образует ток базы ($I_{Э} = I_{Б} + I_{К}$). Коэффициент α , связывающий ток эмиттера и ток коллектора ($I_{К} = \alpha I_{Э}$), называется коэффициентом передачи тока эмиттера.

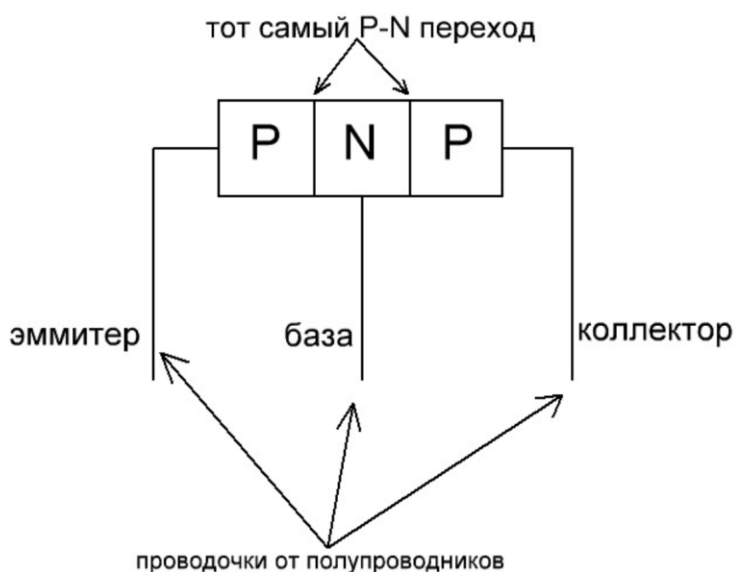
Численное значение коэффициента $\alpha = 0,9—0,999$. Чем больше коэффициент, тем эффективней малый ток базы управляет значительно бóльшим током коллектора.

Соотношение тока коллектора $I_{К}$ к току базы $I_{Б}$ называется коэффициентом усиления по току.

Обозначается β , h_{fe} или h_{21e} , в зависимости от специфики расчетов, проводимых с транзистором.

$\beta = I_{К} / I_{Б}$; $I_{К} = \alpha I_{Э}$; Коэффициент усиления $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$, от 10 до 1000.

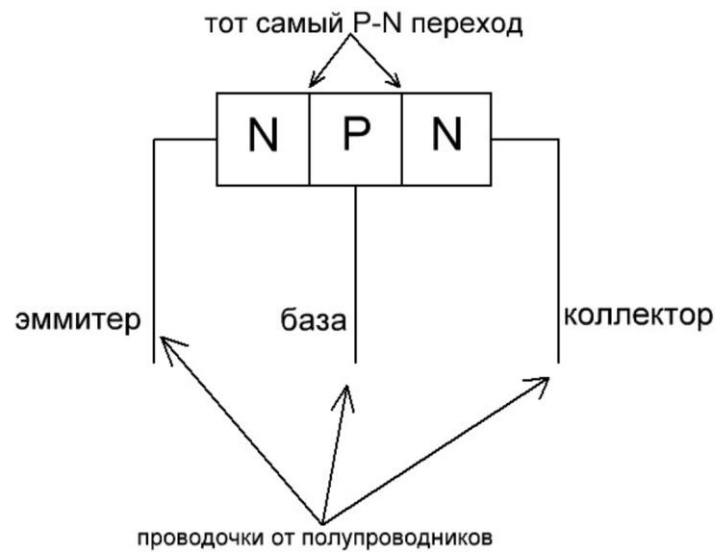
типа транзистор



Если читать слева-направо или справа-налево, из каких полупроводников он состоит, то можно узнать какой он *проводимости*. Значит, транзистор на рисуночке выше у нас **проводимости P-N-P**, или, как у нас говорят, **прямой проводимости**.

А вот у этого транзистора **проводимость N-P-N** или **обратная проводимость**.

типа транзистор

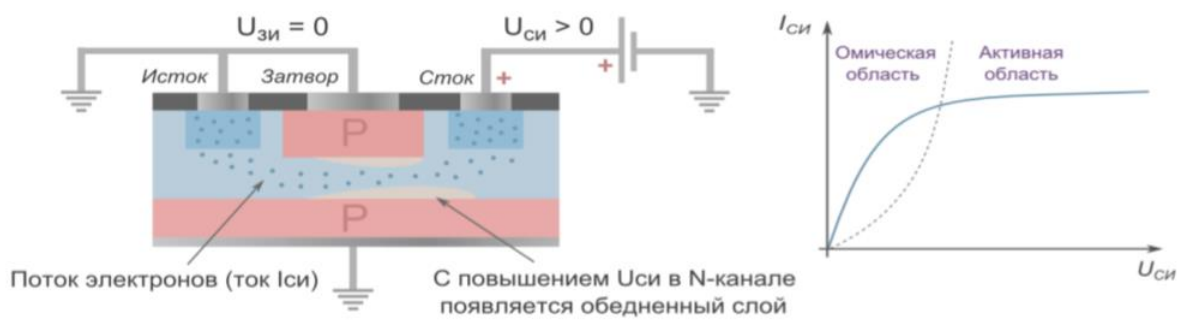


3.

надо

(с p-n-типа) для работы и какое на затвор MOSFET (n-MOП) относительно истока? Почему JFET проводит ток при нулевом напряжении на затворе, а n-MOS не проводит.

Какое
напряжение
подать на
затвор JFET
n-переходом

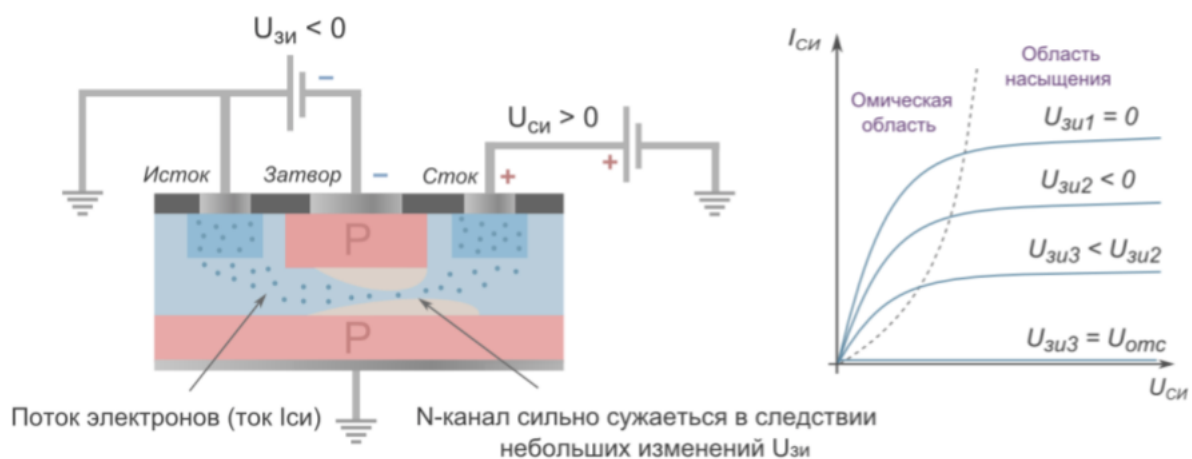


Работа полевого транзистора JFET при $U_{зи} = 0$

Это состояние называют режим насыщения.
Называется напряжением отсечки ($U_{отс}$).

Если подать на затвор положительное напряжение относительно истока $U_{зи}$, возникнет электрическое поле. Оно будет выталкивать положительные ионы (дырки) из зоны P в сторону подложки. В результате под затвором концентрация дырок начнет уменьшаться, и их место займут электроны, притягиваемые положительным напряжением на затворе. Когда $U_{зи}$ достигнет своего порогового значения, концентрация электронов в области затвора превысит концентрацию дырок. Между стоком и истоком сформируется тонкий канал с электропроводностью N-типа, по которому пойдет ток $I_{си}$. Чем выше напряжение на затворе транзистора $U_{зи}$, тем шире канал и, следовательно, больше сила тока. Такой режим работы полевого транзистора называется режимом обогащения.

Чем выше напряжение на затворе транзистора $U_{зи}$, тем шире канал и, следовательно, больше сила тока. Такой режим работы полевого транзистора называется режимом обогащения.



Работа полевого транзистора JFET при $U_{зи} < 0$

Подключим к транзистору напряжение между стоком и истоком $U_{си}$ любой полярности. Оставим затвор отключенным ($U_{зи} = 0$). В результате через канал пойдет ток $I_{си}$, представляющий собой поток электронов.

Далее, подключим к затвору отрицательное напряжение относительно истока. В канале возникнет поперечное электрическое поле, которое начнет выталкивать электроны из зоны канала в сторону подложки. Количество электронов в канале уменьшится, его сопротивление увеличится, и ток $I_{си}$

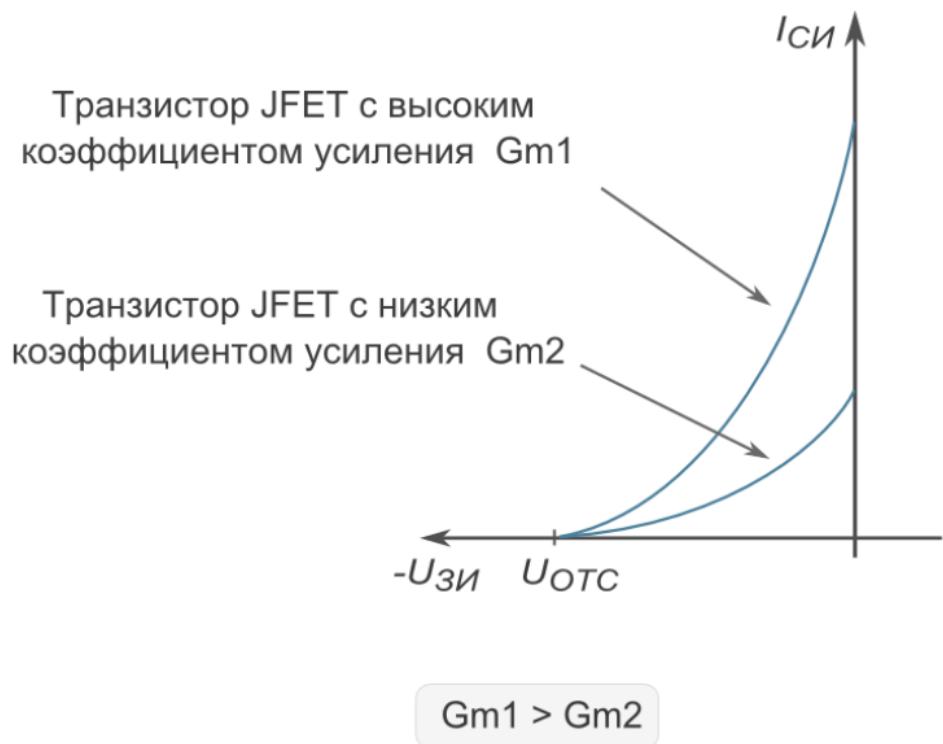
уменьшиться. При повышении отрицательного напряжения на затворе, уменьшается сила тока. Такое состояние работы транзистора называется режимом обеднения. N-mos транзисторы не открываются при напряжении на затворе равном 0.

Билет 5

1. Почему электроны n-p-n транзистора преодолевают обратносмещенный переход база-коллектор и достигают источника питания.

Теперь подключим напряжение между базой и эмиттером V_{BE} , превышающее напряжение открывания диода Э-Б. Под его действием переход откроется, дырки (их мало) направятся в эмиттер, электроны (их много больше) направятся к базе. Часть из них начнет заполнять находящиеся там дырки (рекомбинировать), образуя ток базы (дырки постоянно образуются источником $U_{БЭ}$). Однако большинство электронов направится в сторону коллектора, поскольку там напряжение намного выше, осуществляя переход через обратносмещенный переход в качестве неосновных носителей. Этому способствует очень маленькая толщина слоя базы. В итоге мы получаем два тока: маленький - от базы к эмиттеру I_{BE} , и большой - от коллектора к эмиттеру I_{CE} .

2. Нарисуйте приблизительно проходную (сток-затворную) характеристику JFET. Какая область является рабочей? К какому типу (обеднения или обогащения) относится режим управления каналом.



Зависимость тока от $I_{СИ}$ напряжения на затворе $U_{ЗИ}$
(сток-затворная характеристика)



Режим обеднения.

3. Какой каскад определяет шумы усилителя и почему. От чего зависит шум любого резистора?

В любой электрической схеме всегда присутствуют шумы. Они порождены неидеальностью компонентов схемы и физическими эффектами, которые обычно не принимаются в расчет при описании электрических процессов.

Основное назначение транзисторного каскада – усиливать сигнал. Однако через усилитель проходит не только сигнал, но и шумы.

Собственные шумы резисторов складываются из тепловых и токовых шумов. Тепловые шумы вызваны движением электронов в токопроводящем слое, из которого частично состоит резистор. Такие шумы увеличиваются с увеличением температуры нагрева резистора, и даже температуры окружающей среды.

При протекании через резистор тока возникают токовые шумы. Шумовое напряжение появляется из-за эффекта флуктуации контактных сопротивлений между проводниками, оно линейно зависит от приложенного напряжения.

Шумовые свойства резисторов характеризуются отношением действующего значения переменной составляющей напряжения шумов (мкВ) к приложенному напряжению (В): E_m/U

Билет 6

1. Каким соотношением связаны токи коллектора и базы? Как определяется полный ток коллектора БТ.

Найдем отношение тока коллектора к току базы:

$$\beta = \frac{I_K}{I_B} = \frac{\alpha I_E + I_{K0}}{I_E - I_K} = \frac{\alpha I_E + I_{K0}}{(1 - \alpha)I_E - I_{K0}} \approx \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

Полный коллекторный ток, определяемый движением всех носителей через коллекторный переход: $I_K = \alpha I_E + I_{K0}$. Из закона Кирхгофа для токов ($I_B = I_E - I_K$) следует, что $I_B = (1 - \alpha) I_E - I_{K0}$.

2. Приведите пример АЧХ и ФЧХ каскада БТ с ОЭ. Как определяется рабочая полоса частот? Как связана переходная характеристика в импульсном режиме и АЧХ?

