

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА
НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ,
ВКЛЮЧЕННОМ ПО СХЕМЕ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ**

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Схемотехника аналоговых электронных устройств»
для студентов очной и заочной форм обучения
направлений 11.03.01 — «Радиотехника»,
11.03.02 — «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
и специальности 11.05.01 — «Радиоэлектронные системы
и комплексы»

Севастополь
СевГУ
2019

УДК 621.396.1
И88

Р е ц е н з е н т:

И.Л. Афонин - доктор технических наук, профессор

Ответственный за выпуск:

И.Л. Афонин - заведующий кафедрой «Радиоэлектроника и телекоммуникации»,
доктор техн. наук, профессор

Составитель: А.В. Мельников

И88 **Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером:** учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Схемотехника аналоговых электронных устройств» для студентов очной и заочной форм обучения направлений 11.03.01 — «Радиотехника», 11.03.02 — «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» / Сост. А.В. Мельников. — Севастополь: СевГУ, 2019. — 17 с.

Цель учебно-методического пособия — оказать помощь студентам в подготовке и выполнении лабораторной работы по дисциплине «Схемотехника аналоговых электронных устройств», а также в получении теоретических знаний по методам построения и методам исследования основных характеристик усилительных каскадов.

УДК 621.396.1

Учебно-методическое пособие утверждено на заседании кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации», протокол № 9 от 4 марта 2019 года.

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании Ученого совета Института радиоэлектроники и информационной безопасности, протокол № 7 от 13 марта 2019 года.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА, ВКЛЮЧЕННОГО ПО СХЕМЕ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ

1. Цель работы

Определить основные показатели и изучить влияние элементов схемы на амплитудно-частотную характеристику каскада усиления напряжения на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером.

2. Краткие теоретические сведения

Напряжение на выходе многих источников сигнала (микрофон, звуковоспроизводящая головка магнитофона, детекторное устройство приемника и т.д.) имеют малый уровень. Поэтому слабые сигналы предварительно усиливают с помощью однокаскадного или многокаскадного усилителя напряжения до уровня, достаточного для нормальной работы выходного усилителя мощности. Число каскадов в многокаскадных усилителях напряжения зависит от требуемого значения коэффициента усиления по напряжению.

Основным требованием к каскаду усиления напряжения является получение высокого коэффициента усиления по напряжению. Поэтому биполярные транзисторы обычно включают по схеме с общим эмиттером, а для уменьшения в каскадах предварительного усиления нелинейных искажений, почти всегда используют режим А.

Особенности работы усилительного каскада с общим эмиттером рассмотрим на примере схемы, изображенной на рис. 1, получившей наибольшее распространение в каскадах усиления напряжения.

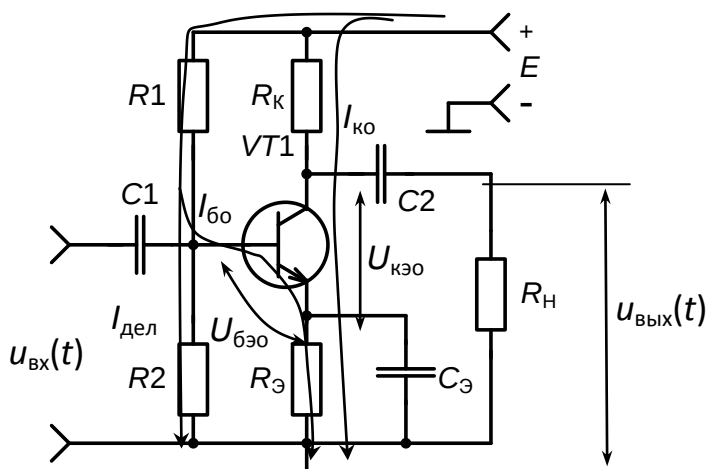


Рис. 1 — Схема усилительного каскада на транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером

Название схемы «с общим эмиттером» означает, что вывод эмиттера по переменному току является общим для входной и выходной цепей каскада.

Основными элементами схемы являются источник питания E , управляемый элемент — транзистор $VT1$ и резистор R_k , включенный в цепь коллектора. Эти элементы образуют выходную цепь, в которой за счет протекания коллекторного тока создается усиленное переменное напряжение на выходе схемы. Остальные элементы каскада выполняют вспомогательную роль.

Конденсаторы $C1$ и $C2$ являются разделительными. Номиналы этих конденсаторов выбирают таким образом, чтобы в рабочей полосе частот их сопротивления были близки к нулю. Конденсатор $C1$ исключает шунтирование входной цепи усилительного каскада цепью источника входного сигнала по постоянному току, что позволяет, во-первых, исключить протекание постоянного тока через источник входного сигнала и, во-вторых, обеспечить независимость постоянного напряжения на базе транзистора $U_{б0}$ от внутреннего сопротивления источника сигнала. Конденсатор $C2$ обеспечивает передачу в цепь нагрузки (сопротивление R_n) переменной составляющей выходного напряжения, выделяющегося на сопротивлении R_k (на коллекторе транзистора), а также исключает возможность протекания постоянного тока от источника питания через нагрузку.

