

Лабораторная работа № 3

Изучение усилительных каскадов на транзисторах

Цель работы – изучение схем построения усилительных каскадов на биполярном транзисторе по схеме с общим эмиттером и полевом транзисторе по схеме с общим истоком; расчёт усилительных каскадов и определение их параметров и характеристик.

3.1. Краткие теоретические сведения

В современной технике при решении многих инженерных задач возникает необходимость в усилении изменяющихся электрических сигналов (напряжения или тока), источниками которых могут быть, например, различного рода датчики, фотоприёмники и т.п. Для усиления таких сигналов используют электронные усилители.

Электронным усилителем называют устройство, преобразующее электрическую энергию источника питания в энергию выходного сигнала, который по форме аналогичен входному сигналу, но превосходит его по мощности (напряжению и/или току). Другими словами, любой усилитель модулирует энергию внешнего источника питания входным управляющим сигналом. Этот процесс осуществляется при помощи управляемых нелинейных элементов.

Рассмотрим принцип построения и работы усилительного каскада на структурной схеме, представленной на рис. 3.1. Основными элементами здесь являются нелинейный управляемый элемент $УЭ$ и резистор R , которые совместно с источником питания U_{Π} образуют выходную цепь каскада.

Под действием входного сигнала $u_{\text{ВХ}}$ изменяется сопротивление $УЭ$ и соответственно ток выходной цепи $i_{\text{ВЫХ}}$. Изменение $i_{\text{ВЫХ}}$ вызывает соответствующее изменение падения напряжения на резисторе R и $УЭ$, которое является полезным выходным сигналом $u_{\text{ВЫХ}}$. Таким образом $u_{\text{ВХ}}$ преобразуется в пропорциональное значение $u_{\text{ВЫХ}}$ большей величины.

Усилительные свойства каскада зависят от степени влияния $u_{\text{ВХ}}$ на ток управляемого элемента и величины R . Чем больше изменение тока и величина R , тем больше будет $u_{\text{ВЫХ}}$. Очевидно, что рост амплитуды $U_{\text{ВЫХ}}$ требует соответствующего повышения U_{Π} , а ток источника равен $i_{\text{ВЫХ}}$. Поэтому повышение мощности выходного сигнала требует увеличения мощности источника.

Необходимо помнить, что ни при каких условиях мощность выходного сигнала не может превысить мощность, потребляемую от источника питания!

К основным параметрам и характеристикам усилителя относятся:

– коэффициент усиления усилителя по напряжению $K_U = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta U_{\text{ВХ}}}$;

– амплитудная (передаточная) характеристика – зависимость амплитудных значений напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ (тока $I_{\text{ВЫХ}}$) на выходе усилителя от напряжения $U_{\text{ВХ}}$ (тока $I_{\text{ВХ}}$) на его

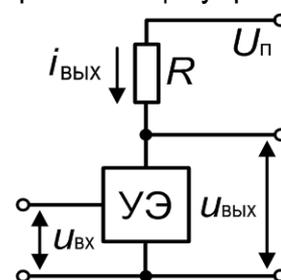


Рис. 3.1 Структурная схема усилительного каскада

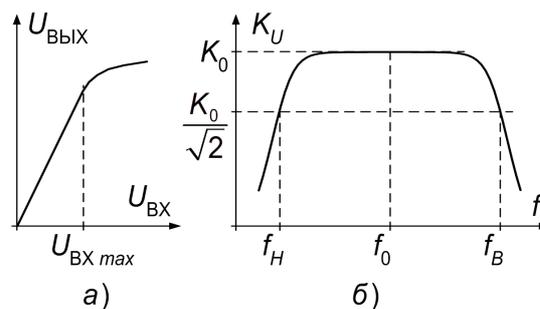


Рис. 3.2 Характеристики усилителя: а – амплитудная; б – амплитудно-частотная

входе (рис. 3.2а). Начальный участок характеристики (до $U_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ max}}$) является линейным, и ему соответствует постоянный коэффициент усиления. При $U_{\text{ВХ}} > U_{\text{ВХ max}}$ амплитудная характеристика становится нелинейной. Нелинейность амплитудной характеристики обусловлена переходом УЭ в режим насыщения. В этом режиме коэффициент усиления K_U уменьшается, что приводит к уменьшению наклона характеристики. *Вследствие нелинейности амплитудной характеристики в выходном сигнале появляются гармонические составляющие, отсутствующие во входном, в результате чего выходной сигнал искажается, т.е. форма выходного сигнала не соответствует форме входного. Такие искажения выходного сигнала называют нелинейными искажениями;*

- амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) показывает зависимость модуля коэффициента усиления K_U от частоты усиливаемого сигнала (рис. 3.2б). По амплитудно-частотной характеристике определяется
- полоса пропускания усилителя – диапазон частот

$$\Delta f = f_{\text{В}} - f_{\text{Н}}, \quad (3.1)$$

в котором коэффициент усиления $K_U > K_0/\sqrt{2}$, где K_0 – максимальный коэффициент усиления на частоте

$$f_0 = \sqrt{f_{\text{Н}} \cdot f_{\text{В}}}, \quad (3.2)$$

$f_{\text{Н}}$ и $f_{\text{В}}$ – соответственно низшая и высшая частоты, на которых $K_U = K_0/\sqrt{2}$.