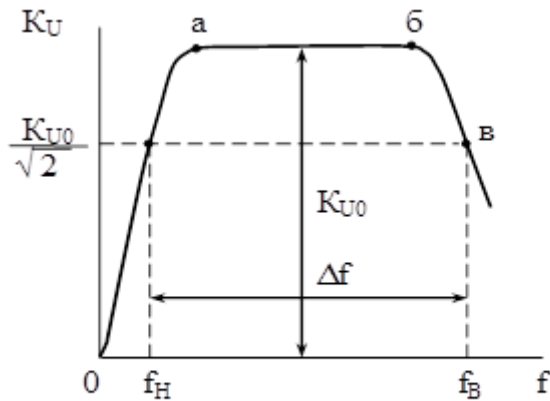
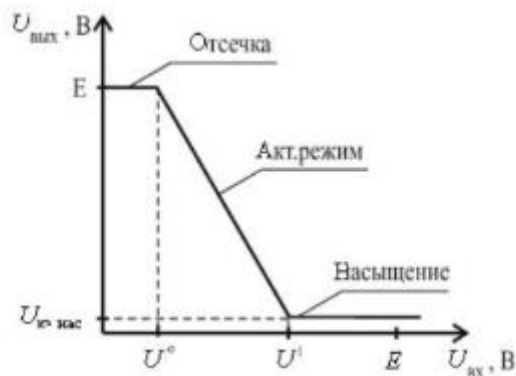


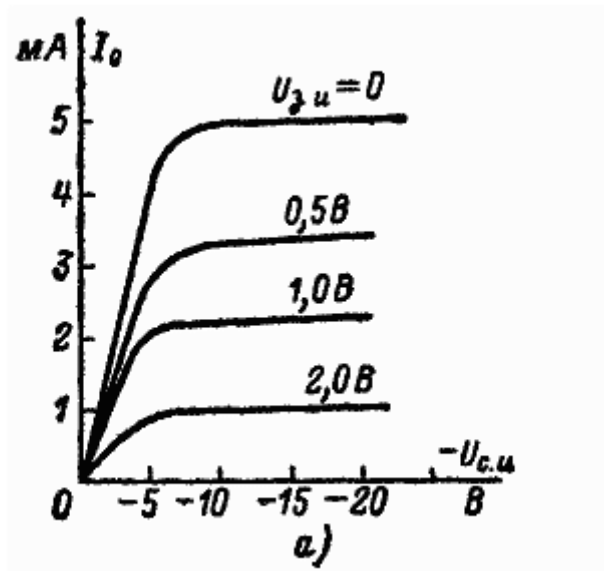
Рис.6.3. Амплитудно-частотная характеристика

Рабочая полоса частот — диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) БТ достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить **передачу** сигнала без существенного искажения его формы.

Основной статической характеристикой транзисторного ключа служит передаточная характеристика – зависимость его выходного напряжения от входного. Она приведена на рис. 4-2. Рабочими являются участки переходной характеристики, соответствующие отсечке и насыщению.



3. Нарисуйте приблизительно выходные ВАХ ПТ – в какой области ПТ имеет характеристики постоянного резистора и в какой транзистора (управляемое переменное сопротивление).



(для рисунка ниже) На выходной характеристике ПТ можно выделить две характерные области (рис. 4). При малых напряжениях сток - исток (область АВ) сопротивление канала имеет омический характер, и ток может протекать в обоих направлениях. В этом состоит отличие полевых транзисторов от электронных ламп, в которых поток электронов всегда имеет одно направление - от катода к аноду. Рабочая область АВ выходной характеристики ПТ используется в том случае, когда полевой транзистор применяется в схеме в качестве переменного сопротивления, управляемого напряжением (аттенюаторы, регуляторы АРУ).

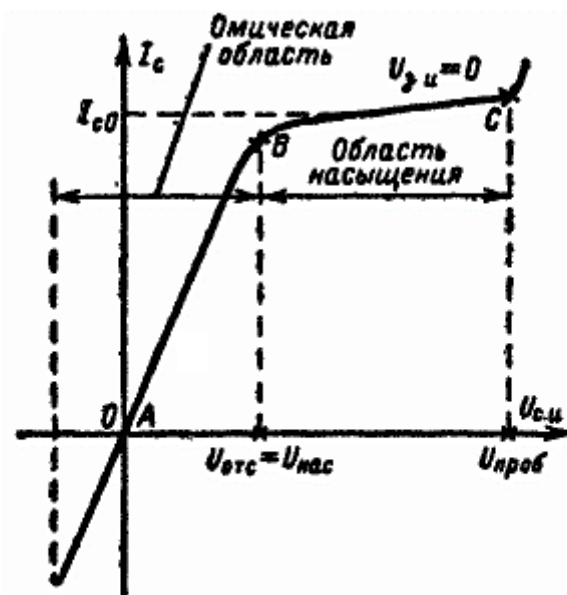


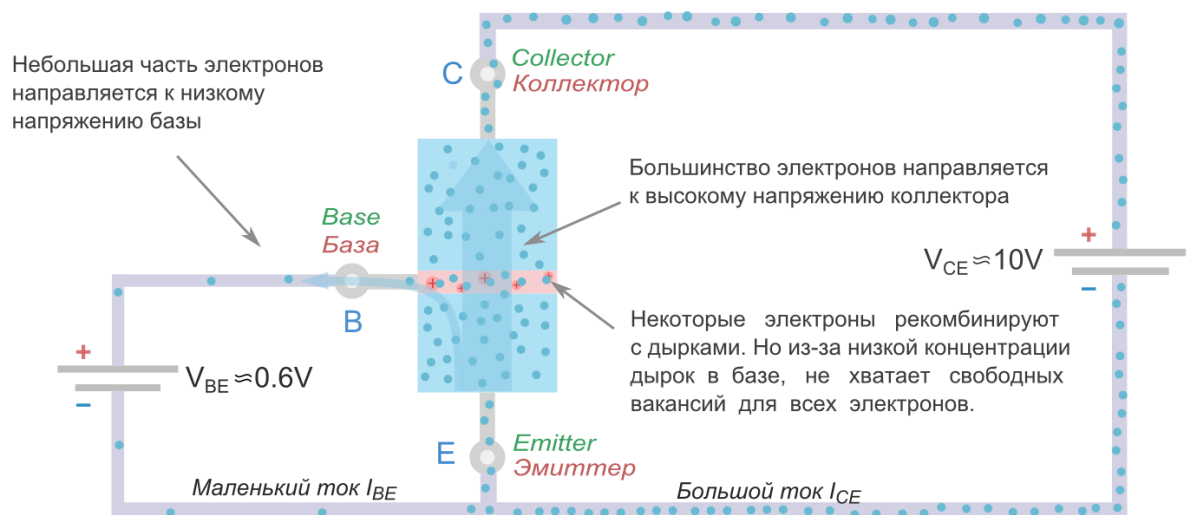
Рис. 4. Выходная характеристика ПТ при $U_{д.и}=0$

1. Что такое динамический диапазон усилителя. Во что превращается синусоида при ограничении (нарисовать).

Динамический диапазон УУ отношение $U_{\text{вх. max}}$ (при заданном уровне нелинейных искажений) к $U_{\text{вх. min}}$ (при заданном отношении сигнал/шум на входе). В зависимости от назначения УУ возможна оценка динамического диапазона по выходному сигналу, гармоническим и комбинационным составляющим и др.

$$D_{\text{вх}} = U_{\text{вх. max}} / U_{\text{вх. min}}$$
$$D_{\text{вх}}, \text{dB} = 20 \lg D_{\text{вх}}$$

2. Какое напряжение надо подать на базу БТ для создания управляющего тока, какое на затвор JFET и затвор MOSFET для управления током стока. Каковы управляющие токи этих транзисторов?



Подключение двух источников питания:

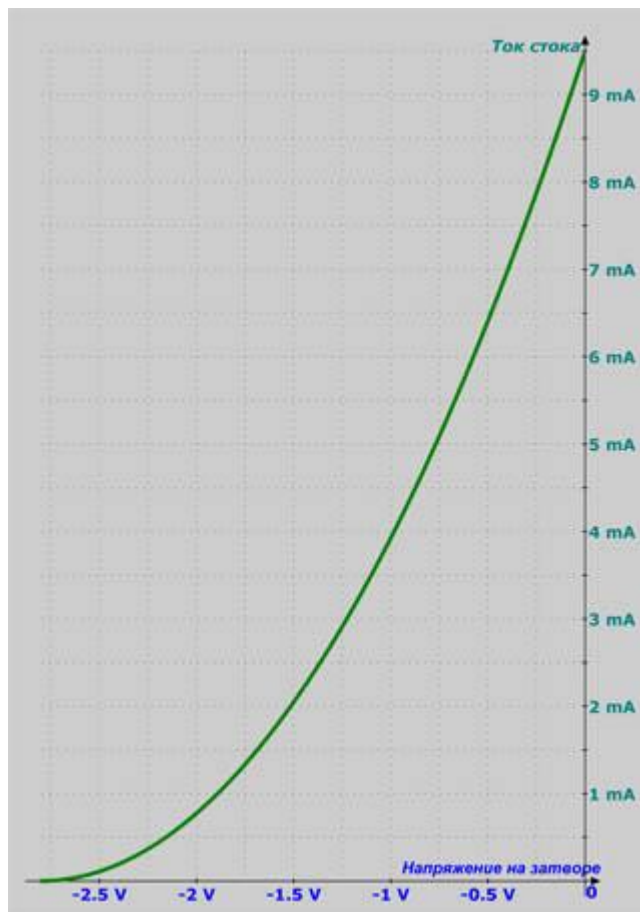
1. Низкой мощности между базой и эмиттером V_{BE}
2. Высокой мощности между коллектором и эмиттером V_{CE}

В итоге мы получаем два тока: маленький — от базы к эмиттеру I_{BE} , и большой — от коллектора к эмиттеру I_{CE} .

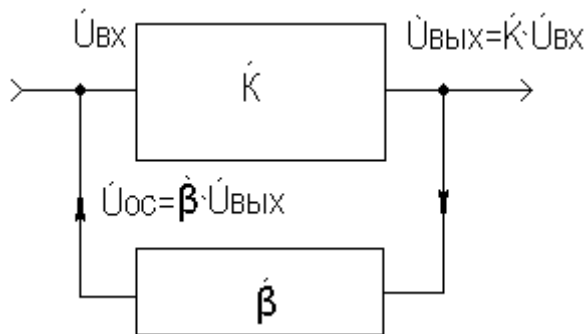
Основными статическими параметрами полевого транзистора с $p-n$ -переходом на затворе являются начальный ток стока и напряжение отсечки. Начальный ток стока полевого транзистора определяется как ток, протекающий через его канал при заданном постоянном напряжении сток-исток и равном нулю напряжении затвор-исток. В англоязычной технической документации этот параметр обозначают как I_{DSS} .

Напряжение отсечки — это такое пороговое значение напряжения затвор-исток, по достижении которого ток через канал полевого транзистора уже не изменяется и практически равен нулю. Его также измеряют при фиксированном значении напряжения сток-исток и в англоязычной документации обозначают как $V_{GS(off)}$ или реже как V_p .

Таким образом ток стока полевого транзистора с изменением напряжения на его затворе изменяется по квадратичному закону.



3. Нарисовать структуру усилителя с обратной связью и привести условия, при которых появляется генерация. Что такое баланс амплитуд и фаз?



Для получения ООС в УУ необходимо, чтобы суммарный фазовый сдвиг ϕ , вносимый усилителем и цепью ОС, был равен 180° во всем диапазоне рабочих частот. В многокаскадном усилителе это требование обычно выполняется, строго говоря, только на одной частоте. На остальных частотах, особенно на границах и за пределами полосы рабочих частот АЧХ, $\phi \neq 180^\circ$. Это происходит за счет дополнительных фазовых сдвигов, вносимых реактивными элементами схемы усилителя, причем эти сдвиги будут тем больше, чем большее число каскадов охвачено общей цепью ООС. При дополнительном фазовом сдвиге 180° , $\phi = 360^\circ$ (баланс фаз), ООС превратится в ПОС, и, если $\beta K \gg 1$ (баланс амплитуд), усилитель превратится в генератор.

Билет 8

1. Каковы аналогии режима отсечки и насыщения БТ с работой механического ключа. Чем отличаются характеристики транзисторного ключа от механического.

Зона, расположенная между осью абсцисс и начальной выходной характеристикой, соответствующей $I_b=0$, называется зоной отсечки и характеризуется тем, что оба перехода транзистора - эмиттерный и коллекторный смещены в обратном направлении. Коллекторный ток при этом представляет собой обратный ток коллекторного перехода - I_{K0} , который очень мал и поэтому почти все напряжение источника питания E_K падает между эмиттером и коллектором закрытого транзистора: $U_{Kэ} \approx E_K$. А падение напряжения на нагрузке очень мало и равно: $U_{Rk} = I_{K0}R_k$

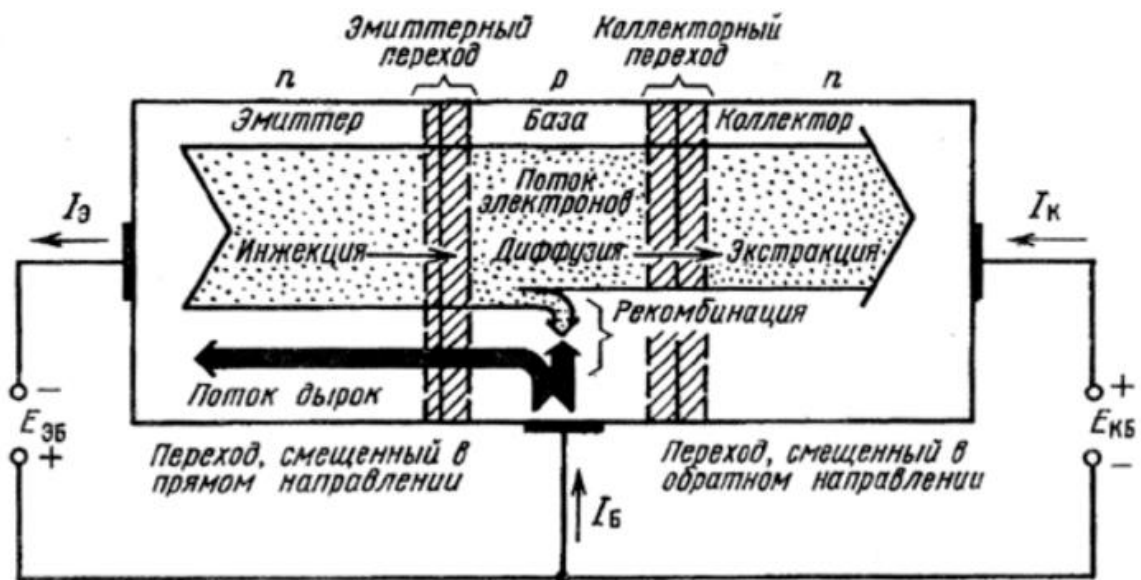
Говорят, что в этом случае транзистор работает в режиме отсечки. Поскольку в этом режиме ток, протекающий по нагрузке исчезающе мал, а почти все напряжение источника питания приложено к закрытому транзистору, то в этом режиме транзистор можно представить в виде разомкнутого ключа

Ключи включают и выключают управляемый объект. Выключатель это ключ. Механические ключи обладают малой скоростью срабатывания и дребезгом контактов. Поэтому они заменяются электронными ключами, например транзисторными.

2. Нарисовать распределение основных токов в n-p-n БТ. Какими соотношениями эти токи связаны, какие напряжения надо создать на электродах для возникновения токов.

подключим напряжение между базой и эмиттером V_{BE} , превышающее напряжение открывания диода Э-Б, (для кремниевых транзисторов минимальное необходимое $V_{BE} = 0.7V$). Под его действием переход откроется, дырки (их мало) направятся в эмиттер, электроны (их много больше) направятся к базе. Часть из них начнет заполнять находящиеся там дырки (рекомбинировать), образуя ток базы (дырки постоянно образуются источником $U_{Bэ}$). Однако большинство электронов направится в сторону коллектора, поскольку там напряжение намного выше, осуществляя переход через обратносмещенный переход в качестве неосновных носителей. Этому способствует очень маленькая толщина слоя базы. В итоге мы получаем два тока: маленький - от базы к эмиттеру I_{BE} , и большой - от коллектора к эмиттеру I_{CE} .