Резисторы $R1$ и $R2$ используются для задания режима покоя каскада. Они создают постоянное напряжение на базе транзистора и постоянный ток покоя базы $I_{б0}$, необходимые для работы с переменным по знаку входным сигналом. Постоянная составляющая тока базы $I_{б0}$ протекает от положительного к отрицательному полюсам источника питания E через резистор $R1$. Выходной ток покоя транзистора (ток коллектора $I_{к0}$) определяется величиной тока покоя базы $I_{б0}$.

Постоянные токи и напряжения в отсутствии сигнала определяют так называемую «точку покоя» каскада.

Резистор R_3 является элементом цепи отрицательной обратной связи, предназначенным для стабилизации точки покоя каскада при изменении температуры и при воздействии других дестабилизирующих факторов. Конденсатор C_3 , имеющий в рабочей полосе частот ничтожно малое сопротивление, шунтирует резистор R_3 по переменному току, исключая тем самым отрицательную обратную связь по переменной составляющей. Отключение конденсатора C_3 приведет к уменьшению коэффициента усиления схемы.

Подача на вход каскада переменного напряжения от источника сигнала приводит к появлению кроме постоянной составляющей еще и переменной составляющей тока базы транзистора, и, как следствие этого, переменной составляющей тока коллектора. За счет протекания тока коллектора через резистор R_k на нем создается переменная составляющая напряжения, которая через конденсатор $C2$ поступает в цепь нагрузки (резистор R_n).

Если на вход транзистора подать сигнал положительной полярности, то сопротивление транзистора между коллектором и эмиттером уменьшится (транзистор приоткрывается). В этом случае потенциал коллектора относительно общего провода уменьшится. В итоге выходной сигнал оказывается проинвертированным по отношению к входному сигналу.

Для усиления сигнала без искажения связь между постоянными и переменными составляющими в выходной цепи должна быть такой, чтобы амплитудное значение переменных составляющих не превышало значение постоянных составляющих, то есть

$$I_{km} \leq I_{k0} \quad \text{и} \quad U_{выхm} \leq U_{кэ0} . \quad (1)$$

Анализ работы каскада часто производят графоаналитическим методом, основанным на использовании графических построений и расчетных соотношений. Графические построения проводят с использованием выходных и входных статических характеристик транзистора.

На статических выходных характеристиках транзистора (рис. 2) проводят так называемую нагрузочную прямую каскада по постоянному току, представляющую собой геометрическое место точек, координаты которых соответствуют возможным значениям точки покоя каскада.

Зависимость $U_{кэ0} = f(I_{к0})$ найдем из уравнения, составленного на основе второго закона Кирхгофа для выходной цепи каскада

$$E = I_{к0} R_k + U_{кэ0} + I_{э0} R_э . \quad (2)$$

Если считать, что $I_{э0} \approx I_{к0}$, то уравнение (2) может быть приведено к виду

$$U_{кэ0} = E - I_{к0} (R_k + R_э) . \quad (3)$$

Сумму сопротивлений, по которым протекает постоянная составляющая тока коллектора, называют сопротивлением выходной цепи для постоянного тока. Для схемы изображенной на рис. 1 сопротивление выходной цепи для постоянного тока равно

$$R_{\Sigma} = R_k + R_э . \quad (4)$$

Выражение (3) является уравнением прямой линии. В связи с этим построение нагрузочной прямой каскада по постоянному току удобно проводят по двум точкам, характеризующим режим холостого хода и короткого замыкания в выходной цепи каскада. Координаты этих точек:

$$\begin{aligned} I_{к0} &= 0 ; \quad U_{кэ0} = E ; \\ U_{кэ0} &= 0 ; \quad I_{к0} = E / (R_k + R_э) = E / R_{\Sigma} . \end{aligned}$$

Нагрузочную характеристику по постоянному току можно провести под углом α , который определяется из выражения