Уменьшение K_U на низких частотах обусловлено влиянием разделительных конденсаторов, используемых в усилителях переменного напряжения для связи между каскадами. В области высших частот усилительные свойства ухудшаются в результате проявления паразитных ёмкостей в самом управляемом элементе. Из-за неравномерности АЧХ при усилении несинусоидальных сигналов (например, прямоугольных), имеющих гармонические составляющие с частотами ниже $f_{\text{Н}}$ и выше $f_{\text{В}}$, форма выходного сигнала будет отличаться формы входного. Такие искажения, *не связанные с нелинейностью амплитудной характеристики, называют частотными искажениями.*

В настоящее время в каскадах электронных усилителей различного назначения в качестве управляемого элемента широко используются биполярные и полевые транзисторы, поэтому электронные усилители с такими элементами называют транзисторными.

Усилители на биполярных транзисторах.

Одним из наиболее распространенных усилителей на биполярных транзисторах (БТ) является усилитель с общим эмиттером (ОЭ). В этом усилителе эмиттер является общим электродом для входной и выходной цепей. На рис. 3.3 представлена схема такого усилителя с фиксированным током базы, задаваемым с помощью резистора $R_{\text{Б}}$. Входное напряжение $u_{\text{ВХ}}$ от источника усиливаемого сигнала подаётся на усилительный каскад через конденсатор связи C_1 . Резистор $R_{\text{К}}$ совместно с транзистором VT образуют управляемый делитель напряжения. В усилителе используются источник постоянного на-

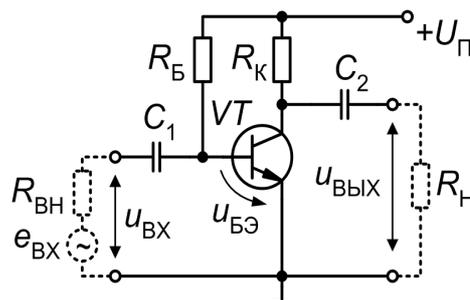


Рис. 3.3 Схема усилительного каскада с общим эмиттером

пряжения U_{Π} (источник питания) и источник усиливаемого переменного напряжения $e_{\text{ВХ}}$ с внутренним сопротивлением $R_{\text{ВН}}$. Конденсаторы связи C_1 и C_2 (иначе – разделительные) служат для предотвращения проникновения постоянной составляющей сигнала в цепь источника усиливаемого напряжения $e_{\text{ВХ}}$ и на выход усилительного каскада.

Усиленное выходное напряжение можно снимать как с резистора $R_{\text{К}}$, так и с транзистора VT , поскольку переменные составляющие этих напряжений равны (но противофазны). Сопротивление нагрузки $R_{\text{Н}}$ обычно подключают между коллектором и эмиттером транзистора, а поскольку эмиттер соединен с нулевым проводом, то вход и выход усилителя имеют общую точку.

Принцип преобразования сигнала переменного тока усилительным каскадом с ОЭ иллюстрируется рис. 3.4, на котором представлены передаточная характеристика, входная и семейство выходных ВАХ БТ, а также временные зависимости токов и напряжений.