Если увеличить напряжение на базе, то в прослойке P соберется еще больше электронов. В результате немного усилится ток базы, и значительно усилится ток коллектора - при небольшом изменении тока базы I_B , сильно меняется ток коллектора I_C — процесс усиления сигнала в биполярном транзисторе.



3. Какие существуют схемы включения транзисторов, как определяется заземление электрода, какие схемы имеют максимальный коэффициент усиления по мощности?

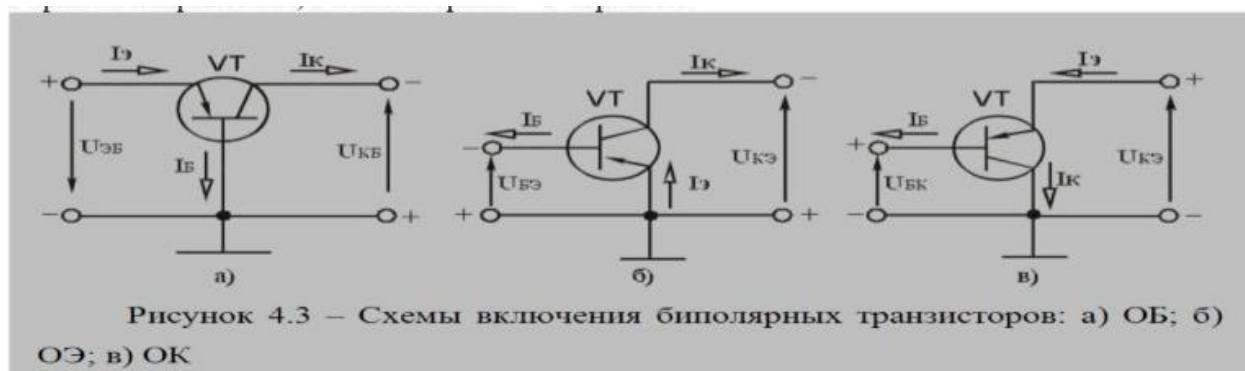


Схема с ОЭ обладает высоким усилением как по напряжению, так и по току, у нее самое большое усиление по мощности. Схема изменяет фазу выходного напряжения на 180° .

Билет 9

1. Какой класс усиления используют для получения минимальных искажений и максимального усиления. Что означает режим D?

Класс усиления АВ Данный класс усиления является промежуточным между классами А и В. В этом случае транзистор также переключается между режимом отсечки и активным режимом, но преобладающим является все-таки именно активный режим. Незначительное понижение КПД усилительного каскада в классе АВ компенсируется существенным уменьшением нелинейных искажений при усилении одного из полупериодов входного сигнала. Схемы усилителей мощности строятся так, что участок со значительными нелинейностями, когда транзистор переходит из режима отсечки в активный режим и наоборот, просто не оказывает влияния на выходной сигнал.

Класс усиления D. Предназначен для обозначения ключевого режима работы, при котором биполярный транзистор может находиться только в двух устойчивых состояниях: или полностью открытым (режим насыщения), или полностью закрытым (режим отсечки).

2. Какие напряжения и токи базы и коллектора БТ, затвора и стока ПТ свойственны режиму отсечки и режиму насыщения.

Когда напряжение база-эмиттер ниже, чем 0.5V - 0.6V (для кремния), P-N-переход между базой и эмиттером закрыт. В таком состоянии у транзистора отсутствует ток базы. В результате тока коллектора тоже не будет, поскольку в базе нет свободных электронов, готовых двигаться в сторону напряжения на коллекторе. Транзистор заперт, и находится в режиме отсечки.

Иногда ток базы может оказаться слишком большим. Ток коллектора будет максимальным, который может обеспечить источник питания, и не будет зависеть от тока базы. В таком состоянии транзистор не способен усиливать сигнал, поскольку ток коллектора не реагирует на изменения тока базы.

В режиме насыщения проводимость транзистора максимальна, и он подходит для функции переключателя (ключа) в состоянии «включен». Аналогично, в режиме отсечки проводимость транзистора минимальна, и это соответствует переключателю в состоянии «выключен».

Напряжение на затворе $U_{зи} = 0$ Подключим источник положительного напряжения к стоку, землю к истоку, затвор подсоединим к земле ($U_{зи} = 0$). Начнем постепенно повышать напряжение на стоке $U_{си}$. Пока $U_{си}$ низкое, ширина канала максимальна, полевой транзистор ведет себя как обычный проводник: чем больше напряжение между стоком и истоком $U_{си}$, тем больше ток через канал $I_{си}$. Это состояние еще называют омическая область.

При повышении $U_{си}$, в полупроводнике N-типа в зонах PN-перехода постепенно снижается количество свободных электронов – появляется обедненный слой. Этот слой растет несимметрично – больше со стороны стока, поскольку туда подключен источник напряжения. В результате канал сужается настолько, что при дальнейшем повышении $U_{си}$, $I_{си}$ будет расти очень незначительно. Это состояние называют режим насыщения.

Когда транзистор находится в режиме насыщения, канал относительно узкий. Достаточно подать небольшое отрицательное напряжение на затвор $U_{зи}$, для того чтобы еще сильнее сузить канал и значительно уменьшить ток $I_{си}$, пока ток $I_{си}$ не прекратится (для транзистора с P-каналом на затвор подается положительное напряжение). Значение $U_{зи}$, при котором ток $I_{си}$ останавливается, называется напряжением отсечки ($U_{отс}$).

3. Что такое дрейф нуля УПТ? Какие меры принимаются для снижения дрейфа нуля в ОУ.

Дрейфом нуля называется самопроизвольное отклонение напряжения или тока на выходе усилителя от начального значения. Этот эффект наблюдается и при отсутствии сигнала на входе. Поскольку дрейф нуля проявляется таким образом, как будто он вызван входным сигналом УПТ, то его невозможно отличить от истинного сигнала.

К физическим причинам, вызывающим дрейф нуля в УПТ, относятся:

- ◆ нестабильность источников питания;
- ◆ временная нестабильность ("старение") параметров транзисторов и резисторов;

- ◆ температурная нестабильность параметров транзисторов и резисторов;
- ◆ низкочастотные шумы, помехи и наводки.

Для стабилизации выходного напряжения, обеспечения условия $U_{\text{вых}} = 0$ при $U_{\text{вх}} = 0$ питание каскадов усилителя осуществляется от двух разнополярных источников напряжения, а для учета влияния температуры используют термокомпенсацию.

Билет 10

1 Как сформировать нагрузочную характеристику биполярного транзистора и выбрать рабочую точку в линейном режиме. Каким соотношением связаны токи входной и выходной ВАХ (в первом приближении).

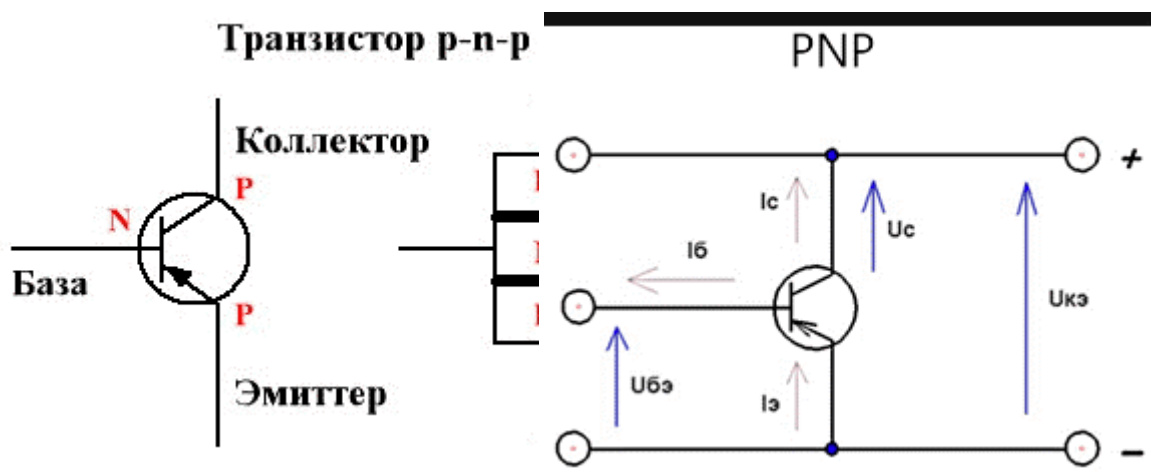
При работе транзистора с коллекторной нагрузкой R_k связь между I_k и напряжением на коллекторе U_k выражается уравнением нагрузочной характеристики: $I_k = (E_k - U_k) / R_k$. Экспериментально нагрузочную характеристику снимают посредством регулировки тока базы I_B .

Работу схемы обычно описывают с помощью входных и выходных характеристик транзистора в той или иной схеме включения. Для схемы с ОЭ входная характеристика – это зависимость входного тока от напряжения на входе схемы, т.е. $I_B = f(U_{БЭ})$ при фиксированных значениях напряжения коллектор – эмиттер ($U_{кэ} = \text{const}$).

Выходные характеристики – это зависимости выходного тока, т.е. тока коллектора, от падения напряжения между коллектором и эмиттером транзистора $I_k = f(U_{кэ})$ при токе базы $I_B = \text{const}$.

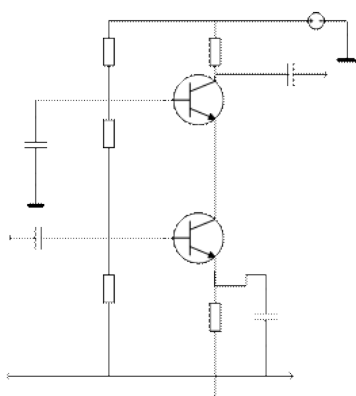
2 Почему входные ВАХ диода и БТ совпадают. Нарисуйте напряжения на электродах р-н-р БТ в открытом состоянии и направления токов.

Поскольку и там и там происходит быстрый рост прямого тока через устройство с увеличением прямого напряжения.

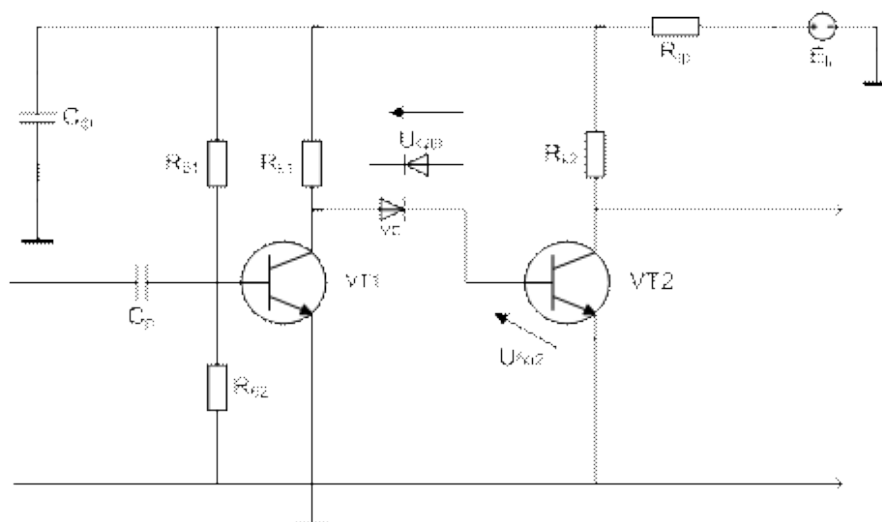


3 Нарисовать типы связей между каскадами в усилителях и перечислить кратко их достоинства и недостатки.

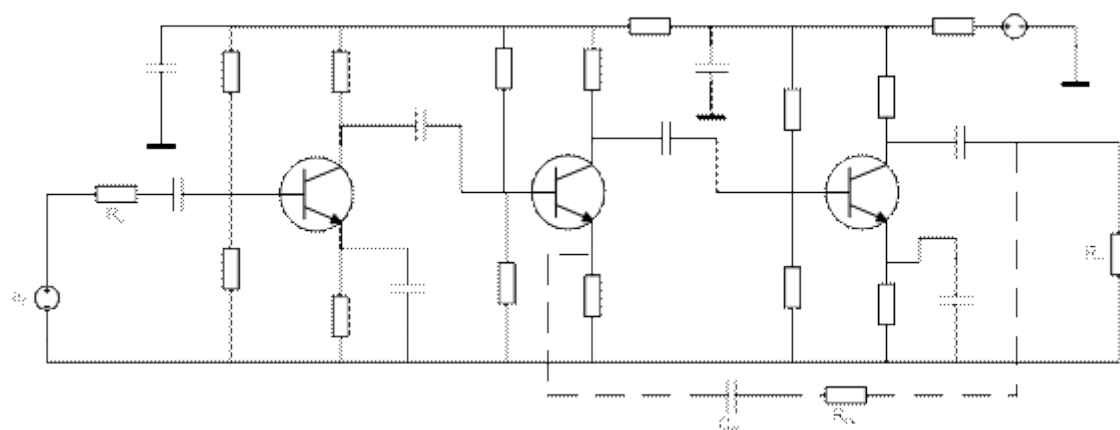
непосредственная связь;



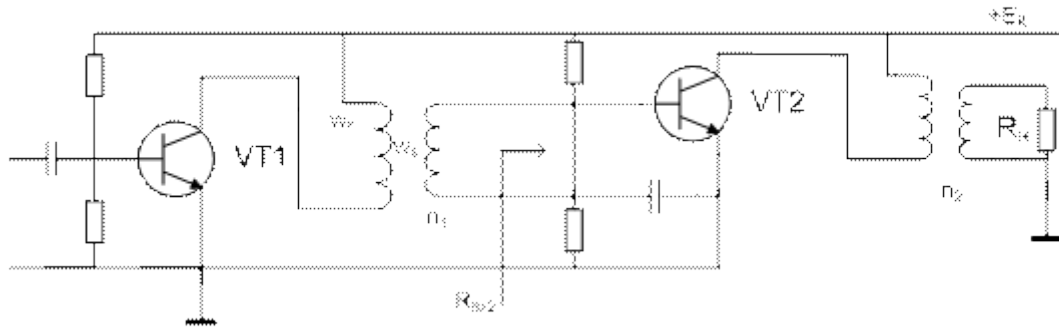
- гальваническая связь;



- емкостная связь;



- трансформаторная связь;



- оптронная связь.

Достоинствами многокаскадных усилителей с непосредственными связями являются:

- простота схем;
- отсутствие низкочастотных искажений вследствие отсутствия разделительных конденсаторов между каскадами;
- возможность стабилизации статического режима с помощью межкаскадных ООС.

Недостатки:

- сложность расчета и настройки из-за невозможности разделить усилитель на отдельные каскады;
- в схемах с параллельным питанием (рис. 7.1) для обеспечения нужной величины $U_{бэ2а}$ (десятичные доли вольта) необходимо обеспечивать небольшое значение $U_{кэ1а}$, либо использовать большие величины $R_{э2}$. Первое ограничивает динамический диапазон усилителя и снижает коэффициент усиления, второе сильно снижает коэффициент усиления по напряжению.

Трансформаторная связь между каскадами позволяет оптимизировать величину нагрузки усилительного элемента предыдущего каскада и получить от него выходной сигнал максимальной мощности (

К недостаткам трансформаторной межкаскадной связи относятся:

- большие размеры трансформаторов;
- частотные искажения сигнала.