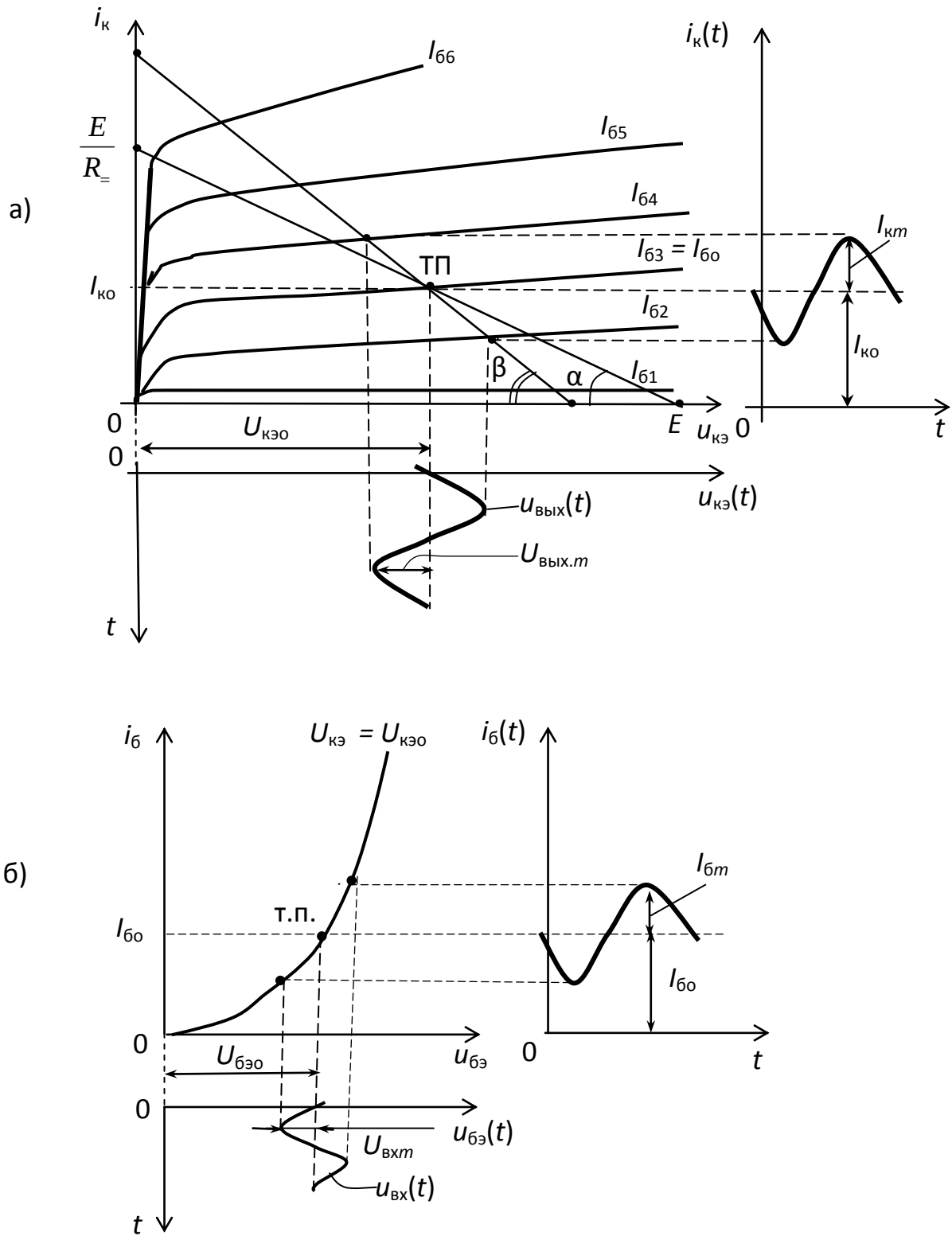


Рис. 2 — Диаграммы работы выходной цепи (а) и входной цепи (б) усилительного каскада

$$\alpha = \arctg\left(\frac{1}{R_{\equiv}} \cdot \frac{m_u}{m_i}\right), \quad (5)$$

где m_u и m_i — коэффициенты, учитывающие масштаб по оси абсцисс и ординат соответственно.

Точки пересечения нагрузочной прямой со статическими выходными характеристиками транзистора дают графическое решение уравнения (3) для заданного сопротивления $R_{\equiv}$ и различных значений тока базы I_b . По этим точкам можно, задавшись током базы I_{b0} , определить коллекторный ток $I_{ко}$, а также напряжение $U_{кэ0}$.

Точка покоя (ТП) находится на пересечении нагрузочной прямой для постоянного тока и выходной статической характеристикой транзистора для заданного тока базы I_{b0} .

При определении переменных составляющих выходного напряжения каскада и коллекторного тока транзистора используют нагрузочную прямую каскада по переменному току.

При построении нагрузочной прямой каскада по переменному току учитывают, что резистор R_3 шунтируется в рабочей полосе частот конденсатором C_3 , а к коллекторной цепи через ничтожно малое сопротивление разделительного конденсатора $C2$ подключается нагрузка R_n . С учетом того, что внутреннее сопротивление источника питания E для переменного тока близко к нулю, оказывается, что в рабочей полосе частот нагрузкой каскада по переменному току $R_{н\sim}$ являются параллельно включенные резистор R_k и сопротивление нагрузки R_n , то есть

$$R_{н\sim} = \frac{R_k R_n}{R_k + R_n}. \quad (6)$$

Из сравнения выражений (4) и (6) видно, что для схемы, изображенной на рис. 1, сопротивление нагрузки каскада по постоянному току больше, чем по переменному току. Следовательно, наклон нагрузочной прямой по переменному току будет отличаться от наклона нагрузочной прямой по постоянному току. Угол наклона нагрузочной прямой переменного тока к оси абсцисс можно найти из выражения

$$\beta = \arctg\left(\frac{1}{R_{н\sim}} \cdot \frac{m_u}{m_i}\right). \quad (7)$$

Нагрузочные прямые по постоянному и переменному токам пересекаются в точке покоя.

