

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Электротехнический факультет

Кафедра электротехники и электроники

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА
И УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА
ПО СХЕМЕ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ**

Методические указания к лабораторной работе №3

Дисциплины “Информационно-измерительная техника и электроника. Часть
II”, “Физические основы электроники”

Специальности 1001, 1002, 1004, 1813

Киров 2004

Печатается по решению редакционно-издательского совета Вятского государственного университета

УДК 621.382.3(07)
И889

Рецензент: кандидат технических наук, доцент А.Г. Корепанов

Составители: кандидат технических наук, доцент И.Л. Кривошеин,
старший преподаватель Ю.В. Кротов,
преподаватель А.С. Морозов,
преподаватель В.А. Хлебников.

Редактор Е.Г. Козвонина

Подписано в печать
Бумага офсетная
Заказ № 297

Бесплатно

Усл.печ.л. 1,1
Печать копир Aficio 1022
Тираж 52 экз.

Текст напечатан с оригинала-макета, представленного составителями

610000, г. Киров, ул. Московская, 36
Оформление обложки, изготовление – ПРИП ВятГУ

© Вятский государственный университет, 2004

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с устройством и электрическими свойствами биполярного транзистора, изучить принципы работы однокаскадного транзисторного усилителя, включенного по схеме с ОЭ.

2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Устройство транзистора

Транзистор - слово, составленное из двух английских слов – начала слова transfer (преобразовывать) и окончания слова resistor (сопротивление). Биполярным транзистором называют полупроводниковый прибор, имеющий два взаимодействующих электронно-дырочных перехода и трехслойную структуру n-p-n или p-n-p типа (рис. 2.1).

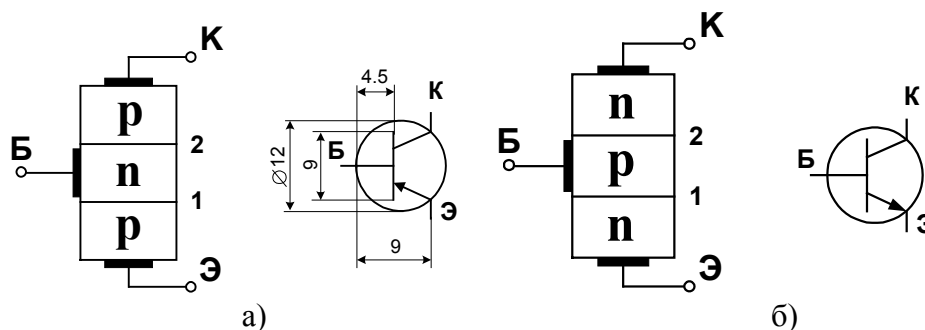


Рис.1. Соединения областей и условно-графические обозначения транзисторов типов p-n-p (а) и n-p-n (б): 1- эмиттерный, 2 – коллекторный переходы

Средняя область называется базой (Б), а наружные – эмиттером (Э) и коллектором (К). Переход между эмиттером и базой называют эмиттерным, переход между коллектором и базой – коллекторным.

Биполярные транзисторы средней и большой мощности изготовляют сплавным методом (рис. 2).

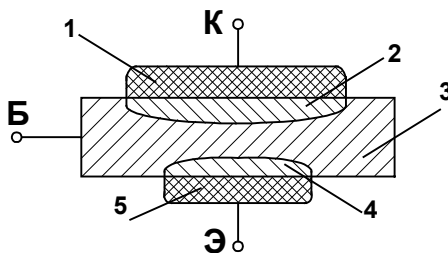


Рис.2 Устройство сплавного плоскостного транзистора, где:
1, 5 – индий; 2 – коллектор (тип p); 3 – база (тип n); 4 – эмиттер (тип p)

В данном случае за основу берётся пластинка германия n-типа, толщиной порядка 0,2 мм. По обе стороны этой пластинки накладывают по таблетке индия (элемент III группы) и кратковременно нагревают до температуры 550-600 °С. При этой температуре индий сплавляется с германием. При остывании они рекристаллизуются и образуют две области с p - проводимостью (эмиттер и коллектор).

2.2. Работа транзистора

В зависимости от полярности (направления) напряжений на переходах транзистор может работать в четырех режимах:

- в нормальном активном режиме при прямом напряжении на эмиттерном переходе и обратном напряжении на коллекторном переходе;
- в режиме отсечки токов при обратных напряжениях на обоих p-n переходах;
- в режиме насыщения при прямых напряжениях на обоих переходах;
- в инверсном активном режиме при обратном напряжении на эмиттерном переходе и прямом – на коллекторном.

Нормальный активный режим соответствует усилительному режиму работы транзистора. На нем следует остановиться более подробно в данной работе.

В усилительных схемах имеются две цепи: входная, или управляющая, и выходная, или управляемая. Поскольку транзистор имеет только три вывода, то один из них должен быть общим для входной и выходной цепи. Поэтому существуют три схемы включения транзистора: с общей базой (ОБ), с общим эмиттером (ОЭ) и с общим коллектором (ОК). Каждая из этих схем обладает своими достоинствами и недостатками.

Принцип действия транзистора рассмотрим на примере транзистора типа p-n-p, включённого с ОЭ. При отсутствии внешних напряжений на границе обоих переходов создаются потенциальные барьеры, в результате чего токи в транзисторе не протекают. Под влиянием приложенного к эмиттерному переходу прямого напряжения потенциальный барьер этого перехода уменьшается и начинается диффузия дырок из эмиттера в базу, а электронов из базы на эмиттер, т.е. через переход начинает протекать прямой (большой) ток. Дырки, перейдя из эмиттера в базу (n-область), становятся там неосновными носителями зарядов, которые в результате диффузии (от большой концентрации к меньшей) двигаются к коллектору. К коллекторному переходу приложено большое обратное напряжение, потенциальный барьер становится большим, и он препятствует движению основных носителей через переход, но зато для неосновных носителей заряда создается сильное ускоряющее поле. Дырки, подойдя к коллекторному переходу как неосновные носители зарядов, втягиваются из базы в коллектор и образуют коллекторный ток.