При емкостной связи между каскадами в цепь связи включается разделительный конденсатор, пропускающий только переменный сигнал с выхода предыдущего каскада на вход последующего. Постоянное смещение, задающее положение рабочей точки, обеспечивается отдельно в каждом каскаде (рис. 7.6, 7.7). Емкостная связь используется обычно в усилителях, выполненных на дискретных элементах. Наличие разделительных конденсаторов приводит к искажениям низкочастотных сигналов.

В усилителях с гальваническими межкаскадными связями постоянный потенциал на входе последующего каскада отличается от постоянного потенциала на выходе предыдущего на величину $U_{сдв}$. На прохождение переменного сигнала схема сдвига уровня влиять не должна (рис.7.3).

Билет 11

1. Чем отличаются JFET и MOSFET с точки зрения управления током стока. Приведите пример подачи смещения на затвор в каскадах на основе ПТ JFET и MOSFET.

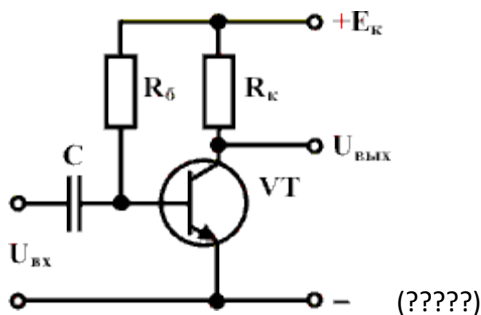
Электроды полевого транзистора называются:

- исток — электрод, из которого в канал входят основные носители заряда;
- сток — электрод, через который из канала уходят основные носители заряда;
- затвор — электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала.

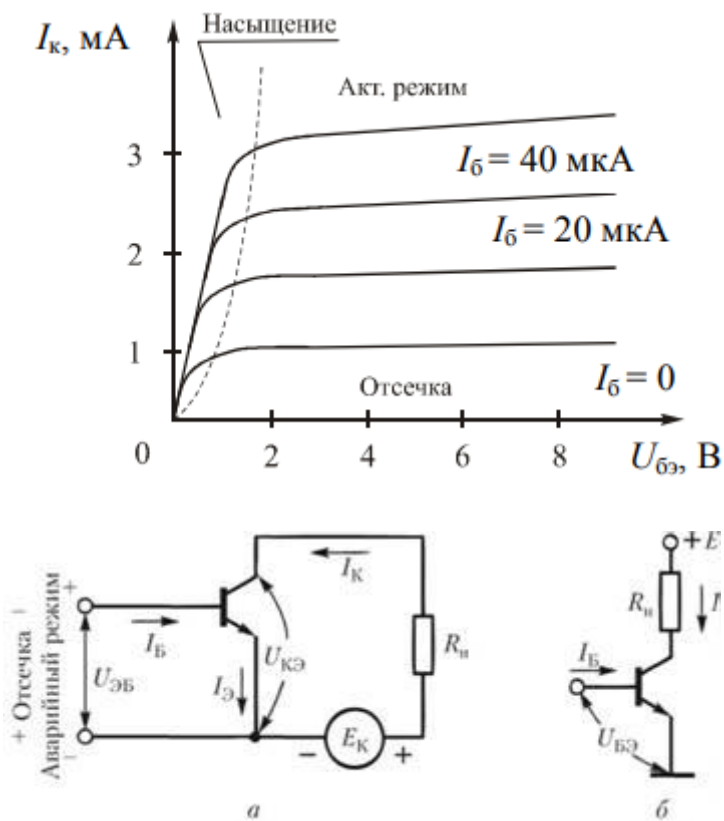
Полевой транзистор с управляющим р-п-переходом (JFET) — это полевой транзистор, в котором пластина из полупроводника имеет на противоположных концах электроды (исток и сток), с помощью которых она включена в управляемую цепь. Управляющая цепь подключается к третьему электроду (затвору) и образуется областью с другим типом проводимости.

Полевой транзистор с изолированным затвором (MOSFET) — это полевой транзистор, затвор которого электрически изолирован от канала слоем диэлектрика.

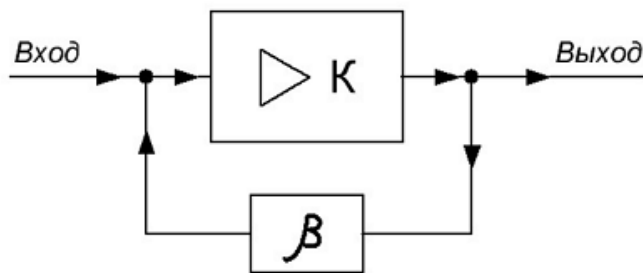
И те и другие могут быть n-канальными и p-канальными, к затвору первых нужно прикладывать положительное управляющее напряжение для открытия ключа, а для вторых — отрицательное относительно истока.



2. Укажите на ВАХ области режимов насыщения, активного и отсечки и предельной мощности БТ. Какие токи и напряжения на базе и коллекторе соответствуют этим режимам (схема ОЭ).



3. Привести схему усилителя с обратной связью и записать общий коэффициент усиления. Чем отличаются ПОС и ООС. Какая связь используется в операционных усилителях и какие особенности ОУ она обеспечивает.



Структурная схема усилителя с обратной связью.

Основные показатели усилителей:

- Коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$$

- Коэффициент усиления по току

$$K_I = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}$$

- Коэффициент усиления по мощности

$$K_P = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = K_U \cdot K_I$$

Положительная обратная связи, представляет собой такой тип, при котором изменение выходного сигнала системы приводит к такому изменению входного сигнала, которое способствует дальнейшему отклонению выходного сигнала от первоначального значения, а в случае отрицательной обратной связи происходит полностью обратный процесс.

В операционных усилителях почти всегда используется ООС, которая, благодаря высокому коэффициенту усиления ОУ, полностью определяет коэффициент усиления/передачи полученной схемы.

Билет 12

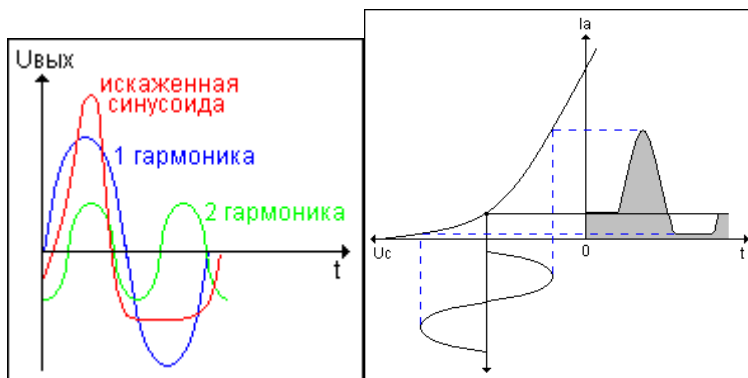
1. Какие искажения претерпевает гармонический сигнал при прохождении через усилитель. Чем определяются эти искажения и как рассчитываются. Нарисовать искаженную вследствие ограничения синусоиду.

Нелинейные искажения (искажения формы выходного сигнала) вызываются нелинейностью характеристик усилительных элементов. Количественно нелинейные искажения гармонического сигнала оцениваются коэффициентом гармоник K_g , который представляет собой отношение действующего значения напряжения (тока, мощности) высших гармоник, появившихся в результате нелинейных искажений, к напряжению (току, мощности) основной частоты (первой гармоники) при частотно-независимой нагрузке:

$$K_g = \sqrt{(U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2)} / U_1 =$$

$$= \sqrt{(I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2)} / I_1 =$$

$$\sqrt{(P_2 + P_3 + \dots + P_n)} / P_1.$$

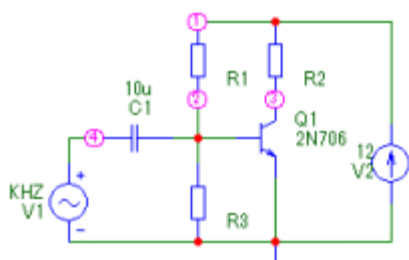
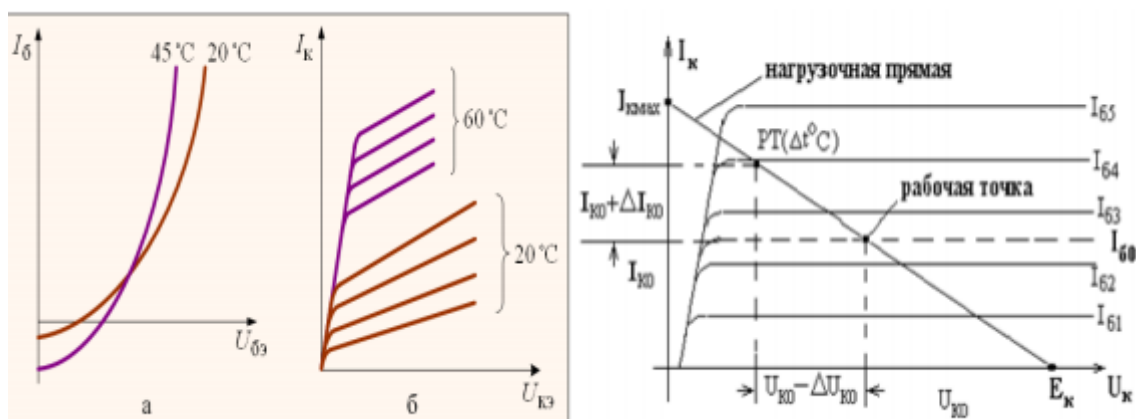


2. Как приблизительно рассчитать коллекторное и базовое сопротивления в каскаде БТ с ОЭ, если известна выходная ВАХ. Нарисовать схему каскада ОЭ с токовой стабилизацией. Определить по входной ВАХ напряжение, которое установится на базе транзистора.

Наличие ВАХ позволяет рассчитать схему включения транзистора. R_K – резистор, включенный в коллекторную цепь транзистора VT. R_B – резистор, включенный в цепь базы, задаст положение рабочей точки биполярного транзистора (по току), обеспечивая требуемую работу транзистора в режиме покоя (в отсутствие входного сигнала). $C_{1,2}$ – конденсаторы, предохраняющие ток базы и коллектора от нарушения режимов работы по постоянному току.

Для усиления в режиме А простейшей является схема установки параметров транзистора фиксированным током базы (рис.2-9). Сопротивление коллектора определяется по закону Кирхгофа, $R_K = (E_K - U_{PT}) / I_K$, где U_{PT} и I_K – параметры выбранной рабочей точки. Сопротивление R_B в цепи базы определяется выражением $R_B = (E_K - U_{БЭ}) / I_{БЭ}$, где ток $I_{БЭ}$ определяется по входной статической характеристике транзистора, исходя из требуемого положения рабочей точки. Зная коэффициент усиления транзистора, ток базы можно в первом приближении определить из тока коллектора: $I_Б = I_K / \beta$. Напряжение $U_{БЭ}$ известно из входной характеристики. Для кремния это примерно 0,75 В. Линейный режим усиления ограничен допустимой амплитудой сигнала в рабочей точке.

В связи с тем, что транзисторы являются полупроводниковыми приборами, в кото количество носителей тока (электронов и дырок) зависит от температуры, возникает необходимость стабилизации их токов и напряжений в режиме покоя. Наибольшее влияние оказывает на режим работы транзистора температурная зависимость обратного тока базы. Изменение тока базы $I_{0Б}$ в интервале температур $t^\circ C$ приводит к изменению тока коллектора в β раз, т.е. $I_{k0} = I_{0Б} \beta$.



3. Нарисовать результат воздействия прямоугольного импульса на дифференцирующую и интегрирующую цепочки.

ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ

Рассмотрим схему, показанную на рис. 2.9. Напряжение на конденсаторе C в любой момент времени может быть определено по второму закону Кирхгофа:

$$U_c = U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}, \text{ поэтому} \\ I_c = C \cdot \frac{d(U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}})}{dt} = \frac{U_{\text{вых}}}{R}$$

Если резистор и конденсатор выбрать так, чтобы сопротивление R и емкость C были достаточно малыми и выполнялось условие

$$\frac{dU_{\text{вых}}}{dt} \ll \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}$$

то $C \cdot \frac{dU_{\text{вх}}}{dt} = \frac{U_{\text{вых}}}{R}$ или

$$U_{\text{вых}}(t) = R \cdot C \cdot \frac{dU_{\text{вх}}(t)}{dt}$$

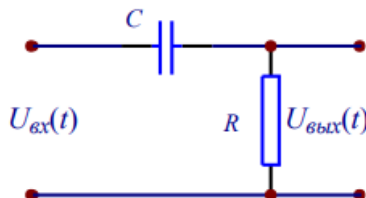


Рис. 2.9

Таким образом, мы получили, что выходное напряжение пропорционально скорости изменения входного сигнала.

Для того, чтобы выполнялось условие $\frac{dU_{\text{вых}}}{dt} \ll \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}$, произведение $R \cdot C$ должно быть небольшим, но при этом сопротивление R не должно быть слишком маленьким, чтобы не перегружать источник сигнала. Дифференцирующие цепи удобно использовать для выделения фронта и среза импульсных сигналов.

ИНТЕГРИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ

Рассмотрим схему, показанную на рис. 2.10. Напряжение на резисторе R на основании второго закона Кирхгофа равно $U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}$, следовательно:

$$I_c = C \cdot \frac{dU_{\text{вх}}}{dt} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}}{R}$$

Если обеспечить выполнение условия $\frac{dU_{\text{вых}}}{dt} \ll \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}$ за счет большого значения произведения $R \cdot C$, то получим:

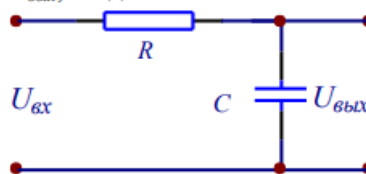


Рис. 2.10

$$C \cdot \frac{dU_{\text{вых}}}{dt} = \frac{U_{\text{вх}}}{R}, \text{ или } U_{\text{вых}}(t) = \frac{1}{R \cdot C} \cdot \int_0^t U_{\text{вх}}(t) dt + \text{const}$$

Билет 13

1. Как приблизительно рассчитать коллекторное сопротивление и делитель в каскаде БТ с ОЭ, если известна выходная и входная ВАХ. Нарисовать схему каскада ОЭ с стабилизацией режима напряжения на базе. Определить по входной ВАХ ток, который установится в базе транзистора.

В данной схеме формируется напряжение на базе транзистора VT1 делителем напряжений на резисторах R_1 и R_2 . Через указанные резисторы протекают токи делителя I_1 и I_2 . Для данной схемы справедливы выражения $E_K = R_1 I_1 + R_2 I_2$ и $U_{БЭ} = R_2 I_2$, из которых

горный Практикум по курсу Электроника Усилители [Оглавление](#)

Загидуллин Р.И

15

определяются сопротивления делителя: $R_1 = (E_K - U_{БЭ})/I_1$ и $R_2 = U_{БЭ}/I_2$. Исходя из соотношения величин E_K и $U_{БЭ}$, следует, что R_1 всегда значительно больше R_2 .