При подаче на вход каскада переменного напряжения $u_{вх}(t)$ создается переменная составляющая тока базы, определяемая входной характеристикой транзистора (рис. 3,б). При этом в коллекторной цепи транзистора создается переменная составляющая тока коллектора $i_k(t)$ (рис. 2,а) и переменное

выходное напряжение $u_{\text{вых}}(t)$. Нагрузочная прямая по переменному току характеризует взаимосвязь мгновенных значений тока $i_k(t)$ и напряжения $u_{kэ}(t)$. Рабочая точка при подаче на вход переменного сигнала перемещается по нагрузочной прямой переменного тока. При этом рабочая точка перемещается вниз от точки покоя при уменьшении тока базы, и вверх — при увеличении.

Очевидно, что для исключения искажений выходного сигнала необходимо, чтобы рабочая точка при перемещении вверх по нагрузочной прямой не заходила в область нелинейных начальных участков выходных характеристик, а при перемещении вниз — в область отсечки тока коллектора. Работа каскада без искажений выходного сигнала достигается за счет правильного выбора режима работы каскада.

К основным параметрам, характеризующим каскады предварительного усиления, относят: коэффициенты усиления (по напряжению, току и мощности), полоса пропускания (определяемая при заданном коэффициенте амплитудно-частотных искажений) и динамический диапазон усиливаемых напряжений.

Комплексный коэффициент усиления напряжения $\dot{K}$ — это отношение комплексной амплитуды напряжения на выходе к комплексной амплитуде напряжения на входе каскада

$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_{\text{вых}m}}{\dot{U}_{\text{вх}m}} = K e^{j\varphi},$$

где $\dot{U}_{\text{вых}m}$, $\dot{U}_{\text{вх}m}$ — комплексные амплитуды напряжений на выходе и входе усилителя; K — модуль комплексного коэффициента усиления, называемый просто «коэффициент усиления»; φ — сдвиг фазы между выходным и входным напряжениями.

Аналогично определяют комплексный коэффициент усиления по току $\dot{K}_I$ и коэффициент усиления мощности K_p

$$\dot{K}_I = \frac{\dot{I}_{\text{вых}m}}{\dot{I}_{\text{вх}m}} = K_I e^{j\varphi}, \quad K_p = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}},$$

где $\dot{I}_{\text{вых}m}$, $\dot{I}_{\text{вх}m}$ — комплексные амплитуды тока на выходе и входе усилителя; $P_{\text{вых}}$, $P_{\text{вх}}$ — мощности на выходе и входе усилителя.

$\dot{K}$ и $\dot{K}_I$ являются комплексными величинами. Основной причиной этого является наличие в цепях усилителя и его нагрузке реактивных элементов, что приводит к сдвигу по фазе выходного напряжения и тока относительно входного напряжения и тока.

Обычно интерес представляет активная потребляемая и активная отдаваемая в нагрузку мощность. В этом случае K_p является действительным числом.

Выразим K_p через коэффициенты усиления по току и напряжению

$$K_p = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{0,5 \cdot U_{\text{выхт}} I_{\text{выхт}}}{0,5 \cdot U_{\text{вхт}} I_{\text{вхт}}} = K K_I \quad .$$

Коэффициент усиления в области средних частот, в пределах которой он практически не зависит от частоты, называют номинальным коэффициентом усиления и приписывают ему дополнительный индекс «нуль»:

$$K(f_{\text{ср}}) = K_0 = \frac{U_{\text{выхт}}(f_{\text{ср}})}{U_{\text{вхт}}(f_{\text{ср}})} \quad .$$

Номинальный коэффициент усиления — действительное число.

Коэффициенты усиления часто выражают в логарифмических единицах (децибелах)

$$K_{\text{дБ}} = 20 \lg K \quad , \quad K_{I, \text{дБ}} = 20 \lg K_I \quad , \quad K_{p, \text{дБ}} = 10 \lg K_p \quad .$$

Зависимость коэффициента усиления усилителя от частоты называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) усилителя, а зависимость фазового сдвига от частоты — фазо-частотной характеристикой (ФЧХ).

У идеального усилителя коэффициент усиления остается постоянным во всем диапазоне частот. Поэтому АЧХ идеального усилителя имеет вид прямой линии, параллельной оси абсцисс. У реальных усилителей коэффициент усиления не остается постоянным, что приводит к отличию АЧХ реального усилителя от АЧХ идеального усилителя (рис. 3).