Переход дырок в базу неизбежно сопровождается их рекомбинацией с электронами базы. Чтобы уменьшить вероятность рекомбинации дырок в базе, необходимо уменьшать толщину базы. Диффузионная длина пробега дырки в германии равна 0,3 ... 0,5 мм, поэтому толщина базы берётся не более 0,25 мм. Кроме того, количество донорной примеси в базе мало, и поэтому концентрация свободных электронов невелика (примерно в 100 раз меньше концентрации дырок в эмиттере). В результате большинство дырок успевает достичь коллекторного перехода, не подвергаясь рекомбинации.

Переход дырок из эмиттера в базу создаёт ток эмиттера $I_{\text{э}}$. При этом уменьшение количества дырок в эмиттере компенсируется уходом из него во внешнюю цепь такого же количества электронов. Коллекторный ток $I_{\text{к}}$ создаётся дырками, достигшими коллектора. Во внешней цепи (коллекторной) цепи течёт поток электронов, поступающих от источника для компенсации избытка дырок в коллекторе.

Так как в базе дырки эмиттера частично рекомбинируются с электронами базы, то в базу из внешней цепи поступают электроны, которые создают ток базы $I_B = I_{\text{Э}} - I_K$ (по 1 закону Кирхгофа). Токи, протекающие в транзисторе и во внешних цепях, показаны на рис. 3.

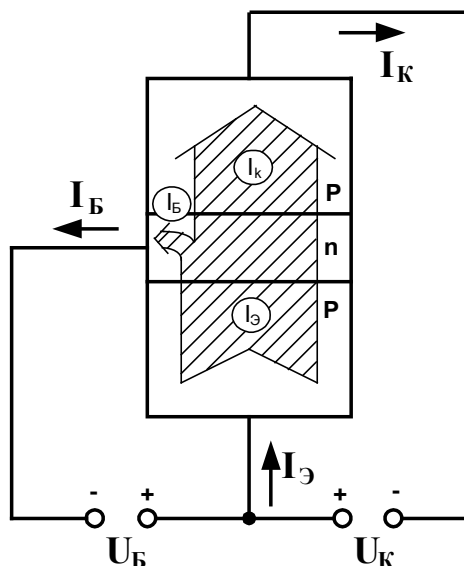


Рис. 3. Схема подачи напряжений на транзистор типа р-п-р и возникающие при этом токи

Ток I_K течёт по цепи от плюса источника питания U_K через эмиттер, базу, коллектор к “минусу” U_K . Ток I_B течёт по цепи: “плюс” U_B - эмиттер - база - “минус” U_B .

Для схемы с ОЭ входным током является ток базы I_B , а выходным - ток коллектора I_K . Дифференциальным коэффициентом передачи (усиления) тока базы β называют отношение приращения тока коллектора к вызвавшему его приращению тока базы:

$$\beta = \Delta I_K / \Delta I_B \text{ при } U_{KЭ} = const ;$$

$$\beta = \Delta I_K / \Delta I_B = \alpha \Delta I_{\text{Э}} / (\Delta I_{\text{Э}} - \alpha \Delta I_{\text{Э}}) = \alpha / (1 - \alpha),$$

где $\alpha = \Delta I_K / \Delta I_{\text{Э}}$ при $U_{KB} = const$ - дифференциальный коэффициент передачи тока из эмиттера в коллектор в схеме с общей базой (ОБ). Величина $\alpha \approx 0,91 \dots 0,999$, соответственно $\beta = 10 \dots 1000$ для транзисторов различных типов.

2.3. Статические характеристики транзистора, включённого по схеме с ОЭ

Статические режимы работы транзистора можно описать с помощью статических входных и выходных характеристик. В схеме с ОЭ входными величинами являются $U_{BЭ}$ и I_B , а входными характеристиками – семейство зависимостей $I_B = f(U_{BЭ})$ при фиксированных значениях $U_{KЭ}$. Выходными величинами являются ток I_K и напряжение $U_{KЭ}$, а выходными характеристиками – семейство зависимостей $I_K = \varphi(U_{KЭ})$ при фиксированных значениях тока I_B . Схема включения транзистора, измерительных приборов и источников напряжения дана на рис. 4.

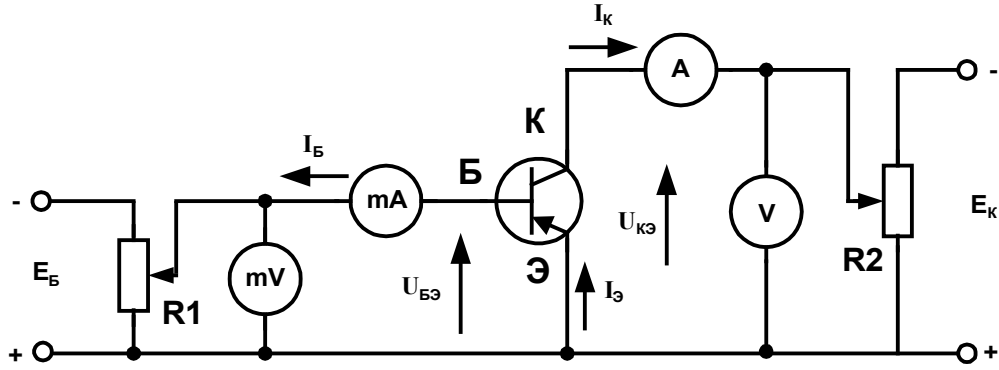


Рис.4. Схема для снятия статических характеристик транзистора, включенного по схеме с ОЭ

При напряжении $U_{КЭ} = 0$ (коллектор с эмиттером замкнуты накоротко) входная характеристика представляет собой прямую ветвь ВАХ двух параллельно включённых р-п переходов, смещённых в прямом направлении (см. рис. 5). При $U_{КЭ} > 0$ входные характеристики сдвигаются вправо и вниз, т.е. ток I_B уменьшается. Объясняется это, во-первых, сужением ширины базы, что сопровождается ослаблением рекомбинации носителей в единицу времени, во-вторых, оба перехода оказываются включёнными встречно, и базовый ток становится разностным: $I_B = I_Э - I_K$. При дальнейшем увеличении напряжения $U_{КЭ}$ сдвиг входных характеристик незначителен, и они практически совпадают. Поэтому в справочниках приводятся только две входные характеристики: для $U_{КЭ} = 0$ и $U_{КЭ} = 5$ В.