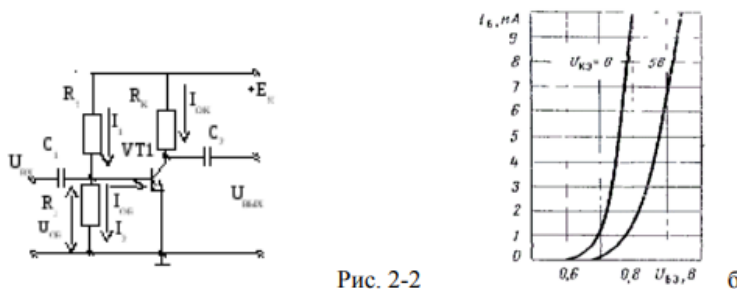


Рис. 2-2

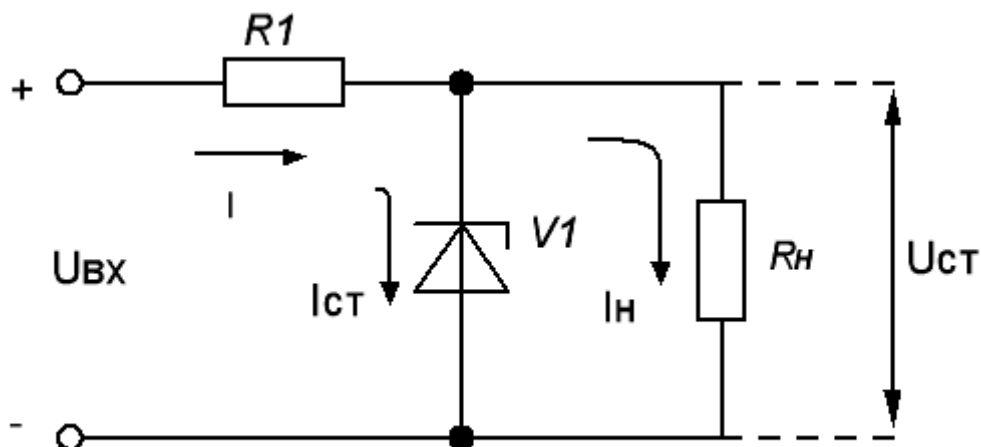


Рис.3

2. Как можно сформировать отрицательное смещение на затворе ПТ относительно истока (JFET), если имеется один однополярный источник питания?
3. Перечислить условия генерации в виде баланса фаз и амплитуд. Какие требования предъявляются к цепи обратной связи транзисторного генератора, если транзистор в схеме ОЭ изменяет фазу на 180 град.

Условие возникновения колебаний распадается на два условия, которые принято называть **условиями баланса амплитуд и фаз**:

$$\begin{cases} |K\beta| = 1 \\ \varphi + \phi = 2\pi n \end{cases}$$

где φ - сдвиг по фазе для усилителя; ϕ - сдвиг по фазе для цепи обратной связи.
Выражение $|K\beta| = 1$ называют условием **баланса амплитуд**, а выражение $\varphi + \phi = 2\pi n$ - условием **баланса фаз**.

Если усилитель или цепь обратной связи вносит фазовый сдвиг, равный 180° , то входной сигнал и сигнал обратной связи вычитаются друг из друга:

$$U_1 = U_{вх} - U_{ос}$$

а ОС становится отрицательной.

Коэффициент усиления усилителя с обратной связью

$$K_{ос} = \frac{K}{1+K\gamma} \quad (3)$$

Поскольку положительная обратная связь ухудшает характеристики усилителя, в усилителях измерительных устройств в основном используют отрицательную обратную связь.

Применение отрицательной обратной связи обеспечивает повышение стабильности коэффициента усиления при смене активных компонентов, изменений напряжений питания и т. д.; расширение полосы пропускания усилителя; уменьшение фазового сдвига между выходными входными напряжениями; снижение уровня нелинейных искажений и собственных помех, возникающих в той части усилителя, которая охвачена отрицательной ОС.

Билет 14

1. Что такое дрейф нуля УПТ? Какие меры принимаются для снижения дрейфа нуля в ОУ.

Дрейфом нуля (нулевого уровня) называется самопроизвольное отклонение напряжения или тока на выходе УПТ от начального значения. Поскольку дрейф нуля наблюдается и при отсутствии сигнала на входе на входе УПТ, то его невозможно отличить от истинного сигнала. К физическим причинам, вызывающим дрейф нуля в УПТ, относятся:

- ◆ нестабильность источников питания;
- ◆ временная нестабильность ("старение") параметров транзисторов и резисторов;
- ◆ температурная нестабильность параметров транзисторов и резисторов;
- ◆ низкочастотные шумы, помехи и наводки.

Наибольшую нестабильность вносит **температурный фактор**. Гальваническая связь между каскадами хорошо передает медленные изменения сигнала, что приводит к эффекту каскадирования (умножению) температурных нестабильностей от входа к выходу. Изменение температуры приводит к изменению напряжения на р - n переходе на 2 мВ/град. Это приводит к появлению выходного напряжения в соответствии с $U_{\text{вых}} = K \cdot U_{\text{вх}}$. Наибольшее влияние на изменение характеристик усилителя оказывает изменение режима первого каскада усиления, который обычно и обеспечивает усиление сигнала по напряжению.

Для стабилизации выходного напряжения, обеспечения условия $U_{\text{вых}} = 0$ при $U_{\text{вх}} = 0$ питание каскадов усилителя осуществляется от двух разнополярных источников напряжения, а для учета влияния температуры используют термокомпенсацию.

С целью снижения дрейфа нуля в УПТ могут быть использованы следующие способы:

- ▶ применение глубоких ООС,
- ▶ использование термокомпенсирующих элементов,
- ▶ преобразование постоянного тока в переменный и усиление переменного тока с последующим выпрямлением,
- ▶ построение усилителя по балансной схеме и др.

2. Нарисуйте схему простейшего транзисторного ключа на БТ и ПТ. Какие токи и напряжения надо создать на входе, чтобы на выходе получить замкнутое или разомкнутое состояние ключа. Чем отличается ключ на ПТ с точки зрения энергетики?

Транзистор должен входить в режим насыщения, когда входное напряжение превышает напряжение логической единицы $U_{\text{вх}}^1$. Для ключей на биполярных транзисторах $U_{\text{вх}}^1 \approx 1.5 \text{ В}$

Основной статической характеристикой **транзисторного ключа** служит **передаточная характеристика** – зависимость его выходного напряжения от входного. Она приведена на рис. 4-2. Рабочими являются участки переходной характеристики, соответствующие отсечке и насыщению.

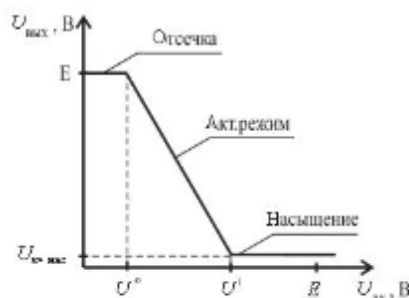


Рис. 4-2 Передаточная характеристика ключа

Транзистор в режиме отсечки можно представить в виде разомкнутого ключа, все напряжение источника питания падает между его эмиттером и коллектором, а ток коллектора I_k близок к нулю. Входное напряжение $U_{вх}$ приложено к эмиттерному переходу транзистора в запирающем направлении.

В режиме насыщения во входной цепи транзистора протекает достаточно большой ток базы, при котором ток коллектора достигает максимального значения $I_{кнас}$, близкого к $I_{кмах}$ – максимальному току в цепи источника питания. При этом напряжение $U_{кэ}$ транзистора имеет минимальное значение, близкое к нулю, что позволяет представить транзистор в виде замкнутого ключа

В аналоговых ключах обычно используют транзисторы с управляющим р-п-переходом или МДП-транзисторы с индуцированным каналом. В цифровых ключах обычно используют МДП-транзисторы с индуцированным каналом. В последнее время полевые транзисторы все чаще используют в силовой импульсной электронике. Ключи на полевых транзисторах отличаются малым остаточным напряжением. Они могут коммутировать слабые сигналы (в единицы микровольт и меньше). Это следствие того, что выходные характеристики полевых транзисторов проходят через начало координат.

3. Каковы основные параметры ОУ, каковы реальные коэффициенты усиления, нарисуйте упрощенное обозначение ОУ в схемах.

Основные параметры операционных усилителей

1. K – собственный коэффициент усиления ОУ (без обратной связи, 10^6).
2. $U_{сдв}$ - выходное напряжение сдвига. Небольшое напряжение, возникающее из-за несимметрии плеч ОУ при нулевом напряжении на обоих входах. Обычно $U_{сдв}$ имеет значение 10 - 100 мВ.
3. $I_{см}$ - входной ток смещения. Ток на входах усилителя, необходимый для работы входного каскада операционного усилителя.
4. $I_{сдв}$ - входной ток сдвига. Разность токов смещения появляется вследствие неточного согласования входных транзисторов. $I_{сдв} = I_{см1} - I_{см2}$.
5. $R_{вх}$ - входное сопротивление. Как правило, $R_{вх}$ имеет значение до 1-10 мегаом.
6. $R_{вых}$ - выходное сопротивление. Обычно $R_{вых}$ не превосходит сотен Ом.
7. $K_{осс}$ - коэффициент ослабления синфазного сигнала. Характеризует способность ослаблять сигналы, приложенные к обоим входам одновременно – до 100000
8. Ток потребления. Ток покоя, потребляемый операционным усилителем (мА).
9. Потребляемая мощность (рассеиваемая, мВт)
10. Максимальная скорость нарастания выходного напряжения (В/мкс) .
11. $U_{пит}$ - Напряжение питания – двухполярное.
12. Переходная характеристика. Сигнал на выходе усилителя при подаче на его вход скачка напряжения.

Обозначения

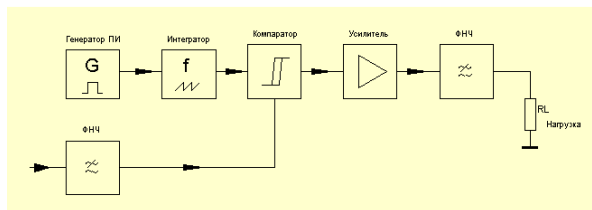


Обозначение операционного усилителя на схемах

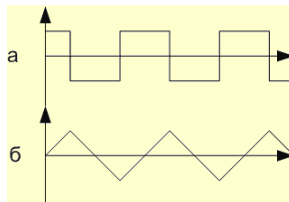
Билет 15

1 Нарисуйте прямоугольный импульс, прошедший усилитель. Как определяется ширина импульса и длительности фронтов? Как искажения связаны с полосой усилителя.

Для начала, рассмотрим общую структурную схему усилителя.



Пробежимся быстро по блокам, изображенным на рисунке. Генератор ПИ - генератор прямоугольных импульсов выдает прямоугольные импульсы с фиксированной частотой F_s (график а), которые поступают на интегратор, где преобразуются в треугольные или пилообразные импульсы (график б), после чего поступают на один из входов компаратора.



Импульсные сигналы

Как показано ниже, импульсный сигнал или сигнал прямоугольной формы определяется периодом, шириной импульса, передним и задним фронтом.



Период

- Период: величина, обратная частоте, имеет максимальное значение 1 000 000 с. Значение по умолчанию 1 мс.
- Прибор регулирует ширину импульса и время фронта в соответствии с заданным периодом.
- **Лицевая панель:**

Другим параметром, характеризующим фильтр нижних частот, является длительность фронта импульса. Этот параметр показывает время, в течение которого выходное напряжение возрастает от 10 до 90% конечного значения, если на вход подать импульс напряжения прямоугольной формы. Учитывая свойства экспоненциальной функции, из формулы (2.5) получим

$$U_e(t) = \bar{U}_e + U'_e(t).$$

При ¹

$$U_a = \frac{1}{RC} \int_0^t U'_e(t) dt + \bar{U}_e. \quad (2.7)$$

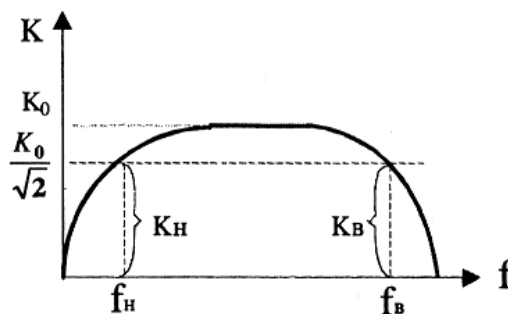
Пулсация Среднее значение

Это соотношение с большой степенью точности действительно для фильтра нижних частот.

При последовательном соединении нескольких фильтров нижних частот, обеспечивающих различные длительности фронта выходного импульса ² результирующая длительность фронта импульса

$$U_a \approx \bar{U}_e.$$

Коэффициент усиления K идеального усилителя не зависит от частоты, но в реальной жизни это далеко не так. Зависимость амплитуды от частоты называют **амплитудно-частотной характеристикой — АЧХ** и часто изображают в виде графика, где по вертикали откладывают коэффициент усиления по напряжению, а по горизонтали частоту. Изобразим на графике АЧХ типичного усилителя.



Снимают АЧХ, последовательно подавая на вход усилителя сигналы разных частот определённого уровня и измеряя уровень сигнала на выходе.

Диапазон частот ΔF , в пределах которого мощность усилителя уменьшается не более, чем в два раза от максимального значения, называют **полосой пропускания усилителя**.

Однако, на графике обычно откладывают коэффициент усиления по напряжению, а не по мощности. Если обозначить максимальный коэффициент усиления по напряжению, как K_0 , то в пределах полосы пропускания коэффициент не должен опускаться ниже чем:

$$K_{min} = \frac{K_0}{\sqrt{2}} \approx 0.707 * K_0$$

2 Что такое компаратор. Приведите пример выходного сигнала при сравнения двух напряжений. Как уменьшить чувствительность компаратора при появлении ложных срабатываний (триггер Шмитта).

Компаратор - это операционный усилитель без обратной связи с большим коэффициентом усиления. Поэтому, если подать на один его вход (например инверсный) какой то постоянный уровень опорного напряжения, а на другой вход (прямой) изменяющийся сигнал - выходное напряжение у него изменится скачком, от минимального до максимального в тот момент, когда уровень входного сигнала превысит уровень сигнала опорного напряжения, установленного на другом входе, и наоборот.

Основная функция компаратора это сравнение двух напряжений, одно из которых образцовое или опорное, а другое собственно измеряемое. Выходной сигнал компаратора может принимать лишь два значения: логический ноль, и логическая же единица, но не может изменяться линейно, как у операционного усилителя. На выходе компараторов, как правило, имеется выходной транзистор с открытым коллектором и эмиттером. Поэтому его можно подключить либо по схеме с ОЭ, либо эмиттерным повторителем, в зависимости от требований конкретной схемы

Появление ложных импульсов на выходе компаратора, для устранения которых в схему вводится некоторый **гистерезис** путём добавления положительной обратной связи (ПОС) к операционному усилителю. Уровни включения и выключения, при гистерезисе не совпадают. Такое устройство называется **триггер Шмитта**.

Если $U_{\text{вх}}$ станет больше $+2V$, происходит опрокидывание триггера и напряжение на выходе будет $-12V$. На инвертирующем входе $U = -2V$. Для того, чтобы вернуть триггер в прежнее состояние необходимо подать на вход отрицательное напряжение, превышающее по модулю $2V$.