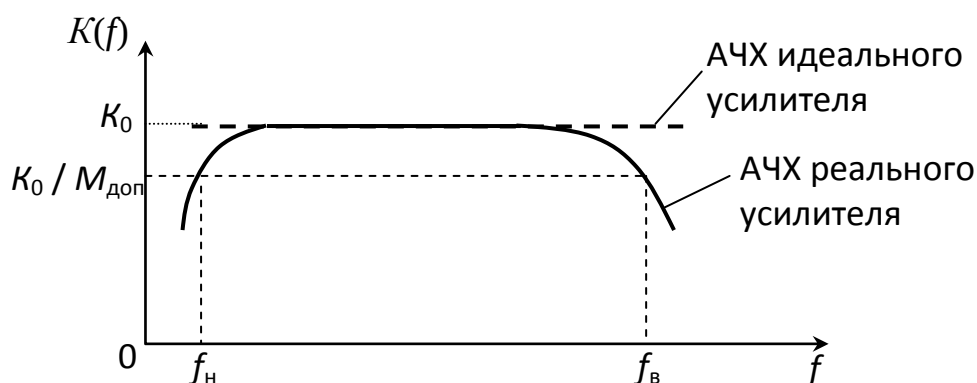


Рис. 3 — Амплитудно-частотная характеристика усилителя

Амплитудно-частотную характеристику усилителя условно разбивают на три области: область нижних, область средних и область верхних частот. На рис. 3 буквой $M_{\text{доп}}$ обозначен допустимый уровень неравномерности коэффициента усиления в рабочей полосе частот.

Уменьшение коэффициента усиления на нижних частотах обусловлено, в основном, влиянием разделительных конденсаторов (C_1 , C_2) и влиянием конденсатора в цепи эмиттера транзистора (C_3) (см. рис. 1), а в области верхних

частот — ухудшением частотных свойств транзистора, а также влиянием паразитных емкостей схемы.

Часто при построении АЧХ коэффициент усиления нормируют к величине коэффициента усиления в области средних частот (K_0). Нормированный коэффициент усиления на средней частоте принимает значение равное единице. Нормированную АЧХ удобно использовать при сравнении частотных характеристик каскадов с различными коэффициентами усиления.

Количественно частотные искажения оценивают коэффициентом частотных искажений $M(f)$

$$M(f) = K_0 / K(f) ,$$

где $K(f)$ — коэффициент усиления на частоте f .

Коэффициент частотных искажений показывает, во сколько раз коэффициент усиления на данной частоте меньше коэффициента усиления на средних частотах. Чем больше M отличается от единицы, тем больше вносимые усилителем частотные искажения.

Обычно коэффициент частотных искажений находят отдельно для нижних и верхних частот

$$M_{\text{н}} = K_0 / K_{\text{н}} , \quad M_{\text{в}} = K_0 / K_{\text{в}} ,$$

При последовательном включении нескольких каскадов результирующий коэффициент частотных искажений рассчитывают как произведение коэффициентов частотных искажений отдельных каскадов (если M выражено в относительных единицах) или как сумму (если M выражено в децибелах). Например, для двухкаскадного усилителя

$$M_{\Sigma} = M_1 M_2 ,$$

или

$$M_{\Sigma, \text{дБ}} = M_{1, \text{дБ}} + M_{2, \text{дБ}} .$$

где M_1 , M_2 — коэффициент частотных искажений 1-го и 2-го каскадов соответственно.

Диапазоном рабочих частот или полосой пропускания усилителя называют полосу частот, в пределах которой частотные искажения не превышают допустимых значений.

Полосу пропускания усилителя можно определить по АЧХ, используя заданные коэффициенты частотных искажений на нижних и верхних частотах (см. рис. 3).

Обычно полосу пропускания определяют при $M_{\text{доп}} = \sqrt{2}$ (3 дБ), что соответствует уменьшению коэффициентов усиления по напряжению или току на верхней и нижней граничных частотах в $\sqrt{2} \approx 1,41$ раза (а мощности в 2 раза) от их значений на средней частоте. В этом случае $M_{\text{н, дБ}} = M_{\text{в, дБ}} = 3$ дБ .

Амплитудной характеристикой (АХ) усилителя называют зависимость амплитуды выходного напряжения от амплитуды входного напряжения. Типичная амплитудная характеристика усилителя изображена на рис. 4. АХ идеального усилителя представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат. АХ реального усилителя отличается от идеальной.

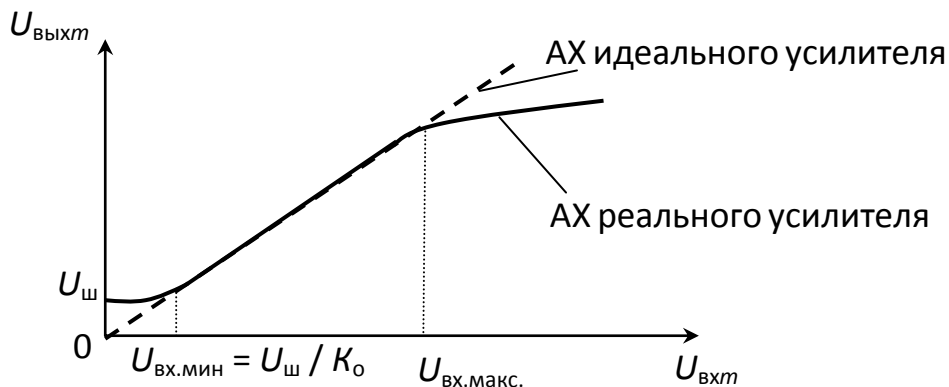


Рис. 4 — Амплитудная характеристика усилителя

Если напряжение сигнала поданного на вход меньше, чем $U_{\text{вх.мин}}$ (см. рис. 4), то на выходе реального усилителя этот сигнал будет маскироваться (заглушаться) напряжением собственных шумов усилителя $U_{\text{ш}}$. При значительном увеличении напряжения сигнала (если $U_{\text{вх}} > U_{\text{вх.макс}}$) сильно возрастают нелинейные искажения, проявляющиеся в виде ограничения сигнала по амплитуде.