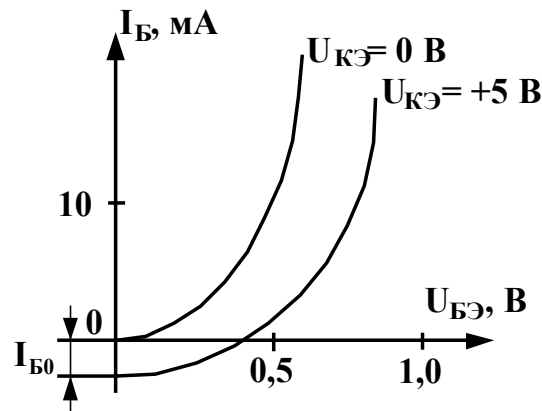


Рис.5. Входные характеристики в схеме с ОЭ

Выходные статические характеристики транзистора с ОЭ приведены на рис. 6. Из рис. 4 видно, что в схеме с ОЭ напряжение, приложенное к коллекторному р-п переходу равно $U_{КЭ} - U_{БЭ}$. Поэтому при $|U_{КЭ}| < |U_{БЭ}|$ напряжение на коллекторном переходе оказывается включённым в прямом направлении. Это приводит к тому, что крутизна выходной характеристики на участке от $U_K = 0$ до $|U_{КЭ}| = |U_{БЭ}|$ (участок OD) большая.

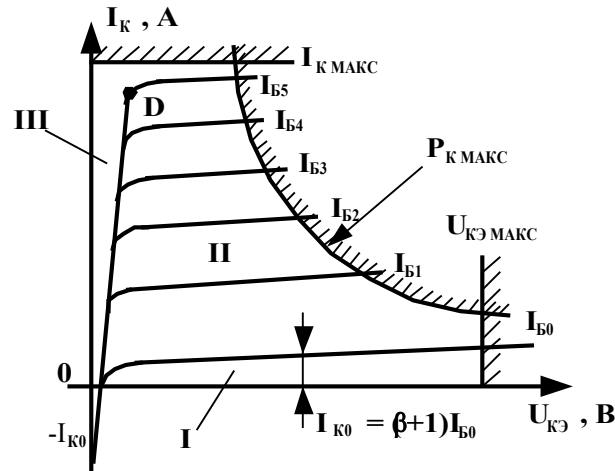


Рис.6. Выходные характеристики в схеме с ОЭ

На участках при $|U_{КЭ}| > |U_{БЭ}|$ коллекторный переход закрыт и крутизна характеристик становится небольшой. Увеличение тока I_K с ростом $U_{КЭ}$ на этих участках объясняется следующим. Напряжение $U_{КЭ}$ (см. рис. 4) приложено к делителю напряжения, состоящему из последовательно включённых сопротивлений: объёмного сопротивления коллектора, сопротивления р-п перехода коллектор - база, сопротивления р-п перехода база - эмиттер, объёмного сопротивления эмиттера. Таким образом, напряжение $U_{КЭ}$ распределяется между этими сопротивлениями прямо пропорционально их величине. Основная часть $U_{КЭ}$ приложена к коллекторному переходу, так как он закрыт, и только незначительная часть $U_{КЭ}$ приложена к эмиттерному переходу, но эта часть приложена к эмиттерному переходу в прямом направлении. При увеличении $U_{КЭ}$ увеличивается прямое смещение эмиттерного перехода, вследствие чего увеличивается $I_{Э}$, а соответственно, и ток I_K . При $I_B = 0$ в цепи коллектора протекает ток $I_{K0} = (\beta + 1)I_{Б0}$, где I_{K0} - обратный (тепловой) ток коллекторного перехода, обусловленный движением неосновных носителей зарядов.

Выходные характеристики пересекают ось ординат в точках $I_K < 0$. При этом величина $|I_K|$ оказывается тем больше, чем больше I_B , так как увеличение I_B достигается с помощью увеличения $|U_{БЭ}|$, что соответственно увеличивает (по модулю) и ток коллектора, текущий в обратном направлении (рис. 6). Начальный участок выходных характеристик, где $I_K < 0$, не имеет практического значения, поэтому в справочниках не приводится. На семействе выходных характеристик выделены три области, соответствующие трём режимам работы транзистора: I - режим отсечки, II - активный режим (усиления), III - режим насыщения.

2.4. Параметры транзистора

Рабочая область выходных характеристик ограничена предельными (справочными) параметрами транзистора: $I_{K \max}$, $U_{KЭ \max}$, $P_{K \max}$ (рис. 6), $f_{ГР}$.

Для расчёта схем пользуются вторичными параметрами транзистора, характеризующими его как активный линейный четырёхполюсник (рис. 7). Активность транзистора проявляется в его усилительных свойствах, линейностью он обладает только при воздействии малых сигналов.

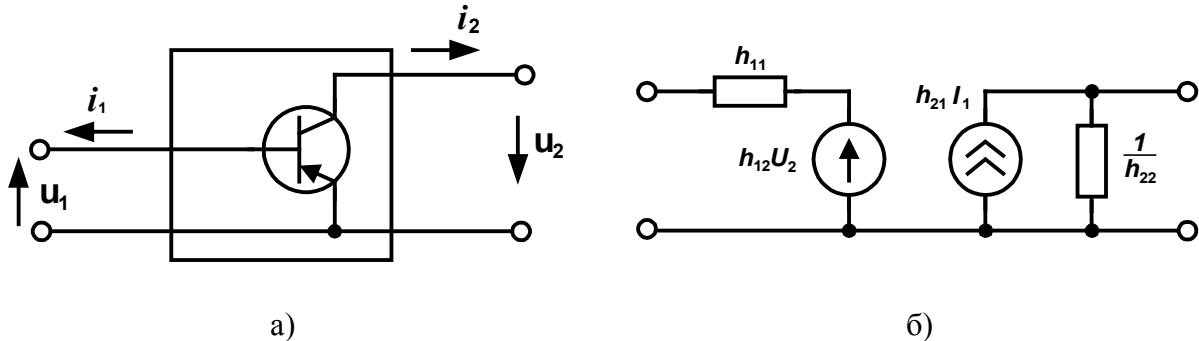


Рис.7. Представление транзистора в схеме с ОЭ в виде четырёхполюсника (а) и схема замещения (б)

В транзисторной технике широкое распространение получила система смешанных малосигнальных h -параметров (рис. 7):

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot u_2 \\ i_2 &= h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot u_2 \end{aligned} \right\}$$

Для схемы с ОЭ $i_1 = i_B$, $i_2 = i_K$, $u_1 = u_{БЭ}$, $u_2 = u_{КЭ}$

h -параметры можно определить по статическим характеристикам транзистора. Для этого выражают значение токов и напряжений через конечные приращения:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_B &= h_{11} \cdot \Delta I_B + h_{12} \cdot \Delta U_K \\ \Delta I_K &= h_{21} \cdot \Delta I_B + h_{22} \cdot \Delta U_K \end{aligned} \right\}$$

По входным характеристикам определяют параметры h_{11} и h_{12} (рис.8).

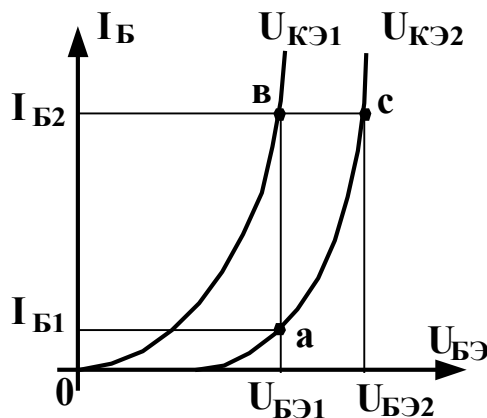


Рис.8. Определение параметров h_{11} и h_{12}

Параметр $h_{11} = \frac{\Delta U_B}{\Delta I_B}$ при $\Delta U_K = 0$, т.е. $U_K = const$.

$h_{11} = \frac{(U_{БЭ2} - U_{БЭ1})}{(I_{Б2} - I_{Б1})}$ при $U_K = const$ - это входное сопротивление транзистора.

Параметр $h_{12} = \frac{\Delta U_B}{\Delta U_K}$ при $\Delta I_B = 0$, т.е. $I_B = const$.

$h_{12} = \frac{(U_{БЭ2} - U_{БЭ1})}{(U_{КЭ2} - U_{КЭ1})}$ при $\Delta I_B = 0$, т.е. $I_B = const$ - это коэффициент обратной связи, показывающий, какая часть напряжения передаётся с выхода транзистора на его вход.

По выходным характеристикам (рис. 9) определяют параметры h_{21} и h_{22} .

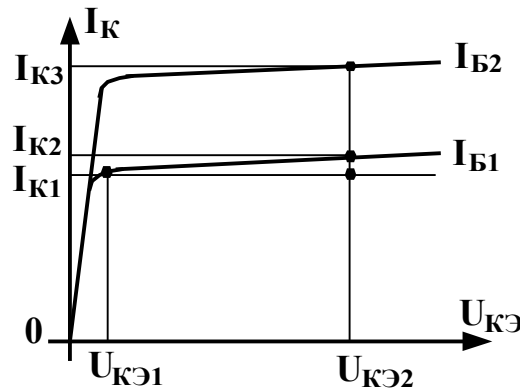


Рис.9. Определение параметров h_{21} и h_{22} .

Параметр $h_{21} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$ при $\Delta U_K = 0$.

$h_{21} = \frac{(I_{К3} - I_{К2})}{(I_{Б2} - I_{Б1})}$ при $U_K = const$ - это коэффициент передачи (усиления) транзистора по току.

Для схемы с ОЭ $h_{21} = \beta$.

Параметр $h_{22} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_K}$ при $\Delta I_B = 0$.

$h_{22} = \frac{(I_{К2} - I_{К1})}{(U_{КЭ2} - U_{КЭ1})}$ при $I_B = const$ - это выходная проводимость транзистора.

Используя h-параметры, можно рассчитать режим работы усилительного каскада на транзисторе.

2.5. Усилительный каскад на транзисторе включенном по схеме с ОЭ

Свойство транзистора изменять ток коллектора при изменении тока базы используется в усилителях электрических колебаний, где изменяющийся ток коллектора преобразуется в изменяющееся выходное напряжение. Для этого статическую схему

включения транзистора дополняют нагрузочным элементом усилителя (резистором, катушкой, обмоткой трансформатора), который включают чаще всего между коллектором транзистора и источником питания. Благодаря нагрузочному элементу обеспечивается динамический режим работы транзистора. Выходную и входную цепи питают от одного источника постоянного напряжения, используя делитель для создания небольшого постоянного напряжения смещения базы $U_{БЭ0}$. Источник усиливаемого сигнала включают в цепь базы.

На рис. 10 приведена простейшая схема усилителя напряжения (мощности) на транзисторе, включённом с ОЭ.

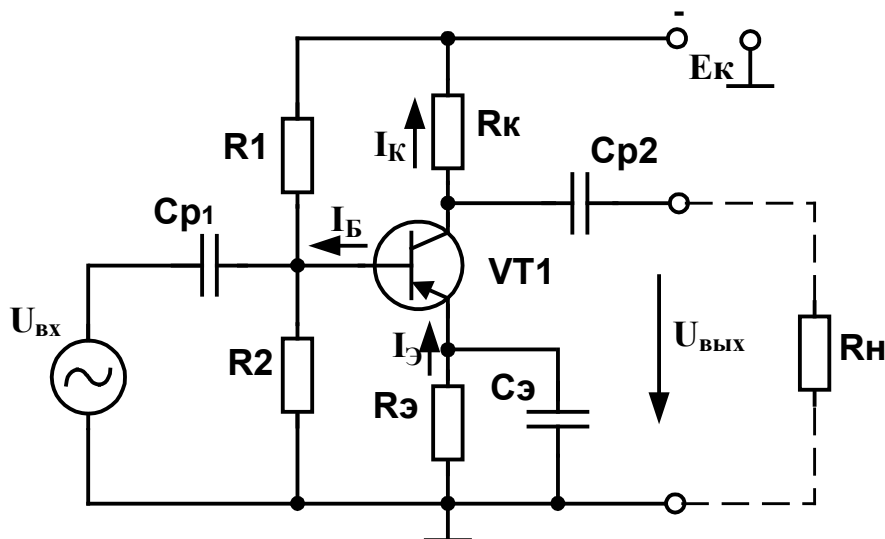


Рис.10. Схема усилительного каскада на транзисторе с ОЭ

Усиливаемый сигнал $U_{вх}$ подается на базу, выходной сигнал снимается с коллектора транзистора через разделительный конденсатор C_{p1} .

На рис. 11 приведены графики, поясняющие принцип действия усилительного каскада. Аналитическое выражение нагрузочной характеристики (линии нагрузки) транзисторного усилительного каскада имеет вид

$$U_{кэ} = E_K - I_K R_K.$$

Это уравнение прямой линии, которая проводится через две точки:

при $I_K = 0$; $U_{кэ} = E_K$ (точка М);

при $U_{кэ} = 0$; $I_K = \frac{E_K}{R_K}$ (точка N).

Рабочая точка А транзистора задаётся током $I_{Б0}$ или напряжением $U_{БЭ0}$ во входной цепи. Эта точка (А) определяет постоянные составляющие коллекторного тока $I_{К0}$ и коллекторного напряжения $U_{КЭ0}$ (режим покоя).

В режиме усиления переменного входного напряжения $u_{вх}$ (рис. 10) ток базы колеблется в определенных пределах, и его можно представить суммой постоянного тока в режиме покоя и переменной составляющей тока, созданной источником входного сигнала. Напряжение $u_{вх}$ подводится ко входу усилителя через разделительный конденсатор $C1$, отфильтровывающий постоянную составляющую напряжения $u_{вх}$. Пульсирующий ток базы вызывает колебания тока коллектора с амплитудой, пример-

но в β раз большей амплитуды переменной составляющей тока базы. Колебания коллекторного тока вызывают колебания напряжения на резисторе R_K и напряжения между коллектором и общей точкой усилителя, которое также можно представить суммой постоянной и переменной составляющих. Переменная составляющая представляет собой выходное (усиленное) напряжение, амплитуда которого равна амплитуде переменной составляющей падения напряжения на резисторе R_K . Приемник R_H подключен к выходу усилительного каскада через разделительный конденсатор C_2 , отфильтровывающий постоянную составляющую коллекторного напряжения.

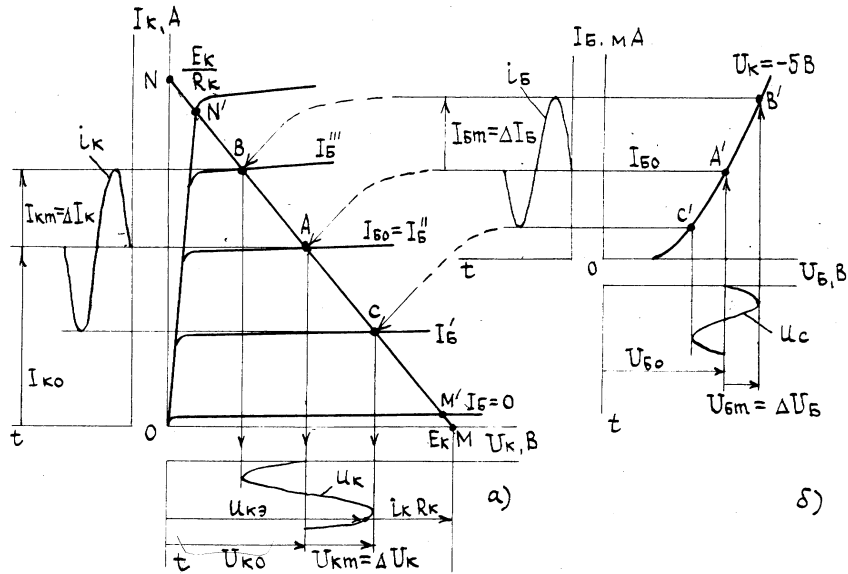


Рис. 11 Графическое построение сигналов в выходной (а) и входной (б) цепях усилителя

Для температурной стабилизации, то есть для уменьшения влияния изменения параметров транзистора от температуры, последовательно с эмиттером включен резистор $R_э$, шунтированный конденсатором $C_э$. Резистор осуществляет отрицательную обратную связь по постоянному току, а конденсатор, сопротивление которого переменному току значительно меньше сопротивления $R_э$, устраняет отрицательную обратную связь по переменному току.

Коэффициент усиления по току каскада с ОЭ соответствует коэффициенту передачи тока базы:

$$K_I = \frac{\Delta I_{вых}}{\Delta I_{вх}} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_b} \approx \beta \gg 1.$$

Коэффициент усиления по напряжению:

$$K_U = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}} = \frac{\Delta U_K}{\Delta U_b} \approx \beta \cdot \frac{R_{вых}}{R_{вх.э}},$$

где $R_{вх.э}$ и $R_{ввых}$ - входное и выходное сопротивления транзистора с ОЭ.

Коэффициент усиления по мощности:

$$K_p = K_I \cdot K_U \approx \beta^2 \frac{R_{вых}}{R_{вх.э}}.$$

Так как $\beta > 1$, то $K_p \gg 1$.

Следует иметь в виду, что в усилительном каскаде с ОЭ входное и выходное напряжения противофазны.

2.6. Характеристики усилительного каскада

Амплитудная характеристика (рис. 12) выражает зависимость амплитудного (действующего) значения входного напряжения на некоторой постоянной частоте

$$U_{\text{вых}} = F(U_{\text{вх}}) \text{ при } f = \text{const}.$$

Идеальная амплитудная характеристика показана пунктирной линией. Реальная характеристика начинается не из нуля из-за наличия шумов усилителя. Участок *ab* - рабочий, на котором отсутствуют нелинейные искажения. На участке *bc* усиление ограничено напряжением питания усилителя.

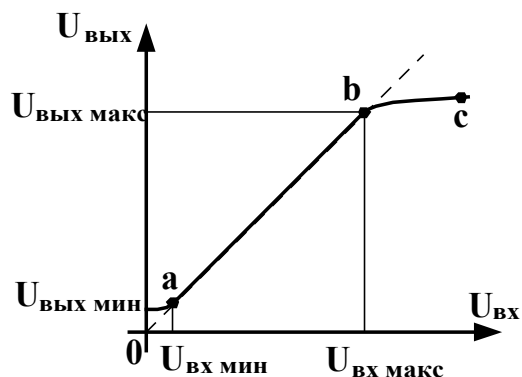


Рис.12. Амплитудная характеристика

По амплитудной характеристике определяется динамический диапазон усилителя, который выражается в децибелах:

$$D(\text{дБ}) = 20 \lg \frac{U_{\text{вх. макс}}}{U_{\text{вх. мин}}},$$

где $U_{\text{вх. макс}}$ и $U_{\text{вх. мин}}$ - входные напряжения, при которых искажения усиливаемого сигнала и его различие на фоне шумов лежат в допустимых пределах.

Частотная характеристика (рис. 13) показывает зависимость модуля коэффициента усиления от частоты усиливаемого сигнала при постоянном входном сигнале $K = F(f)$ при $U_{\text{вх}} = \text{const}$.

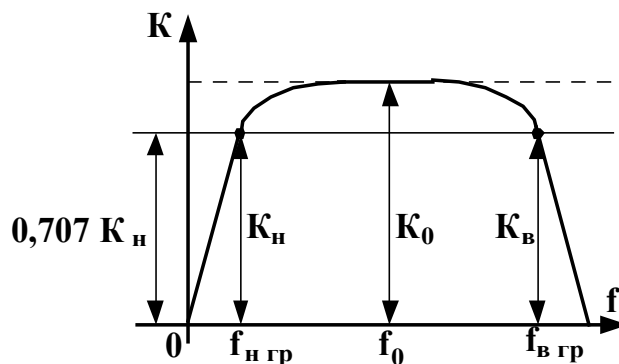


Рис.13. Частотная характеристика

Идеальная частотная характеристика показана пунктирной линией. В реальном усилителе частотные искажения обусловлены наличием реактивных элементов (ёмкостей и индуктивностей), а также частотными свойствами транзистора. Частотные искажения характеризуются коэффициентом частотных искажений M , который определяют как отношение модуля коэффициента на средних частотах K_0 к модулю коэффициента усиления K_f на заданной частоте:

$$M = \frac{K_0}{K_f}.$$

Условно частотным диапазоном усилителя является область частот от $f_{н.зп}$ (граничная) до $f_{в.зп}$, на которых

$$M_n = M_e = \sqrt{2}.$$

3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

3.1. Описание лабораторного стенда

Схема расположения элементов в лабораторной установке приведена на рис. 14, где I_B - регулируемый источник тока для питания цепи базы транзистора; E_K - регулируемый источник напряжения для коллекторной цепи.

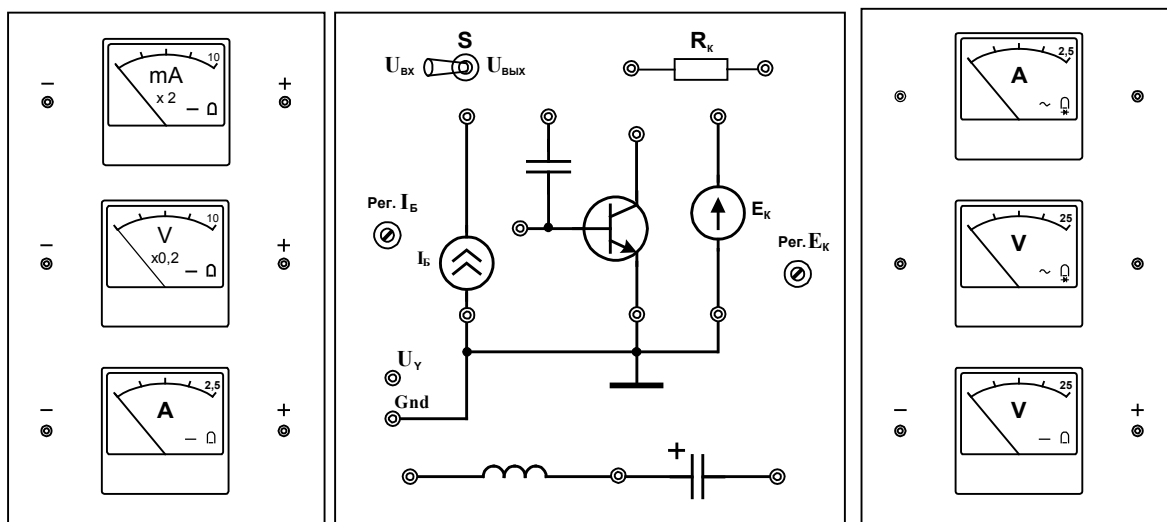


Рис.14. Схема лабораторной установки

Для измерения постоянных составляющих $I_B, I_K, U_{БЭ}, U_{КЭ}$ используются щитовые приборы магнитоэлектрической системы типа М42100: миллиамперметр с пределом измерения 20 мА; амперметр - 2,5 А; милливольтметр - 2 В; вольтметр - 25 В. Для исследования усилительного каскада включенного по схеме с ОЭ в качестве источника сигнала используется генератор ГЗ-33, а также электронный осциллограф С1-77. С помощью переключателя S осциллограф может подключаться к входу или выходу усилительного каскада.

3.2. Рабочее задание

3.2.1. Выписать справочные данные исследуемого транзистора.

3.2.2. По заданной максимальной мощности рассеяния коллектора (для транзисторов, используемых в работе $P_{K\max} = 6$ Вт) определить рабочую область транзистора. Для этого, используя значения U_{Ki} от 2 до 30 В, определить $I_{Ki, \max} = P_{K\max} / U_{Ki}$ и по полученным данным построить (на целом листе) кривую допустимой мощности (рис. 6). Рабочая область транзистора находится слева внизу от кривой $P_{K\max}$.

При выполнении работы необходимо следить, чтобы при всех опытах режим транзистора не выходил за пределы рабочей области.

3.2.3. Собрать схему рис. 15 для исследования статических характеристик транзистора.

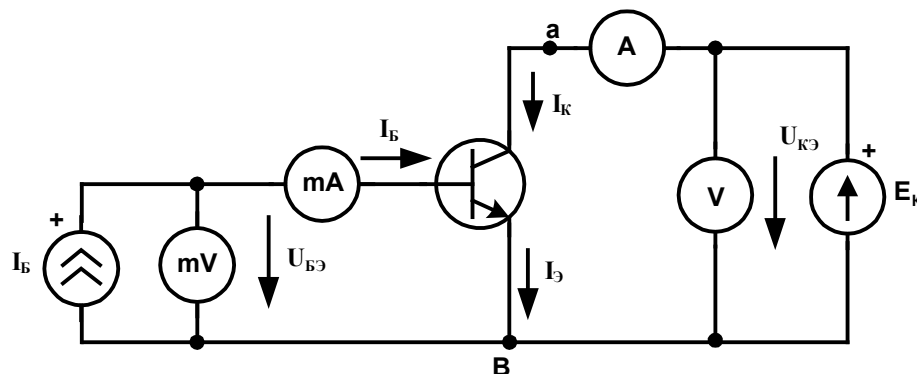


Рис.15. Схема для исследования статических характеристик

Снять входные статические характеристики $I_B = f(U_{BE})$ при $U_{CE} = const$. На лабораторном стенде нет возможности изменять напряжение U_{BE} , поэтому входные характеристики снимаются путём изменения тока I_B и фиксирования при этом напряжения U_{BE} . Чтобы установить напряжение $U_{CE} = 0$, провод в точке «а» (рис. 15) отсоединить от амперметра и присоединить к точке «в». Для снятия второй характеристики при $U_K > 0$ привести схему в исходное состояние и источником E_K установить $U_{KЭ} = 5$ В. Результаты измерений занести в табл 1.

Таблица 1.
Результаты измерений статической входной характеристики

| I_B, mA | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
|--------------------|-------------------------------|---|---|---|----|----|
| $U_{KЭ}, \text{В}$ | напряжение $U_{BE}, \text{В}$ | | | | | |
| 0 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |

Построить входные характеристики, вид которых должен быть подобен рис. 5.

3.2.4. Снять семейство выходных статических характеристик транзистора с ОЭ $I_K = f(U_{КЭ})$ при $I_B = const$. При этом ток базы устанавливать через 2 мА от $I_{B\min}$ до $I_{B\max}$ (ручкой I_B на стенде) и поддерживать постоянным для каждой характеристики. Напряжение на коллекторе изменять ручкой E_K от $U_{КЭ\min}$ до $U_{КЭ\text{доп}}$, которое различно для каждой характеристики и определяется кривой допустимой мощности, построенной в п.3.2.2. Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты измерений статической выходной характеристики

| $U_{КЭ}, В$ | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|-------------|-------------------|---|----|----|----|----|----|
| $I_B, мА$ | ток коллектора, А | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | |

Согласно п.3.2.2. построить на листе семейства выходных характеристик, которые должны иметь вид, подобный рис. 6. Характеристика для $I_B = 0$ не снимается, так как ток $I_{K0} = I_{B0}(\beta + 1)$ достаточно мал и приборами стенда не фиксируется.

3.2.5. По статическим входным и выходным характеристикам транзистора определить h -параметры и сравнить их со справочными данными.

3.2.6. Произвести графический расчёт усилительного каскада на транзисторе с ОЭ. Для этого на графике выходных статических характеристик провести линию нагрузки MN (рис. 11). Точка М определяется величиной напряжения источника коллекторного питания E_K , за которое в работе принимается $U_{КЭ\max}$ (при максимальном повороте ручки источника E_K и при $I_B = 0$). Точка N определяется величиной тока $I_{K\max} = E_K/R_K$, где R_K - сопротивление коллекторной нагрузки, указанное на стенде. Рабочая точка А усилительного каскада выбирается посередине рабочего участка линии нагрузки MN, на котором минимальны нелинейные искажения. Ток базы, определяющий рабочую точку А: $I_{B0} = (I_{BN'} - I_{BM'})/2$. Ток I_{B0} устанавливает режим покоя транзистора при отсутствии входного сигнала, т.е. напряжение $U_{КЭ0}$ и ток I_{K0} (см. рис.11).

3.2.7. Собрать схему усилительного каскада, как указано на рис.16.

3.2.8. Включить питание схемы, генератора сигналов, электронного осциллографа. Установить режим усилительного каскада по постоянному току. Для этого ручкой E_B установить значение I_{B0} , полученное в п.3.2.6, установить максимальное напряжение E_K . По показаниям А2 и V2 проверить соответствие полученных значений I_{K0} и $U_{КЭ0}$, рассчитанных в п. 3.2.7. Установить на ГС частоту 1000 Гц и, изменяя напряжение на входе усилителя и наблюдая по осциллографу форму выходного сигнала, убедиться в правильной работе усилительного каскада. В случае необходимости подрегулировать режим по постоянному току изменением I_{B0} .

3.2.9. Снять и построить амплитудную характеристику (рис.12). $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ усилителя при частоте входного сигнала $f = 1000$ Гц. Рекомендуемое изменение входного сигнала $U_{\text{вх}} = 0,05 \dots 2$ В. Напряжение и форму сигналов на входе и выходе усилителя контролировать осциллографом (либо электронным вольтметром ВЗ-38) с помощью переключателя S. Зарисовать осциллограммы входного и выходного сигналов усилителя, соответствующих участкам *ab* и *bc* характеристики. Данные измерений занести в табл. 3.

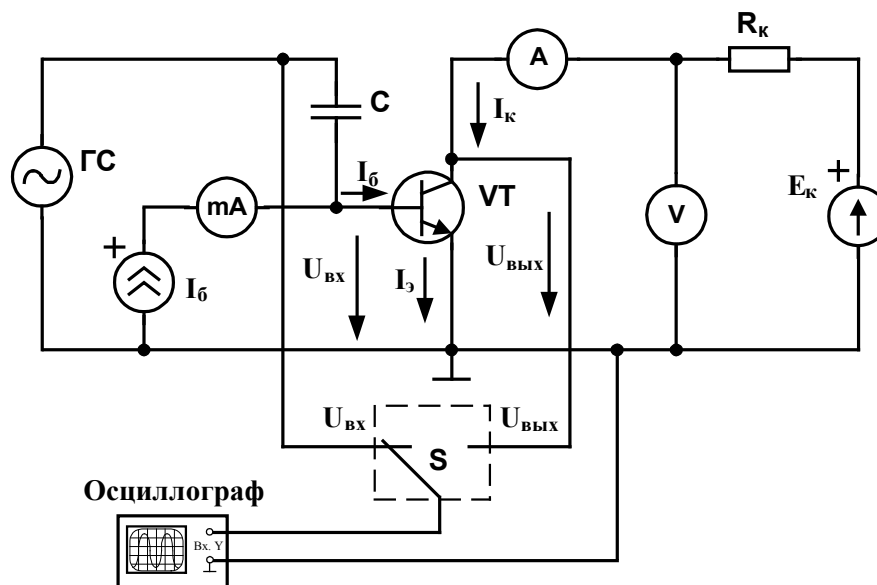


Рис.16. Схема усилительного каскада

Таблица 3.

Результаты измерений амплитудной характеристики

| | | | | | | | |
|--------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $U_{\text{вх}}$ | 0,05 | 0,1 | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 2,0 |
| $U_{\text{вых}}$ | | | | | | | |
| $k = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$ | | | | | | | |

По амплитудной характеристике определить динамический диапазон усилителя.

3.2.10. Снять и построить частотную характеристику (рис.13) $K_U = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}} = F(f)$ усилителя при постоянном входном напряжении $U_{\text{вх}} = 100$ мВ. Изменение K_U произвести на частотах 20, 200, 500 Гц, 1, 5, 10, 20, 50, 100, 200 кГц.

При построении частотной характеристики $K_U = F(f)$ по оси ординат откладывается коэффициент усиления по напряжению $K_U = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$, а по оси абсцисс - частота сигнала в логарифмическом масштабе ($\lg f$).

По характеристике $K_U = F(f)$ определить полосу пропускания частот усилителя $\Delta f = f_{\text{в.зр}} - f_{\text{н.зр}}$, частотные искажения на частоте 100 кГц.

Графически рассчитать коэффициенты усиления каскада по току K_I , напряжению K_U , мощности K_P .

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет оформляется индивидуально каждым студентом. Схемы электрические принципиальные должны быть начерчены карандашом по линейке, а условно-графические обозначения элементов на схемах должны быть выполнены согласно их УГО и иметь позиционное обозначение. Графики и осциллограммы выполняются крупно на отдельном листе, с указанием возле осей координат измеряемых величин и цены деления.

Содержание отчета

1. Титульный лист (с указанием автора отчета и преподавателя).
2. Цель работы.
3. Справочные данные исследуемого транзистора.
4. Принципиальные электрические схемы, использованные при исследовании.
5. Таблицы с результатами измерений.
6. Осциллограммы и графики согласно рабочему заданию.
7. Расчетные данные.
8. Выводы после каждого задания.

В выводах необходимо дать краткую теоретическую интерпретацию полученных характеристик; сравнить расчетные данные и измеренные значения.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Объясните принцип работы транзистора в нормальном активном режиме.
- 5.2. Нарисовать и объяснить устройство транзистора.
- 5.3. Нарисовать транзистор типа p-p-n в виде трехслойной структуры, подключить внешние источники питания для включения по схеме с ОЭ и объяснить токораспределение в транзисторе.
- 5.4. Почему ток базы транзистора составляет лишь несколько процентов от тока эмиттера?
- 5.5. Дайте краткую характеристику основным режимам работы транзистора.
- 5.6. Чем отличается динамический режим работы транзистора от статического?
- 5.7. Как выбирается режим покоя усилительного каскада?
- 5.8. Нарисовать и объяснить входные и выходные характеристики транзистора, включенного по схеме с ОЭ.
- 5.9. Назовите основные входные и выходные параметры транзистора, включенного по схеме ОЭ.
- 5.10. Определить h-параметры транзистора в заданной рабочей точке по входным и выходным характеристикам.
- 5.11. Объяснить амплитудную характеристику усилителя. Из-за чего возникают амплитудные (нелинейные) искажения?
- 5.12. Объяснить частотную характеристику усилителя. Чем вызваны частотные искажения? В чем они проявляются?

5.13. Нарисовать однокаскадный усилитель на биполярном транзисторе, включенном по схеме с ОЭ. Объяснить назначение отдельных элементов схемы усилителя.

5.14. Как изменится K_U если отключить конденсатор C_3 (рис. 10)?

5.15. Как осуществляется температурная стабилизация в усилительном каскаде по схеме с ОЭ?

5.16. Какую функцию выполняет делитель напряжения $R1 - R2$ (рис. 10)?

5.17. Как влияет сопротивление приемника на коэффициент усиления K_U усилителя?

5.18. Как снимается амплитудная характеристика усилителя?

5.19. Как снимается частотная характеристика усилителя?

6. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Каждый студент должен помнить, что, проводя опыты, он пользуется напряжением, опасным для жизни. Опасным для жизни считается напряжение переменного тока величиной 42 В и выше, ток - 10 мА и более.

2. Категорически запрещается:

а) подключать цепь к источнику питания до проверки ее преподавателем или лаборантом;

б) прикасаться к незаземленным токоведущим частям коммутационных и других электрических аппаратов, подводимым кабелям, проводам, клеммам и металлическим частям электрооборудования, находящимися под напряжением;

в) вскрывать и разбирать электрооборудование, снимать крышки и защитные ограждения;

г) оставлять цепь под напряжением, если она находится без наблюдения;

д) производить замену неисправных проводов и приборов, если цепь находится под напряжением.

3. Сборку электрических цепей для проведения опытов, поджатие ослабевших контактов и разборку цепей следует производить только при отключенном общем рубильнике (выключателе стенда).

4. При наладке цепи и производстве опытов не следует допускать резких перемещений ползунков реостатов, ручек ЛАТРов и других регулировочных устройств.

5. При поражении электрическим током каждый студент должен быстро освободить пострадавшего от воздействия тока, отключив общий рубильник на стенде (в лаборатории), оказать ему первую помощь и немедленно сообщить о случившемся преподавателю.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбачёв Г.Н. Промышленная электроника / Г.Н. Горбачёв, Е.Е. Чалыгин. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Забродин Ю.С. Промышленная электроника / Ю.С. Забродин. – М.: Высш. шк., 1982.
3. Опадчий Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс) / Ю.Ф. Опадчий. – М.: Горячая линия –Телеком, 2002. – 768 с.: ил.
4. Жеребцов И.П. Основы электроники / И.П. Жеребцов. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.