Триггер Шмитта представляет собой компаратор, уровни включения и выключения, которого не совпадают. Разницу в уровнях называют гистерезисом. Если к инвертирующему входу приложено

достаточно большое входное напряжение отрицательной полярности, то $U_{\text{вых}} = +U_{\text{вых. max}}$. При этом напряжение прямого (неинвертирующего) входа будет равно:

$$U = +U_{\text{вых. max}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = U_{\text{выкл.}} \quad U = -U_{\text{вых. max}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = U_{\text{вкл.}}$$

Если увеличивать $U_{\text{вх}}$, то $U_{\text{вых.}}$ не изменит свое значение до тех пор, пока $U_{\text{вх}}$ не станет меньше

величины напряжения выключения. При $U_{\text{вх}} = U_{\text{выкл.}}$, выходное напряжение за счет положительной обратной связи скачком изменится на $-U_{\text{вых. max}}$. На прямом входе напряжение станет равным величине. Гистерезис триггера Шмитта определяется разностью $U_{\text{выкл.}}$ и $U_{\text{вкл.}}$



Рис.4.12. Условное обозначение триггера Шмитта.

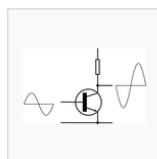
3 Чем отличается потребление мощности при формировании прямоугольного импульса БТ и ПТ. Какой каскад является более экономичным. По какой зависимости возрастает потребление мощности в ПТ в импульсном режиме от частоты?

Весь процесс работы БТИЗ может быть представлен двумя этапами: как только подается положительное напряжение, между затвором и истоком, открывается полевой транзистор, образуется n - канал между истоком и стоком. При этом начинает происходить движение зарядов из области n в область p, что влечет за собой открытие биполярного транзистора, в результате чего от эмиттера к коллектору устремляется ток. Суть его работы заключается в том, что полевой транзистор управляет мощным биполярным. В результате переключение мощной нагрузки становится возможным при малой мощности, так как управляющий сигнал поступает на затвор полевого транзистора

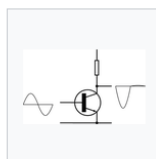
Режимы (классы) мощных усилительных каскадов [\[править | править код \]](#)

Подробнее рассмотреть темы: [Классификация электронных усилителей](#)

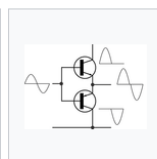
- Особенности выбора режима мощных каскадов связаны с задачами повышения **экономичности** питания и уменьшения нелинейных искажений.
- В зависимости от способа размещения начальной рабочей точки усилительного прибора на статических и динамических характеристиках различают следующие режимы усиления



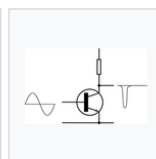
Режим А



Режим В



Режим В, двухтактный каскад



Режим С



Углы отсечки полуволнового сигнала в различных режимах

Усиление мощности входного сигнала происходит с помощью активных элементов за счет потребления мощности от источника питания. В усилителе входной сигнал управляет передачей энергии источника питания в нагрузку. Если в качестве активных элементов применяются транзисторы, такие устройства принято называть полупроводниковыми или транзисторными. УУ принято классифицировать по ряду признаков:

► по характеру усиливаемых сигналов - УУ непрерывных (гармонических) и УУ импульсных сигналов;

► по диапазону рабочих частот - УУ постоянного тока ($f_H = 0$ Гц) и УУ переменного тока:

◆ усилители звуковых частот (от 20 до 20000 Гц) или низкочастотные усилители;

◆ усилители высоких частот (ВЧ) (f_H до 300 МГц);

◆ усилители сверхвысоких частот (СВЧ) ($f_H > 300$ МГц).

Кроме того, УУ ВЧ и СВЧ диапазонов подразделяются на:

• узкополосные ($f_H/f_H < 2$ и $(f_H - f_H) \ll f_0$); где f_0 - средняя частота рабочего диапазона УУ; широкополосные ($f_H/f_H \geq 2$).

► импульсные усилители классифицируются по длительности усиливаемых импульсов на микросекундные и наносекундные;

► по типу активных элементов УУ подразделяются на ламповые, транзисторные, квантовые и

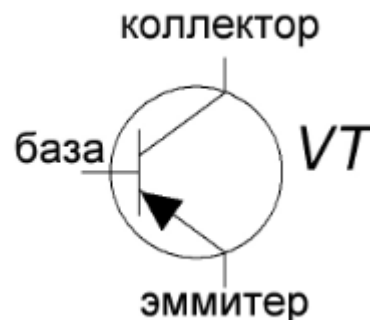
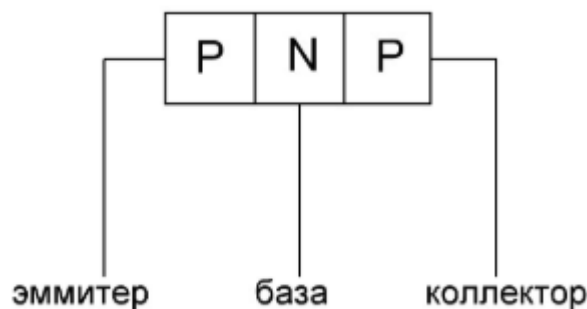
► по функциональному назначению УУ подразделяются на усилители напряжения, тока и мощности;

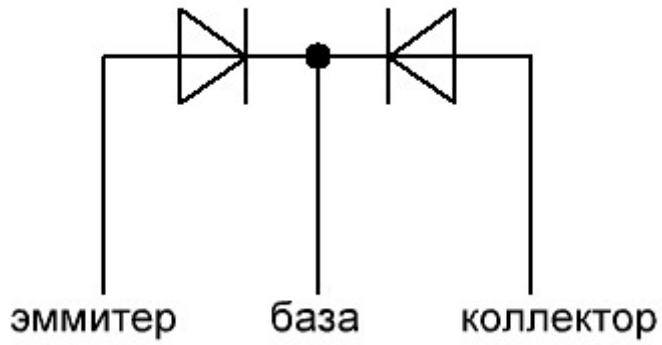
УУ могут классифицироваться по ряду дополнительных признаков - числу каскадов, типу питания, конструктивному исполнению и т.д.

Билет 16

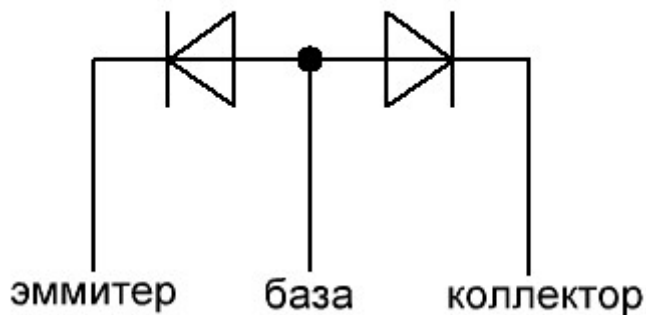
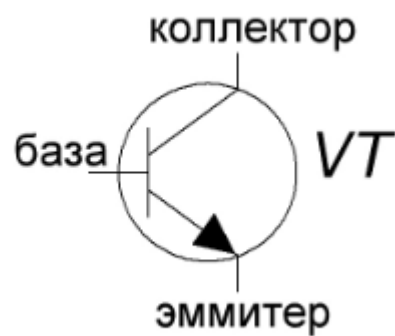
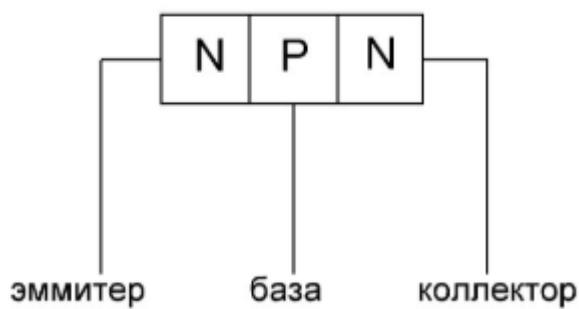
1. Если представить БТ как два диода по отношению к базе, то как должны быть включены эти диоды, чтобы сформировать биполярный транзистор? Какие носители электрического тока проникают через обратносмещенный переход коллектора?

- Прямая проводимость :





- Обратная проводимость:

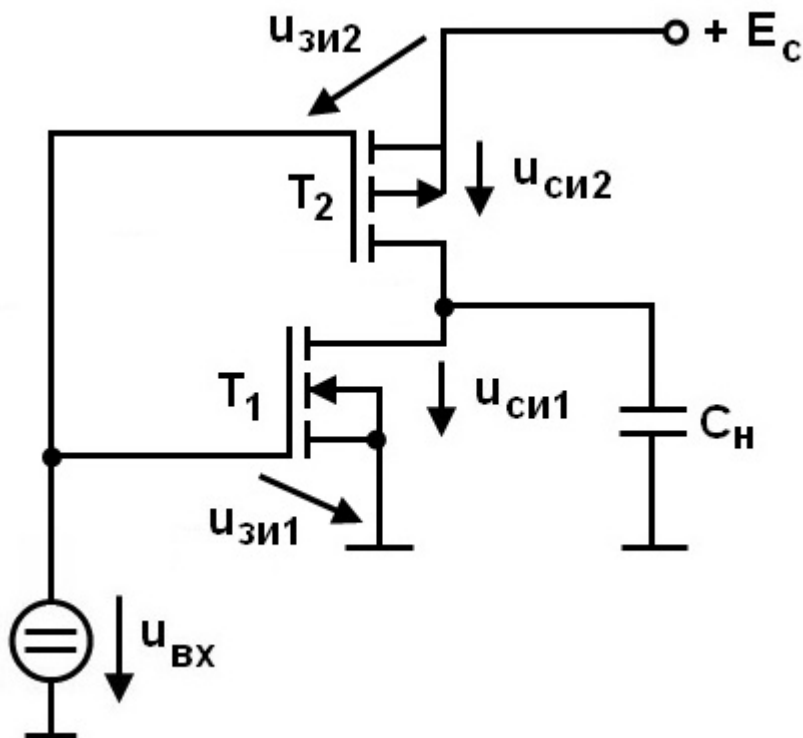


- Никакие (?)

2. Почему важно иметь высокое входное сопротивление усилителя и какие величины входного сопротивления свойственны БТ, JFET и MOSFET в схеме ОЭ-ОИ.

- Высокое входное сопротивление усилителя обеспечивает высокое значение напряжения (по закону Ома $I = U/R$).
- Биполярный транзистор: Низкое (обычно несколько сотен кило Ом)
- Полевые транзисторы характерны высоким входным сопротивлением (от 1 до нескольких сотен гига Ом)
 - JFET: Высокое;
 - MOSFET: Очень высокое

3. Приведите схему ключа на комплементарной паре ПТ. Как он работает и в какие моменты потребляет мощность?



Транзистор T1 с каналом n-типа и транзистор T2 с каналом p-типа.

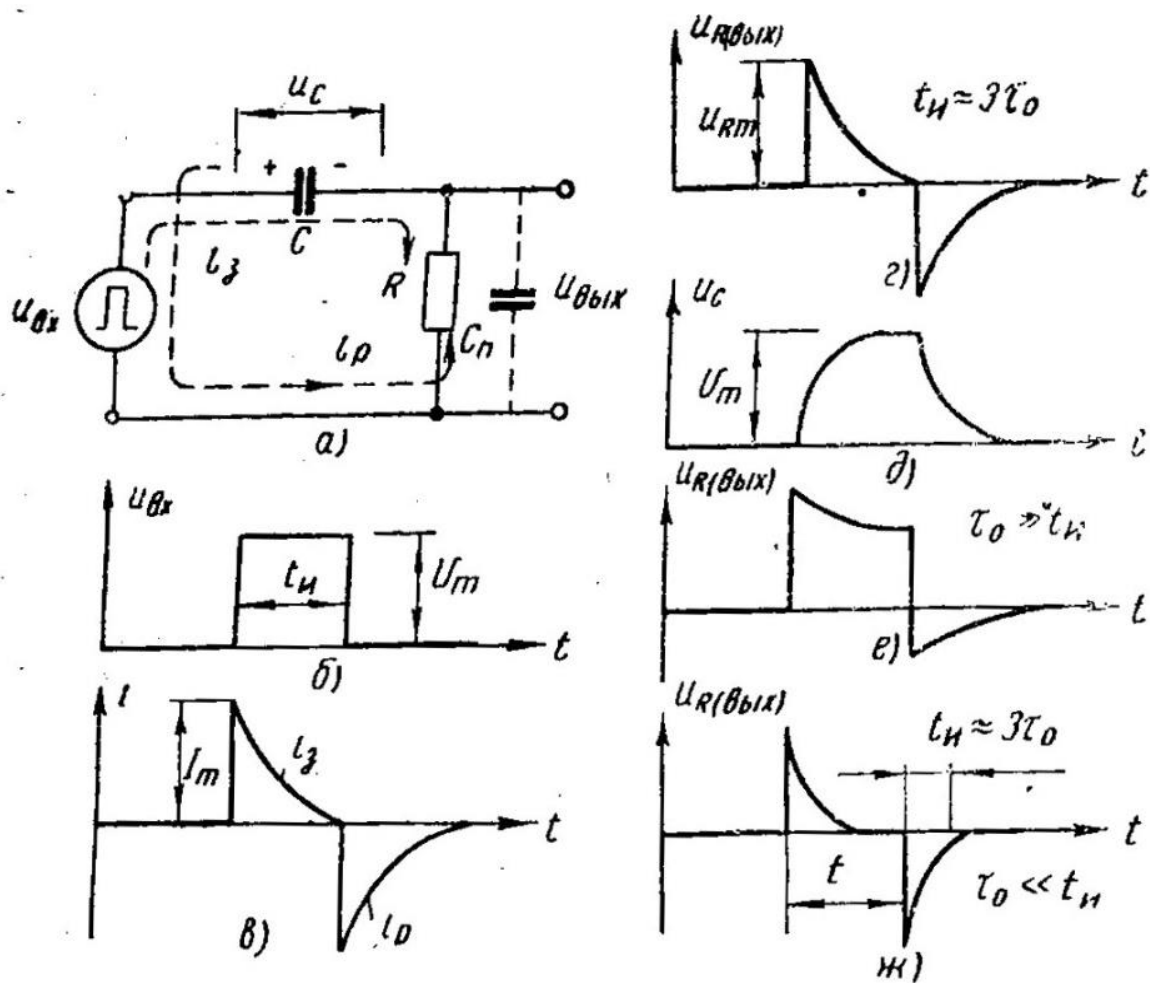
Пусть $u_{ВХ} = 0$, тогда, очевидно, транзистор T_1 закрыт, а транзистор T_2 открыт. При этом $u_{си1} = E_c$, $u_{си2} = 0$. Если $u_{ВХ} > U_{зи.порог1}$, тогда транзистор T_1 открыт. Пусть, кроме того, $u_{ВХ} > E_c - U_{зи.порог2}$, тогда транзистор T_2 закрыт. При этом $u_{си1} = 0$, $u_{си2} = E_c$.

Надо отметить, что если $E_c < U_{зи.порог1} + U_{зи.порог2}$, то при изменении входного сигнала не возникает ситуация, когда оба транзистора включены. Но если данное неравенство не выполняется, то такая ситуация будет иметь место при некотором промежуточном напряжении $u_{ВХ}$, и тогда через транзисторы протекает так называемый сквозной ток. Если длительность переднего фронта и длительность среза (заднего фронта) входного импульса мала, то сквозной ток протекает короткое время, но и в этом случае он оказывает негативное влияние на работу схемы.