Отношение $U_{\text{вх.макс.}}/U_{\text{вх.мин.}}$ в пределах линейной части амплитудной характеристики характеризует диапазон напряжений, усиливаемых данным усилителем с допустимым уровнем нелинейных искажений. Это отношение называют динамическим диапазоном усилителя. Он выражается в относительных или логарифмических единицах

$$D = U_{\text{вх.макс.}}/U_{\text{вх.мин.}}, \quad D_{\text{дБ}} = 20\lg D.$$

3. Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят: модули «Апериодический усилитель» (рис. 5), «Функциональный генератор» (рис. 6), «Мультимеры» (рис. 7), а также двухлучевой цифровой осциллограф типа «KEYSIGHT DSOX 1102G». На лицевой панели модуля «Апериодический усилитель» находятся гнезда для подключения модуля «Функциональный генератор», двухлучевого осциллографа и др. измерительных приборов.

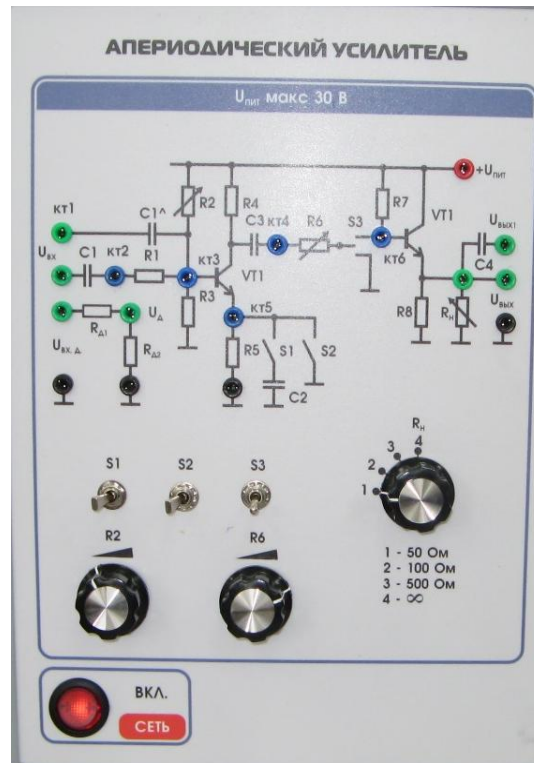


Рис. 5 — Внешний вид модуля «Апериодический усилитель»



Рис. 6 — Внешний вид модуля «Функциональный генератор»



Рис. 7 — Внешний вид модуля «Мультимеры»

Принципиальная схема усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером, изображена на рис. 8. Конструктивно он собран в модуле «Апериодический усилитель». В этом модуле собрана также схема каскада с общим коллектором ($VT1$, $R7$, $R8$, R_H , $C4$), которая в данной работе не исследуется. Питание цепей каскада производится от встроенного в модуль источника напряжения $U_{пит} = 15$ В. Включатель напряжения питания («ВКЛ») находится в нижней части модуля.