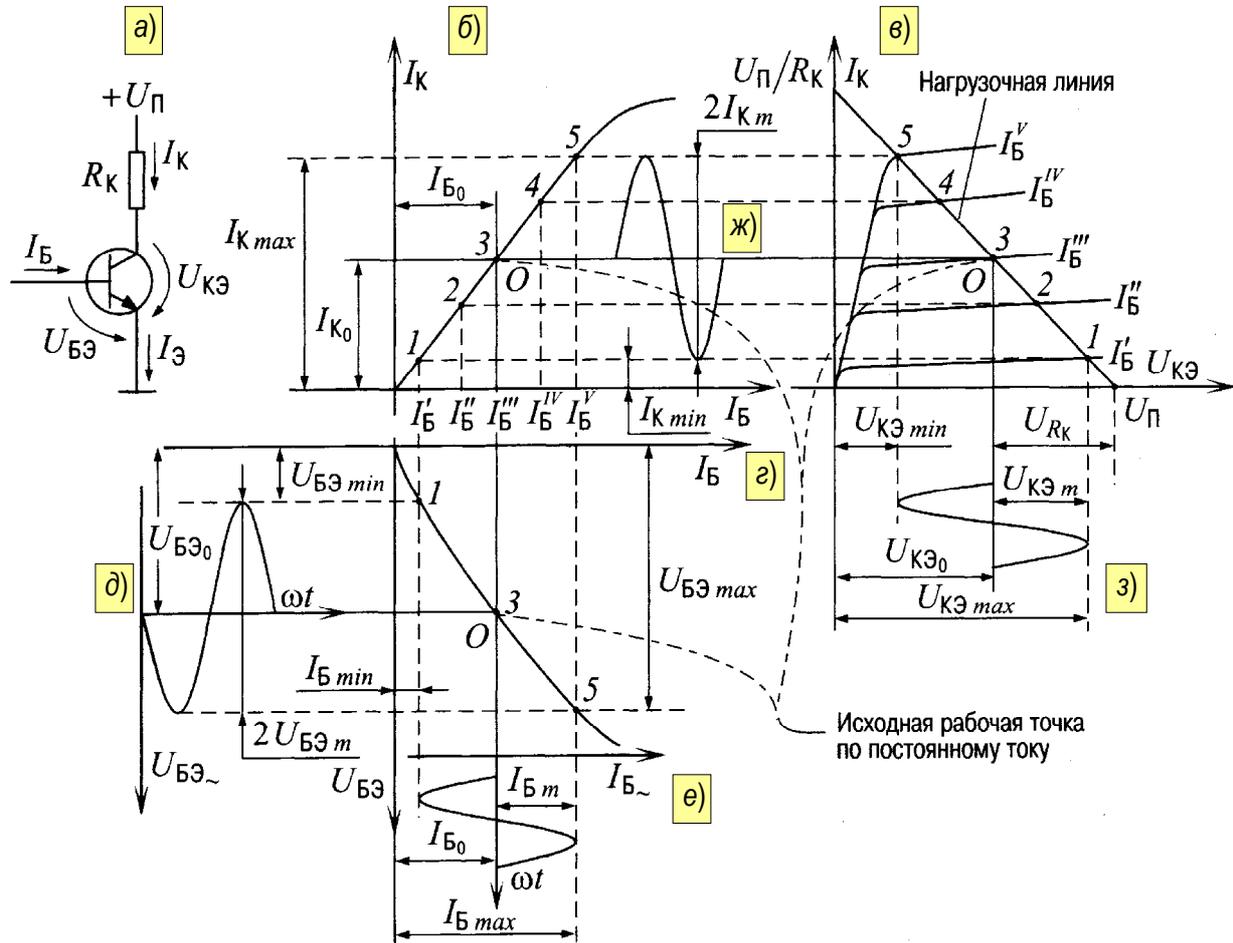


Рис. 3.4 Графическая иллюстрация процессов изменения токов и напряжений в усилительном каскаде на БТ с ОЭ: а – упрощённая схема усилительного каскада; б – передаточная характеристика; в, г – соответственно семейство выходных ВАХ и входная ВАХ БТ; д, е, ж, з – временные зависимости входного напряжения, тока базы, тока коллектора и выходного напряжения соответственно

Для коллекторной цепи усилителя (рис. 3.4а) в соответствии со вторым законом Кирхгофа можно записать

$$U_K = U_{\Pi} - R_K I_K \quad (3.3)$$

Графической интерпретацией решения этого уравнения является нагрузочная линия (линия нагрузки), показанная на рис. 3.4в. Она может быть построена по двум точкам, соответствующим режиму холостого хода ($U_K = U_{\Pi}; I_K = 0$) и короткого замыкания ($U_K = 0; I_K = U_{\Pi}/R_K$). Точки пересечения линии нагрузки с выходными характеристиками транзистора определяют ток I_K и напряжение на транзисторе $U_{КЭ}$ при любом заданном значении тока базы I_B .

Передающая характеристика усилителя $I_K = f(I_B)$ построена по точкам пересечения линии нагрузки с выходными характеристиками транзистора (рис. 3.4б) и является нелинейной, но имеет линейный участок 1-5. Входная ВАХ БТ также нелинейна, но на небольшом отрезке (1-5) её с достаточной степенью точности можно считать линейной.

Временные диаграммы (рис. 3.4д-з) отображают последовательное преобразование изменения напряжения $\Delta U_{БЭ}$ между базой и эмиттером БТ в изменение напряжения $\Delta U_{КЭ}$ между коллектором и эмиттером:

- изменение напряжения $\Delta U_{БЭ}$ преобразуется в изменение тока базы БТ ΔI_B в соответствии со входной ВАХ (рис. 3.4г). Количественно соотношение между $\Delta U_{БЭ}$ и ΔI_B определяется входным сопротивлением БТ $h_{11Э}$;
- изменение тока ΔI_B преобразуется в изменение коллекторного тока ΔI_K в соответствии с передающей характеристикой (рис. 3.4б). Ее наклон определяется коэффициентом передачи тока БТ $h_{21Э}$. Поскольку $h_{21Э} \gg 1$, схема с ОЭ обеспечивает усиление сигнала по току;
- нагрузочная линия (рис. 3.4в) определяет изменение $\Delta U_{КЭ}$ в соответствии с изменением тока ΔI_K . Для данной схемы $\Delta U_{КЭ} \gg \Delta U_{БЭ}$, т.е. усиление сигнала обеспечивается и по напряжению.

Как следует из рис. 3.4, изменение токов и напряжений в усилителе осуществляется относительно некоторых начальных значений (токов и напряжений покоя), которые характеризуют режим работы схемы по постоянному току. Он обеспечивается соответствующим выбором сопротивлений резисторов в цепях базы и коллектора.

Расчет усилителя состоит в первую очередь в правильном выборе и обеспечении режима работы по постоянному току.