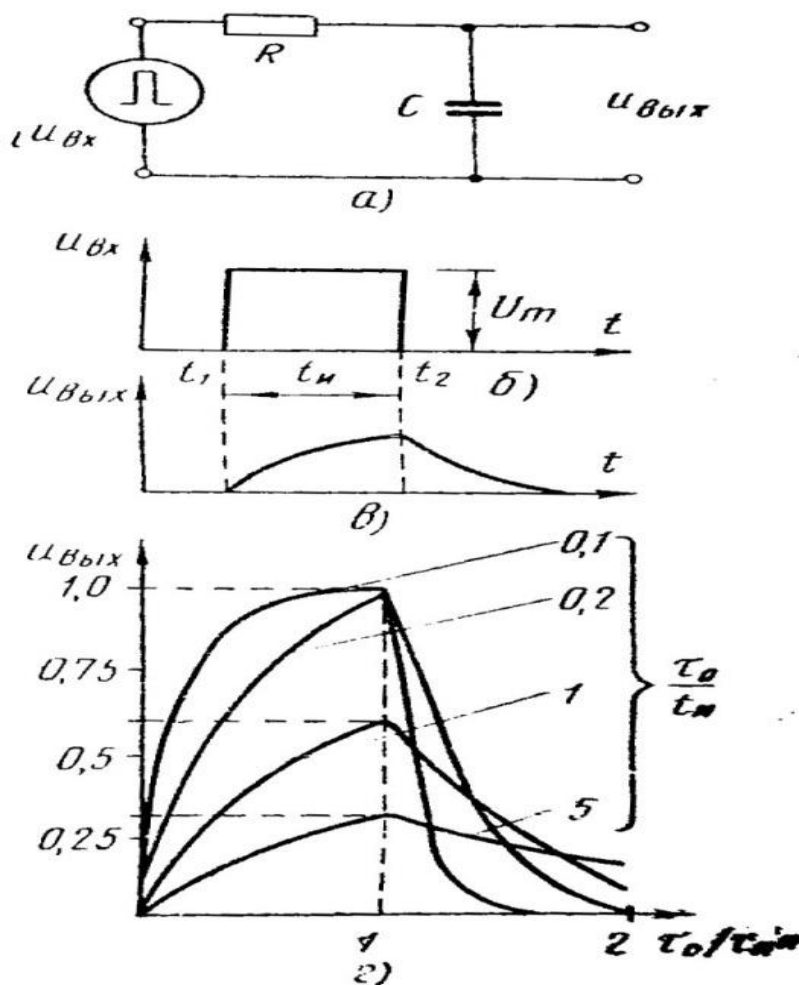
И в открытом, и в закрытом состоянии, ключ практически не потребляет ток от источника питания.

Билет 17

1. Нарисовать результат воздействия прямоугольного импульса на дифференцирующую и интегрирующую цепочки.



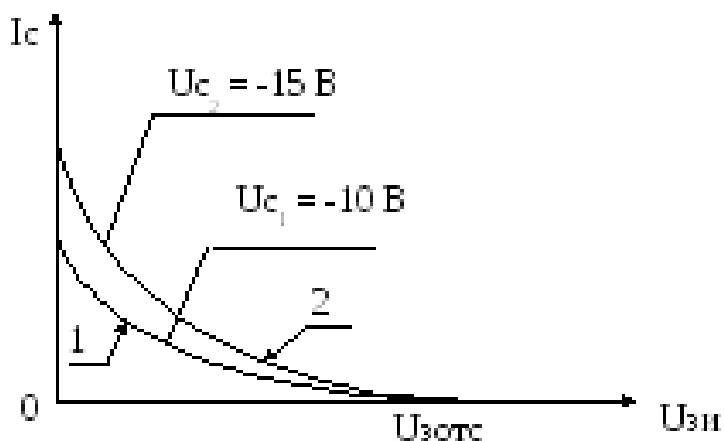
Воздействие прямоугольного импульса на интегрирующую цепь: а — схема, б — форма импульса на входе, в — то же, на выходе, г — зависимость формы импульса от соотношения τ_0/t_H или $\tau_0 \leq t_H$.



Воздействие прямоугольного импульса на интегрирующую цепь: а — схема, б — форма импульса на входе, в — то же, на выходе, г — зависимость формы импульса от соотношения τ_0/t_m

2. Нарисуйте приблизительно проходную (сток-затворную) характеристику JFET. Какая область является рабочей? К какому типу (обеднения или обогащения) относится режим управления каналом. Какие напряжения и токи на электродах свойственны ключу на МОП транзисторе.

- Сток-затворные характеристики полевого транзистора с управляющим р-п переходом и каналом р-типа (примечание: n-тип -> смена знака по оси x)



- Рабочая область поля выходных характеристик. Область допустимых режимов работы выбирается из условий: 1) не превышать предельно-допустимых параметров транзистора; 2) не

допускать больших нелинейных искажений сигнала.

- Обеднения.

-

3. Привести схему усилителя с обратной связью и записать общий коэффициент усиления. Чем отличаются ПОС и ООС. Какая связь используется в операционных усилителях и какие особенности ОУ она обеспечивает.

- Положительная обратная связь (ПОС) — тип обратной связи, при котором изменение выходного сигнала системы приводит к такому изменению входного сигнала, которое способствует дальнейшему отклонению выходного сигнала от первоначального значения, то есть знак изменения сигнала обратной связи совпадает со знаком изменения входного сигнала.

Отрицательная обратная связь (ООС) — вид обратной связи, при котором изменение выходного сигнала системы приводит к такому изменению входного сигнала, которое противодействует первоначальному изменению.

Билет 18

1. Как называются электроды ПТ, какие являются входными, а какие выходными в схеме ОИ. Что такое крутизна передаточной характеристики, какие величины она связывает и как влияет на коэффициент усиления каскада?

- Исток (источник носителей тока), затвор (управляющий электрод) и сток (электрод, куда стекают носители).

- Параметр усилительной способности JFET — это крутизна сток-затворной характеристики. Обозначается g_m или S , и измеряется в мА/В (миллиАмпер/Вольт). Крутизна сток-затворной характеристики показывает усилительные способности транзисторного каскада — чем она больше, тем больше коэффициент усиления.

2. Приведите пример АЧХ и ФЧХ каскада БТ с ОЭ. Как определяется полоса работы?

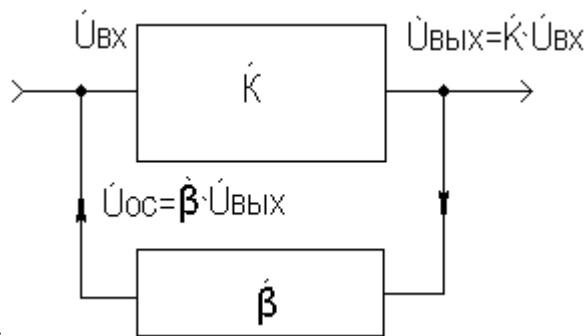
- Вносимые усилителем искажения оценивают по амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) и по фазочастотной характеристике (ФЧХ).

По АЧХ и допустимой величине частотных искажений определяют нижнюю f_n и верхнюю f_o граничные частоты, полосу рабочих частот Δf , равную: $\Delta f = f_o - f_n$.

Зависимость угла сдвига по фазе между входным и выходным сигналами от частоты оценивается по ФЧХ, для резистивного каскада имеющей вид, представленный на рис.2.3.

- Рабочая полоса определяется как разность верхней и нижней граничных частот (?). или Рабочая полоса частот — диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) БТ достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы.

3. Нарисовать структуру усилителя с обратной связью и привести условия, при которых появляется генерация. Что такое баланс амплитуд и фаз?

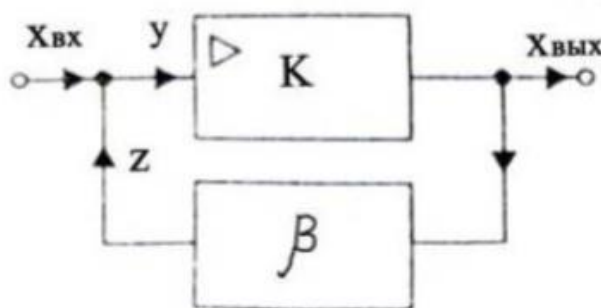


Для получения ООС в УУ необходимо, чтобы суммарный фазовый сдвиг ϕ , вносимый усилителем и цепью ОС, был равен 180° во всем диапазоне рабочих частот. В многокаскадном усилителе это требование обычно выполняется, строго говоря, только на одной частоте. На остальных частотах, особенно на границах и за пределами полосы рабочих частот АЧХ, $\phi \neq 180^\circ$. Это происходит за счет дополнительных фазовых сдвигов, вносимых реактивными элементами схемы усилителя, причем эти сдвиги будут тем больше, чем большее число каскадов охвачено общей цепью ООС. При дополнительном фазовом сдвиге 180° , $\phi = 360^\circ$ (баланс фаз), ООС превратится в ПОС, и, если $\beta K \gg 1$ (баланс амплитуд), усилитель превратится в генератор.

Билет 19

1. Нарисовать схему усилителя с обратной связью. Как определяется общий коэффициент усиления. Какие параметры усилителя улучшаются при введении ООС?

Усилитель, у которого часть энергии выходного сигнала подается на вход, называется **усилителем с обратной связью**. Структурная схема усилителя с обратной связью показана на рисунке:



На вход усилителя с коэффициентом усиления K подается сигнал y . Он равен сумме входного сигнала $X_{ВХ}$ и сигнала z , поступающего по цепи обратной связи $z = \beta \cdot X_{ВЫХ}$. Здесь β - коэффициент обратной связи. Сигнал на выходе усилителя $X_{ВЫХ}$ будет равен $y \cdot K$, или $X_{ВЫХ} = (X_{ВХ} + (\pm \beta \cdot X_{ВЫХ})) \cdot K$. Связь между входным и выходным сигналами в таком усилителе равна:

$$U_{ВХ} = U_{ВХ} + (\pm \beta U_{ВЫХ}); \quad K_{ОС} = U_{ВЫХ} / U_{ВХ}$$

Коэффициент усиления усилителя с обратной связью

$$K_{ОС} = K / (1 - (\pm \beta K))$$

В усилителях используется **отрицательная обратная связь (ООС)**, при которой $y = X_{вх} - Z$. Коэффициент усиления усилителя с ООС равен

$$K_{ос} = \frac{K}{1 + \beta \cdot K}$$
, где K – коэффициент прямой передачи, или коэффициент усиления без обратной связи, β – коэффициент передачи цепи обратной связи, $1 + \beta \cdot K$ – глубина обратной связи, $\beta \cdot K$ – петлевое усиление.

При $\beta \cdot K \gg 1$, $K_{ос} \approx 1/\beta$, т.е. при глубокой ООС $K_{ос}$ зависит только от свойств цепи обратной связи. В общем случае K и β имеют комплексный характер.

Введение ООС приводит к повышению стабильности коэффициента усиления в условиях температурных изменений параметров элементов, в частности транзисторов, их старения; для улучшения амплитудно-частотной характеристики многокаскадных усилителей; позволяет увеличить входное сопротивление усилителя в $1 + K_{ос}$ раз; выходное напряжение $U_{вых}$ усилителя меньше подвержено изменению при изменении тока нагрузки, что соответствует уменьшению выходного сопротивления.

2. Как приблизительно рассчитать коллекторное и базовое сопротивления в каскаде БТ с ОЭ, если известна выходная ВАХ. Нарисовать схему каскада ОЭ с токовой стабилизацией режима. Определить по входной ВАХ напряжение, которое установится на базе транзистора.

- Сопротивление коллектора определяется по закону Кирхгофа: $R_k = (E_k - U_{рт})/I_k$, где $U_{рт}$ и I_k – параметры выбранной рабочей точки.

3. Как можно подать отрицательное смещение на затвор ПТ, если имеется один однополярный источник питания?

Затвор находится на «земле», режим покоя обеспечивается отрицательным напряжением смещения на затворе полевого транзистора относительно истока???

Билет 20

1. Что такое операционный усилитель, какие основные параметры он имеет, для чего используют ООС.

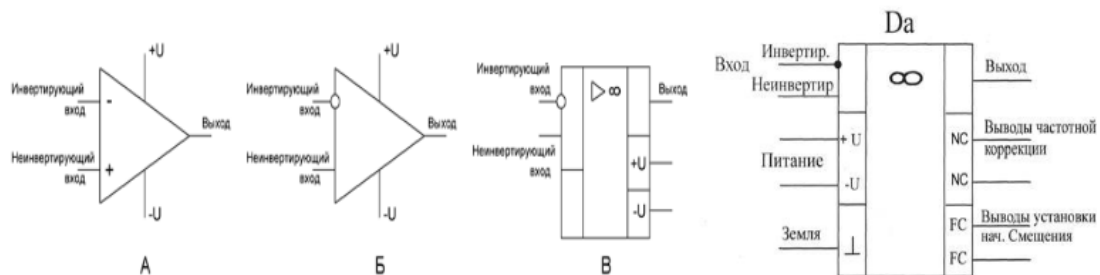
- Операционный усилитель (ОУ) - это усилитель постоянного тока с дифференциальным входом, характеристики которого близки к характеристикам «идеального» усилителя, который имеет большой коэффициент усиления по напряжению $K \gg 1$ ($K=10^4 \dots 10^6$), большое входное ($R_{вх}=0.1 \dots 100 \text{ МОм}$) и малое выходное ($R_{вых}=10 \dots 100 \text{ Ом}$) сопротивления.

В линейных усилителях применяют ОУ только с цепями отрицательной обратной связи (ООС), которая уменьшает коэффициент усиления K по напряжению до $1 \dots 10^3$, одновременно с этим уменьшает зависимость K от температуры, напряжения питания, увеличивает $R_{вх.ус}$ и уменьшается $R_{вых.ус}$.

Основные параметры операционных усилителей

1. K – собственный коэффициент усиления ОУ (без обратной связи, 10^6).
2. $U_{сдв}$ - выходное напряжение сдвига. Небольшое напряжение, возникающее из-за несимметрии плеч ОУ при нулевом напряжении на обоих входах. Обычно $U_{сдв}$ имеет значение 10 - 100 мВ.
3. $I_{см}$ - входной ток смещения. Ток на входах усилителя, необходимый для работы входного каскада операционного усилителя.
4. $I_{сдв}$ - входной ток сдвига. Разность токов смещения появляется вследствие неточного согласования входных транзисторов. $I_{сдв} = I_{см1} - I_{см2}$.
5. $R_{вх}$ - входное сопротивление. Как правило, $R_{вх}$ имеет значение до 1-10 мегаом.
6. $R_{вых}$ - выходное сопротивление. Обычно $R_{вых}$ не превосходит сотен Ом.
7. Косс - коэффициент ослабления синфазного сигнала. Характеризует способность ослаблять сигналы, приложенные к обоим входам одновременно – до 100000
8. Ток потребления. Ток покоя, потребляемый операционным усилителем (мА).
9. Потребляемая мощность (рассеиваемая, мВт)
10. Максимальная скорость нарастания выходного напряжения (В/мкс) .
11. U пит. - Напряжение питания – двухполярное.
12. Переходная характеристика. Сигнал на выходе усилителя при подаче на его вход скачка напряжения.

Обозначения



Обозначение операционного усилителя на схемах

На рисунке показано схематичное изображение ОУ

здесь: V_+ - неинвертирующий вход; V_- - инвертирующий вход; V_{out} - выход

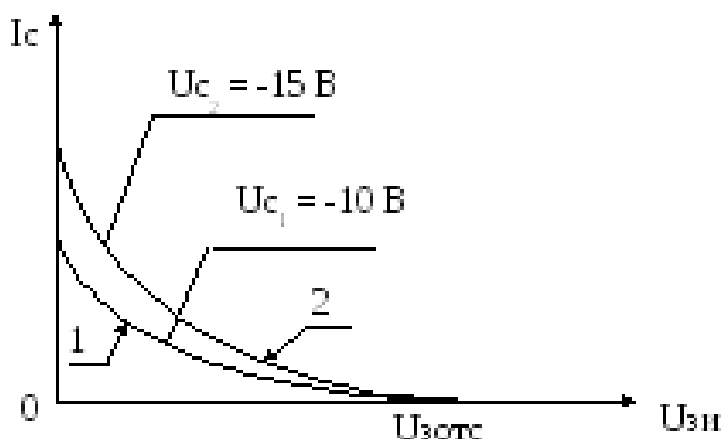
V_{S+} - плюс источника питания (также может обозначаться как V_{DD} , V_{CC} , или V_{CC+})

V_{S-} - минус источника питания (также может обозначаться как V_{SS} , V_{EE} , или V_{CC-})

Указанные пять выводов присутствуют в любом ОУ, они абсолютно необходимы для его функционирования. Помимо этого, некоторые ОУ могут иметь дополнительные выводы, предназначенные для: - установки тока покоя; - частотной коррекции; - балансировки (коррекции смещения) и др.

2. Нарисуйте приблизительно проходную (сток-затворную) характеристику JFET. Какая область является рабочей? К какому типу (обеднения или обогащения) относится режим управления каналом.

- Сток-затворные характеристики полевого транзистора с управляющим р-п переходом и каналом р-типа (примечание: п-тип -> смена знака по оси x)



- Рабочая область поля выходных характеристик. Область дозволённых режимов работы выбирается из условий: 1) не превышать предельно-допустимых параметров транзистора; 2) не допускать больших нелинейных искажений сигнала.
- Обеднения.

3. Что означает режим отсечки. Какие напряжения и токи базы и коллектора БТ и затвора и стока ПТ свойственны этому режиму.

Режим отсечки. Когда напряжение база-эмиттер ниже, чем 0.5V - 0.6V (для кремния), P-N-переход между базой и эмиттером закрыт. В таком состоянии у транзистора отсутствует ток базы. В результате тока коллектора тоже не будет, поскольку в базе нет свободных электронов, готовых двигаться в сторону напряжения на коллекторе. Транзистор заперт, и находится в режиме отсечки.

Зона, расположенная между осью абсцисс и начальной выходной характеристикой, соответствующей $I_b=0$, называется **зоной отсечки** и характеризуется тем, что оба перехода транзистора - эмиттерный и коллекторный смещены в обратном направлении. Коллекторный ток при этом представляет собой обратный ток коллекторного перехода - I_{k0} , который очень мал и поэтому почти все напряжение источника питания E_k падает между эмиттером и коллектором закрытого транзистора: $U_{k0} \approx E_k$. А падение напряжения на нагрузке очень мало и равно: $U_{Rk} = I_{k0}R_k$

Говорят, что в этом случае транзистор работает в режиме отсечки. Поскольку в этом режиме ток, протекающий по нагрузке исчезающе мал, а почти все напряжение источника питания приложено к закрытому транзистору, то в этом режиме транзистор можно представить в виде разомкнутого ключа.

Билет 21

1. Как приблизительно рассчитать коллекторное сопротивление и делитель в каскаде БТ с ОЭ, если известна выходная и входная ВАХ. Нарисовать схему каскада ОЭ с стабилизацией режима напряжение на базе. Определить по входной ВАХ ток, который установится в базе транзистора.

Ответ: сопротивление коллектора определяется по закону Кирхгофа: $R_k = (E_k - U_{pt})/I_k$, где U_{pt} и I_k – параметры выбранной рабочей точки.

(?) Делитель тока:

Ток через них можно определить согласно [закону Ома](#):

$$I_1 = U/R_1.$$

$$I_2 = U/R_2.$$

Общий ток в цепи согласно первому закону Кирхгофа

$$I = I_1 + I_2.$$

(?) Делитель напряжения:

$$\begin{cases} U_1 = IR_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ U_2 = IR_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{cases}$$

(?) Ток базы:

$$I_{\text{б}} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{бэ}}}{R_{\text{б}}} \approx \frac{U_{\text{вх}}}{R_{\text{б}}}.$$

2. Что такое дрейф нуля усилителя, от чего он зависит и какие схемные решения позволяют его уменьшить?

Ответ: основные параметры УУ зависят от внешних возмущений и, в первую очередь, от температуры. При изменении температуры изменяется обратный ток $I_{\text{кобр}}$, напряжение $U_{\text{бэ}}$ и коэффициент передачи по току. Все эти изменения принято характеризовать понятием **дрейф нуля**. Зависит от:

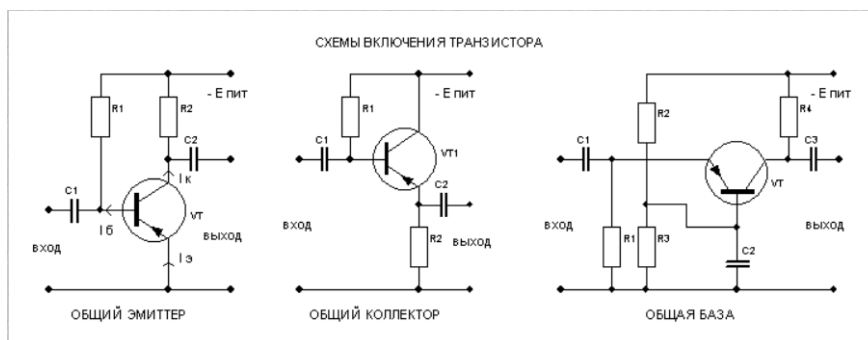
- Нестабильности источников питания
- Температурной и временной нестабильности параметров транзисторов и резисторов
- Низкочастотные шумы, помехи, наводки

Для снижения дрейфа нуля в УПТ могут быть использовано:

- Применение глубоких ООС
- Использование термокомпенсирующих элементов
- Преобразование постоянного тока в переменный и усиление переменного тока с последующим выпрямлением
- Построение усилителя по балансной схеме

3. Какие существуют схемы включения транзисторов, как определяется заземление электрода, какая схема имеет максимальный коэффициент усиления по мощности?

- Каскад с общим эмиттером (имеет макс. коэффициент усиления по мощности)
- Каскад с общим коллектором
- Каскад с общей базой



Билет 22

1. Укажите на ВАХ области режимов насыщения, активного и отсечки. Какие токи и напряжения на базе и коллекторе соответствуют этим режимам (схема ОЭ).

Режим насыщения. Иногда ток базы может оказаться слишком большим. Ток коллектора будет максимальным, который может обеспечить источник питания, и не будет зависеть от тока базы. В таком состоянии транзистор не способен усиливать сигнал, поскольку ток коллектора не реагирует на изменения тока базы.

Активный режим. Напряжение на базе достаточное, для того чтобы P-N-переход между базой и эмиттером открылся, присутствуют токи базы и коллектора. Ток коллектора равняется току базы, умноженному на коэффициент усиления - нормальный рабочий режим транзистора, который используют для усиления.

Режим отсечки. Когда напряжение база-эмиттер ниже, чем 0.5V - 0.6V (для кремния), P-N-переход между базой и эмиттером закрыт. В таком состоянии у транзистора отсутствует ток базы. В результате тока коллектора тоже не будет, поскольку в базе нет свободных электронов, готовых двигаться в сторону напряжения на коллекторе. Транзистор заперт, и находится в режиме отсечки.

2. Приведите схему ключа на комплементарной паре ПТ. Как он работает?

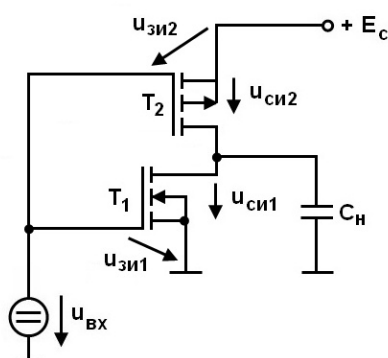


Рис. 3.20

7.5. КЛЮЧИ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Ключи на полевых транзисторах используются для коммутации как аналоговых, так и цифровых сигналов, причем коммутаторы аналоговых сигналов обычно выполняют на полевых транзисторах с управляющим p - n -переходом или МОП-транзисторах с индуцированным каналом. В цифровых схемах применяются только МОП-транзисторы с индуцированным каналом.

Для ключей на полевых транзисторах характерно: 1) малое остаточное напряжение на ключе, находящемся в проводящем состоянии; 2) высокое сопротивление в непроводящем состоянии и, как следствие, малый ток, протекающий через транзистор, канал которого перекрыт; 3) малая мощность, потребляемая от источника управляющего напряжения; 4)

3. Как сформировать нагрузочную характеристику транзистора и выбрать рабочую точку в линейном режиме. Каким соотношением связаны токи входной и выходной ВАХ БТ (в первом приближении)

Зная коэффициент усиления транзистора, ток базы можно в первом приближении определить из тока коллектора: $I_b = I_k / \beta$. Напряжение $U_{бэ}$ известно из входной характеристики. Для кремния это примерно 0,75 В. Линейный режим усиления ограничен допустимой амплитудой сигнала в рабочей точке на выходной ВАХ.

Билет 23

1. Какое напряжение надо подать на базу БТ для создания управляющего тока, какое на затвор JFET и затвор MOSFET для управления током стока. Как выглядят входные характеристики этих транзисторов?

2. Приведите пример АЧХ и ФЧХ каскада БТ с ОЭ. Как определяется полоса работы?

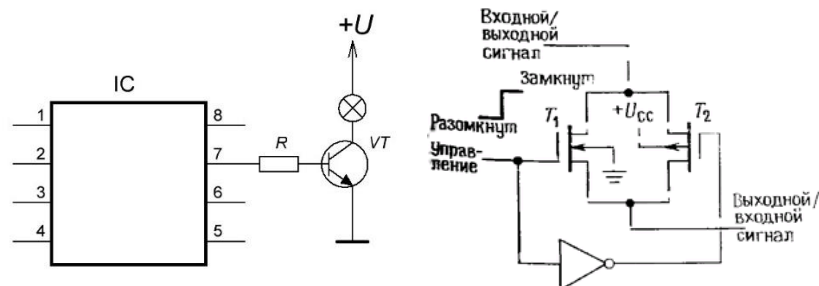
3. Привести схему усилителя с обратной связью и записать общий коэффициент усиления. Чем отличаются ПОС и ООС. Какая связь используется в операционных усилителях и какие особенности ОУ она обеспечивает.

Положительная обратная связь (ПОС) — тип [обратной связи](#), при котором изменение выходного [сигнала](#) системы приводит к такому изменению входного сигнала, которое способствует дальнейшему отклонению выходного сигнала от первоначального значения, то есть знак изменения сигнала обратной связи совпадает со знаком изменения входного сигнала.

Отрицательная обратная связь (ООС) — вид [обратной связи](#), при котором изменение выходного [сигнала системы](#) приводит к такому изменению входного сигнала, которое противодействует первоначальному изменению.

Билет 24

1. Нарисуйте схему простейшего транзисторного ключа на БТ и ПТ. Какие токи и напряжения надо создать на входе, чтобы на выходе получить замкнутое или разомкнутое состояние ключа.



2. Как приблизительно рассчитать коллекторное сопротивление и делитель в каскаде БТ с ОЭ, если известна выходная и входная ВАХ. Нарисовать схему каскада ОЭ с стабилизацией режима напряжение на базе. Определить по входной ВАХ ток, который установится в базе транзистора.

Ответ: сопротивление коллектора определяется по закону Кирхгофа: $R_k = (E_k - U_{pt})/I_k$, где U_{pt} и I_k – параметры выбранной рабочей точки.

(?) Делитель тока:

Ток через них можно определить согласно закону Ома:

$$I_1 = U/R_1.$$

$$I_2 = U/R_2.$$

Общий ток в цепи согласно первому закону Кирхгофа

$$I = I_1 + I_2.$$

(?) Делитель напряжения:

$$\begin{cases} U_1 = IR_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ U_2 = IR_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{cases}$$

(?) Ток базы:

$$I_b = \frac{U_{вх} - U_{бэ}}{R_b} \approx \frac{U_{вх}}{R_b}$$

3. Какими преимуществами и недостатками обладают БТ и ПТ?

Преимущества ПТ:

- Высокое входное сопротивление
- Малые шумы
- Простота изготовления
- Малое значение остаточного напряжения между истоком и стоком открытого транзистора
- ПТ обладают более высокой стойкостью к ионизирующим излучениям

Недостаток ПТ – невысокая крутизна переходной характеристики (малый коэффициент усиления схем на ПТ).

Преимущества БТ:

- Хорошие температурные и широкий частотный диапазон, так как в этой схеме подавлен [эффект Миллера](#).
- Высокое допустимое коллекторное напряжение.
- Большой коэффициент усиления по току.
- Большой коэффициент усиления по напряжению.
- Наибольшее усиление мощности.
- Можно обойтись одним источником питания.
- Выходное переменное напряжение инвертируется относительно входного.
- Большое входное сопротивление.
- Малое выходное сопротивление.

Недостатки БТ:

- Малое усиление по току, равное α , так как α всегда немного менее 1
- Малое входное сопротивление
- Имеет меньшую температурную стабильность. Частотные свойства такого включения по сравнению со схемой с общей базой существенно хуже, что обусловлено [эффектом Миллера](#).
- Коэффициент усиления по напряжению немного меньше 1.

Билет 25

1. Привести схему усилителя с обратной связью и записать общий коэффициент усиления. Чем отличаются ПОС и ООС. Какая связь используется в операционных усилителях и какие особенности ОУ она обеспечивает.

Положительная обратная связь (ПОС) — тип [обратной связи](#), при котором изменение выходного [сигнала](#) системы приводит к такому изменению входного сигнала, которое способствует дальнейшему отклонению выходного сигнала от первоначального значения, то есть знак изменения сигнала обратной связи совпадает со знаком изменения входного сигнала.

Отрицательная обратная связь (ООС) — вид [обратной связи](#), при котором изменение выходного [сигнала системы](#) приводит к такому изменению входного сигнала, которое противодействует первоначальному изменению.

2. Компаратор – устройство сравнения двух сигналов. Компаратор изменяет скачком уровень выходного сигнала, когда непрерывно изменяющийся во времени выходной сигнал становится выше или ниже определенного уровня. Аналоговый компаратор сравнивает входные напряжения и усиливает их разность с $K_u = 10^4 - 10^5$. Т.е. при малейшем превышении одного сигнала над другим на выходе получаем тах сигнал положительной или отрицательной полярности. Появление ложных импульсов на выходе компаратора, для устранения которых в схему вводится некоторый гистерезис путём добавления положительной обратной связи (ПОС) к операционному усилителю. Уровни включения и выключения, при гистерезисе не совпадают. Такое устройство называется **триггер Шмитта**.
3. -----