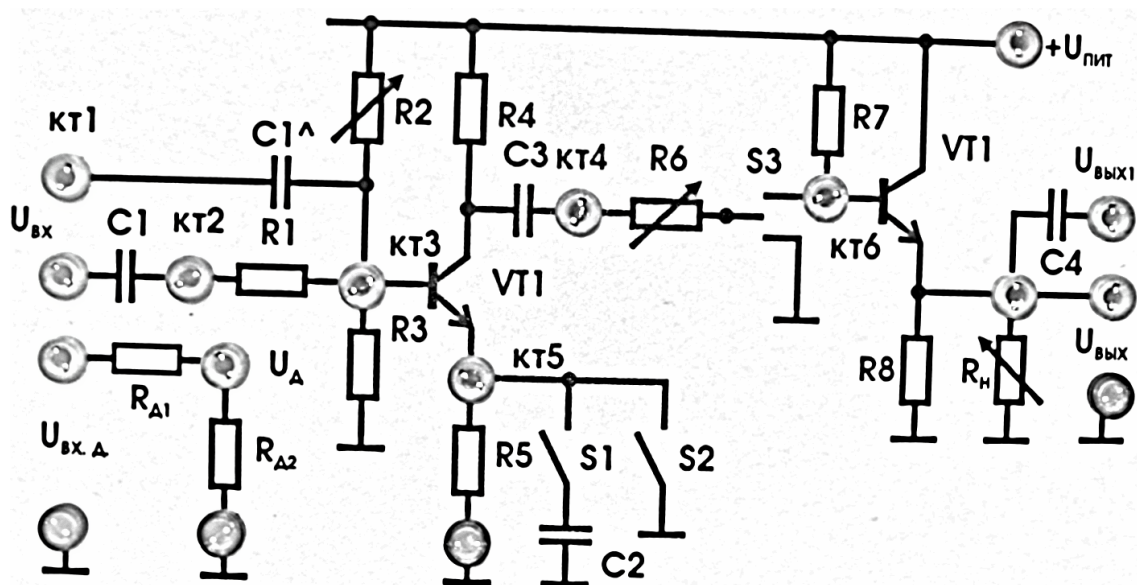


Рис. 8 — Принципиальная схема лабораторного макета

Для установки точки покоя в цепь базы транзистора VT1 подано напряжение смещения, снимаемое с регулируемого делителя напряжения $R2$ — $R3$. Резистор $R2$ выполнен переменным. Его величина может изменяться с помощью ручки « $R2$ ».

Резистор $R5$ в цепи эмиттера служит для температурной стабилизации точки покоя, осуществляемой с помощью отрицательной обратной связи по постоянному току.

Резистор $R1$ введен в схему для измерения входного сопротивления каскада.

Входом исследуемого каскада являются гнезда « $кт1$ » и «Общий» или (при измерении входного сопротивления) гнезда « U_{BX} » и «Общий».

Выходом каскада с общим эмиттером являются гнезда « $кт4$ » и «Общий». При установке переключателя « $S3$ » в нижнее положение к выходу схемы может быть подключена нагрузка (переменный резистор $R6$).

4. Порядок выполнения работы

4.1. Подключите нагрузку (резистор $R6$) к схеме каскада с общим эмиттером с помощью переключателя « $S3$ », расположенного на передней панели модуля.

4.2. Вращая ручку резистора $R6$ по часовой стрелке, установите его максимальное значение.

4.3. Переключатели « $S1$ » и « $S2$ » установите в разомкнутое состояние.

4.4. Ко входу исследуемой схемы (гнезда « $кт1$ » и «Общий») подключите выход модуля «Функциональный генератор», а к выходу исследуемой схемы (гнезда « $кт4$ » и «Общий») подключите вход 1 цифрового осциллографа (рис. 9).



Рис. 9 — Внешний вид лицевой панели осциллографа KEYSIGHT DSOX 1102G

4.5. Включите модуль «Функциональный генератор» и установите частоту 1 кГц, выходное напряжение — $U = 0$ В, форма выходного напряжения – синусоидальная.

4.6. Увеличивая напряжение на входе исследуемой схемы, наблюдайте на экране осциллографа форму выходного напряжения и, изменяя сопротивление резистора $R2$, добейтесь одновременного появления искажений положительной и отрицательной полуволн выходного напряжения. В этом случае точка покоя находится в середине линейного участка проходной характеристики.

4.7. С помощью модуля «Мультиметры» измерьте постоянные напряжения относительно общего провода на базе и эмиттере транзистора. Рассчитайте напряжение база-эмиттер транзистора.

4.8. Снимите амплитудную характеристику каскада на частоте 1 кГц. Для этого:

- подайте напряжение от модуля «Функциональный генератор» на вход усилителя (гнезда «к1» и «Общий»);

- канал 1 осциллографа подключите ко входу усилителя параллельно генератору, а канал 2 к выходу усилителя (гнезда «к4» и «Общий»);

- изменяя входное напряжение в пределах от 0 до максимального неискаженного выходного напряжения, наблюдаемого на экране осциллографа, снимите зависимость $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$. Количество измерений должно быть не менее семи;

- рассчитайте коэффициент усиления на линейном участке амплитудной характеристики;

- определим динамический диапазон усилителя.

4.9. Снимите амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) каскада при использовании на входе каскада разделительного конденсатора $C1^{\wedge}$. Для этого:

- подключите на вход исследуемой схемы (гнезда «к1» и «Общий») выход осциллографа «Gen Out» и параллельно ему вход канала 1 осциллографа;

- подключите канал 2 осциллографа к выходу схемы (гнезда «к4» и «Общий»);

- установите на осциллографе режим анализа частотной характеристики (включите функцию «FRA»);

- установите минимальную частоту анализа 20 Гц, максимальную — 20 МГц;

- нажмите на осциллографе кнопку «Пуск анализ». На экране осциллографа появится АЧХ и ФЧХ анализируемой схемы;

- определите, используя курсор, коэффициент усиления на частоте 1 кГц. Сравните полученное значение с измеренным при исследовании амплитудной характеристики;

- определите полосу пропускания усилителя по уровню 3 дБ;

- определите фазовые сдвиги на нижней и верхней частотах полосы пропускания;

4.10. Снимите АЧХ каскада при параллельном включении конденсаторов $C1^{\wedge}$ и $C1$ на входе. Для этого:

— установите две перемычки: одну между гнездами «кт1» и « $U_{\text{вх}}$ », вторую — между гнездами «кт2» и «кт3» (закоротите резистор $R1$);

— проведите исследования АЧХ по методике, описанной в п. 4.9.