Режим работы по постоянному току характеризуется положением *исходной рабочей точки* O на линии нагрузки (рис. 3.4г). При $R_H \gg R_K$ рабочую точку можно располагать примерно на середине линии нагрузки. При этом можно принимать

$$U_{K0} = \frac{U_{\Pi}}{2}; \quad I_{K0} = \frac{1}{R_K} \frac{U_{\Pi}}{2}; \quad (3.4)$$

$$I_{B0} = \frac{I_{K0}}{h_{21Э}}, \quad (3.5)$$

где U_{K0} – потенциал коллектора, соответствующий положению рабочей точки O ; I_{K0} и I_{B0} – токи коллектора и базы транзистора соответственно. Значение $h_{11Э}$ берётся из

справочника или определяется по входной ВАХ транзистора.

Сопротивление резистора R_K выбирают таким, чтобы максимальный ток коллектора не превышал допустимого значения для используемого транзистора.

В большинстве случаев при работе на реальную нагрузку R_K соизмеримо с R_H . Для обеспечения минимальной потребляемой от источника мощности следует принимать

$$R_K = (1,5 \dots 2,0) R_H. \quad (3.6)$$

При этом значение U_{K0} снижается, а I_{K0} увеличивается относительно определяемых по (3.4) значений так, чтобы обеспечивалась наибольшая амплитуда неискаженного сигнала (режим усиления класса А)

$$U_{K0} = \frac{U_{\Pi} R_H}{R_K + 2R_H} + U_{KЭ\text{нас}} + U_{Э0}; \quad (3.7)$$

$$I_{K0} = (U_{\Pi} - U_{K0}) / R_K. \quad (3.8)$$

Для обеспечения требуемой амплитуды напряжения $U_{H.m}$ на нагрузке R_H напряжение питания должно удовлетворять условию

$$U_{\Pi} \geq (2 + R_K / R_H) U_{mH} + U_{KЭ\text{нас}} + U_{Э0}. \quad (3.9)$$

В схеме с фиксированным током базы (рис.3.3) $U_{Э0} = 0$, поэтому при выполнении условия (3.6) требуемое напряжение питания $U_{\Pi} = (3,5 \dots 4) U_{mH}$, а напряжение покоя коллектора $U_{K0} = (0,3 \dots 0,5) U_{\Pi}$ (для класса усиления А).

При выборе транзистора руководствуются следующими ограничениями

$$U_{KЭ\text{max}} > U_{\Pi}; I_{K\text{max}} > 2I_{K0}; P_{K\text{max}} > I_{K0} (U_{K0} - U_{Э0}).$$

Для выбранного транзистора по справочнику находят $h_{21Э}$ и рассчитывают требуемое значение тока покоя базы по формуле (3.5). Такое значение тока обеспечивается резистором в цепи базы, сопротивление которого

$$R_B = (U_{\Pi} - U_{B0}) / I_{B0}. \quad (3.10)$$

При этом для схемы на рис. 3.3 $U_{B0} = U_{BЭ0}$ и определяется по входной ВАХ транзистора. Приблизительно $U_{BЭ0}$ можно принимать равным (0,2...0,6) В для германиевых (Ge) и (0,6...1,1) В для кремниевых (Si) транзисторов (большие значения для мощных транзисторов). При настройке усилителя положение рабочей точки можно корректировать в некоторых пределах относительно расчётного значения, изменяя сопротивление R_B .

Существенным недостатком транзисторов является зависимость их параметров от температуры. Изменение температуры вызывает изменение тока коллектора БТ (при неизменном токе базы) и соответственно смещает положение рабочей точки усилителя, что приводит к уменьшению максимальной амплитуды неискаженного сигнала. Данное явление имеет место в схеме с фиксированным током базы (рис. 3.3), поэтому эта схема может использоваться для усиления малых сигналов $U_{H.m} \ll U_{K0}$, а также в случаях, когда транзистор работает в условиях, обеспечивающих незначительное изменение его температуры. В противном случае необходимо принимать меры для температурной стабилизации рабочей точки.

На рис. 3.5 представлена схема усилителя с ОЭ с эмиттерной температурной стабилизацией, в которой положение рабочей точки стабилизируется за счёт отрицательной

обратной связи (ООС) по постоянному току. Она реализуется включением резистора R_3 в эмиттерную цепь усилителя. С помощью делителя $R_{B1} - R_{B2}$ поддерживается постоянное напряжение покоя на базе транзистора (при условии, что ток делителя $I_D \gg I_{B0}$)

$$U_{B0} \approx \frac{U_{\Pi} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \approx \text{const}. \quad (3.11)$$

С другой стороны, $U_{B0} = U_{BЭ0} + R_3 I_{Э0}$, поэтому напряжение покоя база-эмиттер

$$U_{BЭ0} = U_{B0} - R_3 I_{Э0}. \quad (3.12)$$

Таким образом, при повышении температуры увеличивается ток I_{K0} и $I_{Э0}$, что в соответствии с (3.12) приводит к уменьшению $U_{BЭ0}$. Это, в свою очередь, вызывает уменьшение базового тока I_{B0} и соответственно тока I_{K0} почти до первоначального значения, т.е. положение рабочей точки остается практически неизменным. Согласно (3.12) действие ООС усиливается с ростом R_3 , однако при этом снижается КПД усилителя. На практике R_3 принимают таким, чтобы выполнялось условие

$$U_{Э0} = (0,1 \dots 0,3) U_{\Pi}, \quad (3.13)$$

и

$$R_3 = U_{Э0} / I_{Э0}. \quad (3.14)$$

Для минимизации влияния изменений тока I_{B0} на потенциал U_{B0} базы принимают ток делителя $I_D = (3 \dots 10) I_{B0}$. Сопротивления делителя в цепи базы

$$R_{B2} = U_{B0} / I_D, \text{ и } R_{B1} = (U_{\Pi} - U_{B0}) / (I_D + I_{B0}). \quad (3.15)$$

Действие ООС по переменной составляющей (полезному сигналу) приводит к снижению коэффициента усиления, что в ряде случаев недопустимо. Поэтому для переменной составляющей напряжения обратная связь должна быть устранена. Это достигается включением параллельно резистору R_3 конденсатора C_3 , сопротивление X_{C_3} которого на низшей частоте f_H усиливаемого сигнала должно быть на порядок меньше R_3 , что обеспечивается при выборе ёмкости

$$C_3 = (10 \dots 50) / (2\pi f_H R_3). \quad (3.16)$$

Разделительные конденсаторы C_1 и C_2 , предотвращая попадание в цепь источника сигнала и на выход усилителя постоянных составляющих напряжения, не должны существенно ослаблять переменную составляющую (полезный сигнал) на низшей частоте f_H . С учетом указанного требования их ёмкости

$$C_1 = (10 \dots 50) / (2\pi f_H (R_{BХ} + R_{BН})) \text{ и } C_2 = (10 \dots 50) / (2\pi f_H (R_K + R_H)), \quad (3.17)$$

где

$$R_{BХ} = R_B \parallel r_{BХ} - \quad (3.18)$$

входное сопротивление усилительного каскада; для усилительного каскада представленного на рис. 3.5

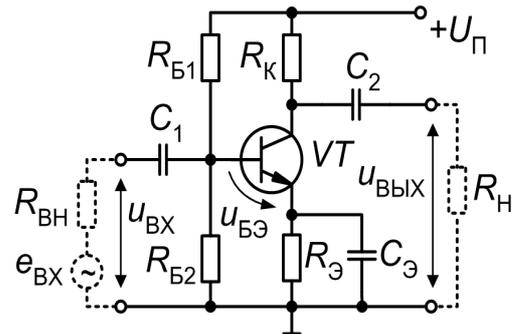


Рис. 3.5 Схема усилительного каскада с ОЭ с эмиттерной стабилизацией

$$R_B = R_{B1} || R_{B2}; \quad (3.19)$$

r_{BX} – входное сопротивление цепи транзистора, для схем на рис.3.3 и 3.5

$$r_{BX} \approx h_{11Э}, \quad (3.20)$$

а для схемы на рис. 3.5 в отсутствие шунтирующего конденсатора $C_Э$

$$r_{BX} \approx h_{11Э} + (1 + h_{21Э})R_Э. \quad (3.21)$$

Значение $h_{11Э}$ берётся из справочника или определяется по входной ВАХ транзистора.

Следует ещё раз обратить внимание на то, что напряжение на выходе усилительного каскада с ОЭ находится в противофазе с напряжением на его входе (происходит инвертирование сигнала). Действительно, согласно второму закону Кирхгофа (см. (3.3)) для выходной цепи усилительного каскада можно записать:

$$U_{\Pi} = u_K + R_K i_K = (U_{K0} + U_{K\sim}) + R_K (I_{K0} + I_{K\sim}).$$

Так как $U_{\Pi} = \text{const}$ и режим по постоянному току не изменяется, то из последнего соотношения следует, что при возрастании переменной составляющей тока $I_{K\sim}$ переменная составляющая напряжения $U_{K\sim}$ должно уменьшаться, т.е. имеет место сдвиг по фазе выходного напряжения относительно входного на 180° (см. рис. 3.4д и з).

Коэффициенты усиления усилителя по напряжению K_U и по току K_I с учётом сопротивления R_H нагрузочного устройства можно определить по формулам:

$$K_U = \frac{U_{H\sim}}{U_{BX\sim}} \approx \frac{h_{21Э}}{r_{BX}} \frac{R_K}{1 + h_{22Э}R_K + R_K/R_H}, \quad (3.22)$$

$$K_I = \frac{I_{H\sim}}{I_{BX\sim}} \approx \frac{h_{21Э}}{r_{BX}} \frac{R_{BX}R_K}{R_H(1 + h_{22Э}R_K + R_K/R_H)}. \quad (3.23)$$

Сопротивление r_{BX} определяется по (3.20) либо (3.21); сопротивление R_{BX} рассчитывается по формуле (3.18) (с учётом (3.19) для схемы с эмиттерной стабилизацией), $h_{22Э}$ – выходная проводимость транзистора, которая берётся из справочника или определяется по выходной ВАХ транзистора.

Усилители на полевых транзисторах.

Достоинства усилительных каскадов на полевых транзисторах по сравнению с усилительными каскадами на биполярных транзисторах обеспечиваются следующими преимуществами полевого транзистора перед биполярным:

- полевой транзистор управляется электрическим полем, что предполагает отсутствие тока во входной цепи, поэтому он имеет большое входное сопротивление, что упрощает согласование усилительного каскада с высокоомным источником сигнала;
- ПТ имеет, как правило, меньший коэффициент шума, что делает его более предпочтительным при усилении слабых сигналов;
- ПТ обладает большей собственной температурной стабильностью режима покоя.

Недостатком можно считать то, что усилительные каскады на ПТ обеспечивают меньший коэффициент усиления по напряжению.

Принцип построения усилительных каскадов на ПТ тот же, что и каскадов на биполярных транзисторах. В зависимости от того, какой из выводов является общим для входной и выходной цепей, в усилительных каскадах различают три схемы включения полевого транзистора: с *общим истоком (ОИ)*, с *общим стоком (ОС)* и *общим затвором*

(ОЗ). Наиболее широкое применение на практике получила схема с ОИ. На рис.3.6 представлена схема такого усилительного каскада на полевом транзисторе с управляющим $p-n$ -переходом с каналом n -типа. В этой схеме, называемой *схемой с автоматическим смещением*, за счёт протекания через резистор $R_{И}$ истокового тока автоматически создаётся обратное смещение $p-n$ -перехода ПТ:

$$U_{ЗИ} = U_3 - U_{И} = U_3 - I_{И}R_{И}, \quad (3.24)$$

где $I_{И}$ – ток истока, причём в ПТ ток истока равен току стока I_C ; $U_{И}$ – потенциал истока; U_3 – потенциал затвора, при этом, т.к. резистор R_3 обеспечивает связь затвора с общим проводом, то при отсутствии резистора R_1 и бесконечно малом входном токе можно считать $U_3 \approx 0$, тогда

$$U_{ЗИ} \approx -I_C R_{И}, \quad (3.25)$$

Помимо функции автоматического смещения на затвор резистор $R_{И}$ выполняет также функцию термостабилизации режима работы усилителя по постоянному току (аналогично схеме с эмиттерной стабилизацией на БТ). Для повышения термостабильности и уменьшения зависимости начального режима работы усилительного каскада от разброса параметров ПТ в цепь затвора включают резистор R_1 . Для исключения проявления отрицательной обратной связи по переменному сигналу резистор $R_{И}$ шунтируют конденсатором $C_{И}$. Динамический режим работы полевого транзистора обеспечивается резистором R_C в цепи стока, с которого снимается переменный выходной сигнал при наличии входного усиливаемого сигнала. Назначение разделительных конденсаторов C_1 и C_2 такое же, как и в усилительном каскаде на биполярном транзисторе.

Начальный режим работы полевого транзистора обеспечивается постоянным током стока I_{C0} и соответствующим ему постоянным напряжением между стоком и истоком $U_{СИ0}$ (см. рис.3.7), которые устанавливаются с помощью источника питания $U_{П}$ и начального напряжения смещения на затворе $U_{ЗИ0}$.

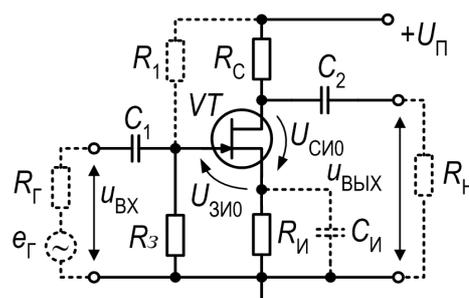


Рис. 3.6 Схема усилительного каскада с общим истоком

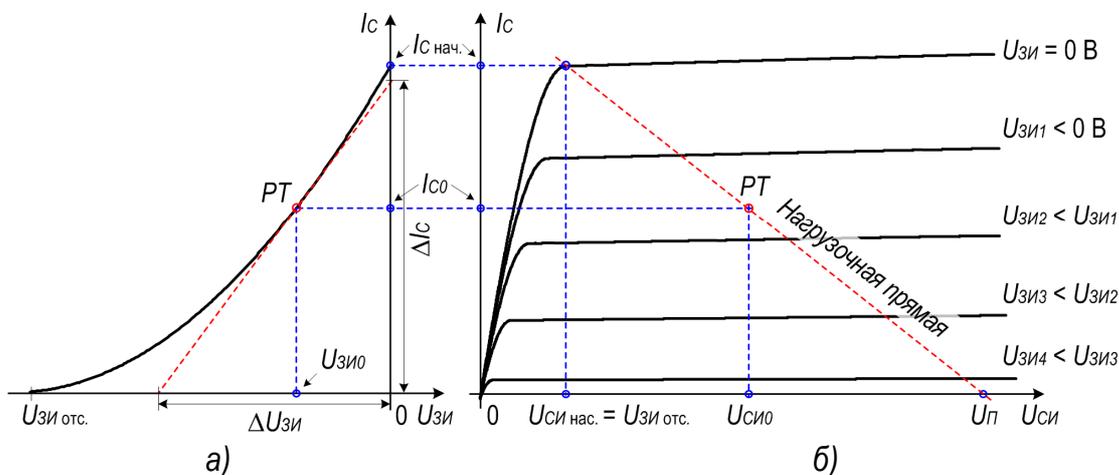


Рис.3.7 К расчёту рабочей точки (PT) полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом: а – стоко-затворная ВАХ, б – выходные ВАХ

Коэффициент усиления усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком

$$K_U \approx -S(r_{СИ} \parallel R_C \parallel R_H), \quad (3.26)$$

при наличии шунтирующего конденсатора $C_{И}$ в цепи истока, а при его отсутствии

$$K_U \approx -\frac{S(r_{СИ} \parallel R_C \parallel R_H)}{1 + SR_{И}}, \quad (3.27)$$

где крутизна S и дифференциальное сопротивление $r_{СИ}$ проводящего канала полевого транзистора должны определяться в рабочей точке (см. рис.3.7).

Значения ёмкостей конденсаторов $C_{И}$, C_1 и C_2 рассчитываются соответственно по формулам аналогичным (3.16) и (3.17), при этом $R_{Э}$ заменяется на $R_{И}$, R_K на R_C , а $R_{ВХ}$ на R_3 (или $R_3 \parallel R_1$ при наличии R_1).

3.2. Порядок выполнения работы

- i Изучить устройство и принцип работы однокаскадного транзисторного усилителя с ОЭ (рис.3.3 и рис.3.5), проанализировать назначение всех его элементов.

Задание 1: Расчёт усилительного каскада с ОЭ с фиксированным током базы

а) по заданным преподавателем значениям R_H , $U_{Н.м}$ и f_H определить R_K (3.6) и $U_{П}$ (3.9) (величину напряжения $U_{П}$ источника питания согласовать с преподавателем);

б) рассчитать значения $U_{К0}$ и $I_{К0}$ по формула (3.7) и (3.8) соответственно;

в) на полученных в Лаб. раб. № 2 выходных ВАХ транзистора отметить рабочую точку покоя $I_{К0}$ и $U_{КЭ0} = U_{К0} - U_{Э0}$ и определить для этой точки параметры $h_{21Э}$ и $h_{22Э}$;

г) по формуле (3.5) рассчитать ток $I_{Б0}$ покоя базы и отметить на входной ВАХ рабочую точку покоя, для которой определить напряжение $U_{БЭ0}$ и параметр $h_{11Э}$;

д) рассчитать величину сопротивления резистора R_B (3.10), а также значения ёмкостей конденсаторов C_1 и C_2 ((3.17) с учётом (3.18));

- i Значения рассчитанных сопротивлений и ёмкостей должны соответствовать стандартному ряду E24.

Задание 2: Исследование усилительного каскада с ОЭ с фиксированным током базы

а) собрать схему в соответствии с рис.3.8, установить заданные и рассчитанные значения сопротивлений и ёмкостей соответствующих элементов и напряжение питания;

б) установить значение амплитуды входного сигнала, подаваемого с генератора (**Function Generator**), $U_{mВХ} = 0$ В, измерить с помощью соответствующих измерительных приборов значения $I_{К0}$, $I_{Б0}$, $U_{К0}$ и $U_{Б0}$, сравнить с расчётными и сделать выводы;

в) установить частоту входного сигнала $f = 10$ кГц; изменяя амплитудное значение

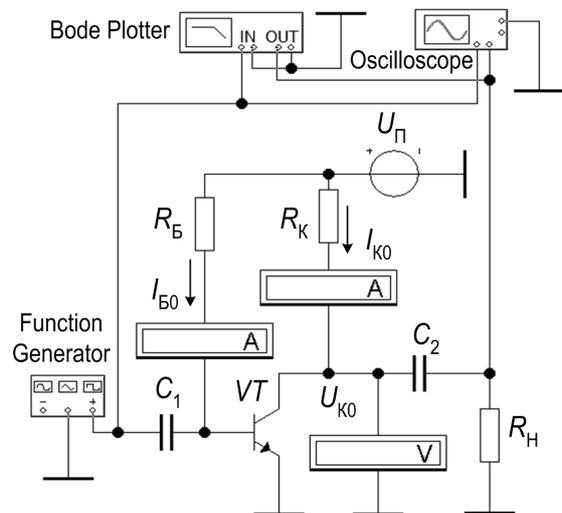


Рис. 3.8 Схема для измерения характеристик и параметров усилительного каскада с ОЭ с фиксированным током базы

входного напряжения $U_{m\text{ВХ}}$, измерять с помощью осциллографа (**Oscilloscope**) амплитудные значения выходного напряжения $U_{m\text{ВЫХ}}$, записывая результаты измерений в таблицу; отметить значение входного напряжения $U_{\text{ВХ max}}$, при котором наступает заметное искажение формы выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}(t)$, зарисовать эту форму и сделать выводы;

г) используя построитель ЛАЧХ и ЛФЧХ (**Bode Plotter**), получить ЛАЧХ исследуемой схемы в диапазоне частот от 1 Гц до 1 ГГц.

Задание 3: Расчёт однокаскадного транзисторного усилителя с общим истоком

а) на выходной ВАХ (рис.3.7б) построить статическую линию нагрузки и отметить положение рабочей точки $(U_{\text{СИ0}}; I_{\text{С0}})$, принимая $I_{\text{С0}} = (0,55 \dots 0,7) I_{\text{Снач}}$. (напряжение $U_{\text{П}}$, сопротивление $R_{\text{Н}}$ и частота $f_{\text{Н}}$ задаются преподавателем);

б) отметить рабочую точку на стоко-затворной ВАХ (рис.3.7а) и определить напряжение $U_{\text{ЗИ0}}$;

в) провести через рабочую точку касательную к стоко-затворной ВАХ (рис.3.7а) и определить крутизну S ;

г) рассчитать значения сопротивлений резисторов $R_{\text{И}} = \frac{U_{\text{ЗИ0}}}{I_{\text{С0}}}$ и $R_{\text{С}} = \frac{U_{\text{П}} - U_{\text{СИ0}}}{I_{\text{С0}}} - R_{\text{И}}$;

д) рассчитать ёмкости конденсаторов $C_{\text{И}}$, C_1 и C_2 по формулам (3.16) и (3.17), заменяя в них $R_{\text{Э}}$ на $R_{\text{И}}$, $R_{\text{К}}$ на $R_{\text{С}}$, а $R_{\text{ВХ}}$ на $R_3 = 1 \text{ МОм}$;

и) *Значения рассчитанных сопротивлений и ёмкостей должны соответствовать стандартному ряду E24.*

Задание 4: Исследование однокаскадного транзисторного усилителя с общим истоком

а) собрать схему усилительного каскада в соответствии с рис. 3.8 и 3.6 (без R_1);

б) установить значение амплитуды входного сигнала, подаваемого с генератора (**Function Generator**), $U_{m\text{ВХ}} = 0 \text{ В}$, измерить с помощью соответствующих измерительных приборов значения $I_{\text{С0}}$, $U_{\text{С0}}$ и $U_{\text{И0}}$, сравнить с расчётными и сделать выводы;

в) подключить параллельно резистору $R_{\text{И}}$ конденсатор $C_{\text{И}}$; установить частоту входного сигнала $f = 10 \text{ кГц}$; изменяя амплитудное значение входного напряжения $U_{m\text{ВХ}}$, измерять с помощью осциллографа (**Oscilloscope**) амплитудные значения выходного напряжения $U_{m\text{ВЫХ}}$, записывая результаты измерений в таблицу; отметить значение входного напряжения $U_{\text{ВХ max}}$, при котором наступает заметное искажение формы выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}(t)$, зарисовать эту форму и сделать выводы;

г) используя построитель ЛАЧХ и ЛФЧХ (**Bode Plotter**), получить ЛАЧХ исследуемой схемы в диапазоне частот от 1 Гц до 1 ГГц.

Задание 5: Обработка результатов измерений и расчёт параметров усилителя

а) по результатам измерений, выполненных в Заданиях 2в и 4в, построить передаточные характеристики усилителей $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ВХ}})$ (рис. 3.2а), по которым:

- определить $U_{\text{ВХ max}}$ и сравнить со значениями, отмеченными в Заданиях 2 и 4;
- рассчитать коэффициенты усиления K_U на линейных участках характеристик;

- б) с помощью ЛАЧХ, полученных в Заданиях 2 и 4, определить:
- нижнюю f_H и верхнюю f_B граничные частоты (см. рис. 3.2б) и полосу пропускания Δf усилителей (3.1);
 - коэффициенты усиления K_0 усилителей на частотах f_0 (3.2);
- в) рассчитать коэффициенты усиления усилителей по напряжению K_U :
- для схемы на БТ по формуле (3.22);
 - для схемы на ПТ по формулам (3.26);
- сравнить с результатами, полученными в пунктах а) и б), сделать выводы;
- г) рассчитать коэффициенты усиления усилителей по току K_I :
- для схемы на БТ по формуле (3.23);
 - для схемы на ПТ по формуле $K_I = K_U \frac{R_3}{R_H}$;
- д) рассчитать коэффициенты усиления усилителей по мощности $K_P = K_U K_I$ и КПД $\eta = \frac{U_{H.m}^2 / (2R_H)}{U_{II} I_{II}}$, где для схемы на БТ $I_{II} = I_{K0} + I_{B0}$, для схемы на ПТ $I_{II} = I_{C0}$.

3.3. Контрольные вопросы

1. Что такое электронный усилитель?
2. Назовите основные элементы усилителя.
3. Объяснить принцип действия транзисторного усилителя. Каково назначение транзистора в усилительном каскаде?
4. Какими параметрами характеризуется усилитель?
5. Как определить полосу пропускания усилителя?
6. Чем обусловлены нелинейные искажения?
7. В чём причина спада амплитудно-частотной характеристики на низких частотах?
8. В чём причина спада амплитудно-частотной характеристики на высоких частотах?
9. Какие характеристики транзисторов используются при расчёте усилителей?
10. Как задаётся рабочий режим биполярного транзистора по постоянному току?
11. Как задаётся рабочий режим полевых транзисторов по постоянному току?
12. В чём заключается принцип автоматического смещения в усилительном каскаде на полевом транзисторе с управляющим переходом?
13. Как осуществляется температурная стабилизация в усилителях на транзисторах?
14. Пояснить назначение резисторов и конденсаторов в усилителях на биполярных транзисторах.
15. Пояснить назначение резисторов и конденсаторов в усилителях на полевых транзисторах.
16. Какое влияние на параметры усилителя на биполярном транзисторе с эмиттерной стабилизацией оказывает включение конденсатора C_3 ?
17. Какое влияние на параметры усилителя на полевом транзисторе оказывает включение конденсатора C_{II} ?
18. Какое влияние оказывает сопротивление нагрузки на параметры усилителя?