4.11. Измерьте входное сопротивление каскада с ОЭ. Для этого:

— подключите выход модуля «Функциональный генератор» ко входу исследуемой схемы (гнезда « $U_{\text{вх}}$ » и «Общий»). Параллельно подключите канал 1 цифрового осциллографа. Канал 2 цифрового осциллографа подключите к выходу каскада (гнезда «кт4» и «Общий»);

— установите в модуле «Функциональный генератор» синусоидальное напряжение частотой 1 кГц. Увеличивая амплитуду синусоидального напряжения на входе каскада, установите неискаженное синусоидальное напряжение на выходе усилителя;

— переключите канал 2 осциллографа к гнездам «кт2» и «Общий».

— измерьте при помощи цифрового осциллографа (режим «AC RMS ПЭ») напряжение U_1 между гнездами « $U_{\text{вх}}$ » и «Общий», а также напряжение U_2 между гнездами «кт1» (см. рис. 5) и «Общий»;

— рассчитайте входное сопротивление каскада по формуле

$$R_{\text{вх}} = R_1 \frac{U_2}{U_1 - U_2} ;$$

где $R_1 = 1 \text{ кОм}$;

U_1 — напряжение между гнездами « $U_{\text{вх}}$ » и «Общий»;

U_2 — напряжение между гнездами «кт1» и «Общий».

4.12. Измерьте выходное сопротивление каскада с общим эмиттером. Для этого:

— подключите выход модуля «Функциональный генератор» ко входу исследуемой схемы (гнезда « $U_{\text{вх}}$ » и «Общий»). Установите в модуле «Функциональный генератор» синусоидальное напряжение частотой 1 кГц;

— установите переключатель «S3» в среднее положение;

— подключите канал 2 осциллографа к выходу каскада (гнезда «кт4» и «Общий»);

— измерьте напряжение на выходе $U_{\text{вых1}}$;

— переключатель «S3» установите в нижнее положение и, вращая ручку потенциометра «R6», добейтесь уменьшения выходного напряжения в два раза, то есть $U_{\text{вых2}} = U_{\text{вых1}} / 2$;

— отключите осциллограф от выхода каскада, выключите модуль «Апериодический усилитель» и, используя модуль «Мультимеры», измерьте сопротивление резистора $R6$ (сопротивление между гнездами «кт4» и «Общий»).

5. Содержание отчета

5.1. Цель работы.

5.2. Принципиальная схема лабораторного макета.

5.3. Результаты измерений, проведенных в п.п. 4.7 и 4.8, а также амплитудная характеристика, построенная по измерениям п.п. 4.8. Экспериментально найденные значения коэффициента усиления и динамического диапазона.

5.4. Результаты измерений, проведенных в п.п. 4.9 и 4.10, а также амплитудно-частотные характеристики, построенные по этим данным.

5.5. Результаты измерений, проведенных в п.п. 4.11 и 4.12, а также и расчеты входного и выходного сопротивлений усилителя.

5.6. Выводы.

6. Контрольные вопросы

6.1. Что называется амплитудной характеристикой усилителя? Какой вид имеет идеальная и реальная амплитудные характеристики?

6.2. Поясните методику измерения амплитудной характеристики.

6.3. Дайте определение динамического диапазона усилителя? Как его можно расширить?

6.4. Дайте определение амплитудно-частотной характеристики усилительного каскада?

6.5. Дайте определение коэффициента частотных искажений?

6.6. Поясните методику измерения амплитудно-частотной характеристики.

6.7. Дайте определение нижней и верхней граничных частот полосы пропускания? Как они определяются?

6.8. Как экспериментально определить полосу пропускания усилителя?

6.9. Дайте определение фазочастотной характеристики усилительного каскада.

6.9. Поясните назначение элементов схемы резистивного усилительного каскада.

6.10. Что называется точкой покоя усилительного каскада? На каком участке проходной характеристики она выбирается?

6.11. Покажите на схеме каскада пути прохождения постоянных токов.

6.12. Почему коэффициент усиления усилителя зависит от частоты?

6.13. В области каких частот разделительный конденсатор оказывает влияние на АЧХ каскада? Как величина частотных искажений, вносимых этим конденсатором, зависит от других элементов схемы?

6.14. Что такое нагрузочная характеристика? Поясните методы построения нагрузочных характеристик по постоянному и переменному токам.

6.15. Поясните работу каскада с использованием нагрузочных характеристик.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ, ВКЛЮЧЕННОМ ПО СХЕМЕ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ

*Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Схемотехника аналоговых электронных устройств»*

*Составитель: **Мельников** Анатолий Викторович*

В авторской редакции

Изд. № 116/19. Объём 1,25 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет"