

## Задание 1

Прежде чем приступить к изучению свойств эмиттерного повторителя, измерьте внутреннее сопротивление  $R_V$  цифрового вольтметра постоянного напряжения АЦП 1:1 на Вашем рабочем месте согласно тому, как это сказано на с. 9 этого пособия.

1. Задайтесь значением  $R_{H1}$  сопротивления нагрузки  $R_H$  из интервала 100...200 Ом, и начните собирать схему эмиттерного повторителя (рис. 1.19а), взяв сопротивление  $R_Э$  примерно равным  $10 \cdot R_{H1}$ . Сопротивление  $R_Б$  подберите таким, чтобы измеряемое вольтметром постоянное напряжение  $U_Э$  оказалось в пределах 2...4 В при  $U_{П} = 10$  В.

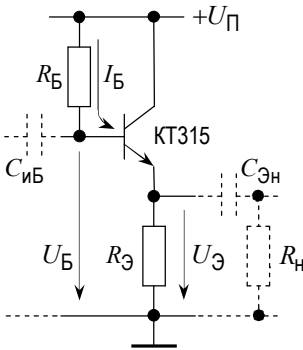


Рис. 1.19а

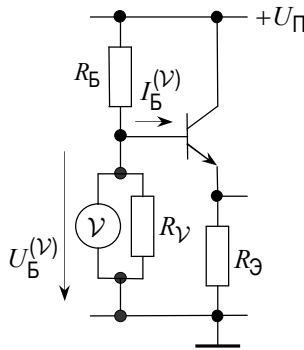


Рис. 1.19б

Подключение вольтметра к эмиттеру при измерении  $U_Э$  не приводит к изменению режима транзистора по постоянному току, так как  $R_V$  на 3...3.5 порядка больше  $R_Э$ , а непосредственно измерить напряжение на базе  $U_Б$  и базовый ток  $I_Б$  в схеме на рис. 1.19а не представляется возможным, если сопротивление резистора  $R_Б$  сравнимо с сопротивлением вольтметра  $R_V$ .

Пусть  $U_Б^{(V)}$  – напряжение между базой и землей при наличии вольтметра в цепи базы (рис. 1.19б), а  $I_Б^{(V)}$  – базовый ток транзистора при этом:

$$I_Б^{(V)} = \frac{U_{П} - U_Б^{(V)}}{R_Б} - \frac{U_Б^{(V)}}{R_V}.$$

Значения всех постоянных токов и напряжений в схеме на рис. 1.19а можно найти приближенно, предположив, что изменения напряжения база–эмиттер  $U_{БЭ}$  и коэффициента  $h_{21Э}$  при переключении вольтметра с базы на эмиттер

пренебрежимо малы, и решая относительно этих величин систему из двух уравнений:

$$U_{\text{Б}}^{(\nu)} = U_{\text{БЭ}} + (h_{21\text{Э}} + 1) \cdot I_{\text{Б}}^{(\nu)} \cdot R_{\text{Э}},$$

$$U_{\text{П}} = \left[ (U_{\text{Э}} / R_{\text{Э}}) / (h_{21\text{Э}} + 1) \right] \cdot R_{\text{Б}} + U_{\text{БЭ}} + U_{\text{Э}}.$$

В дальнейшем сохраняйте неизменным режим транзистора по постоянному току (исходное состояние): только при выполнении этого условия имеет смысл сравнивать между собой результаты различных измерений и наблюдений.

2. В этом упражнении предстоит экспериментально определить *коэффициент передачи* и *входное сопротивление* эмиттерного повторителя, дополнив предыдущую схему конденсаторами и резисторами и подключив к входу схемы лабораторный генератор гармонических колебаний  $\mathcal{E}_{\text{и}}$  (рис. 1.20).

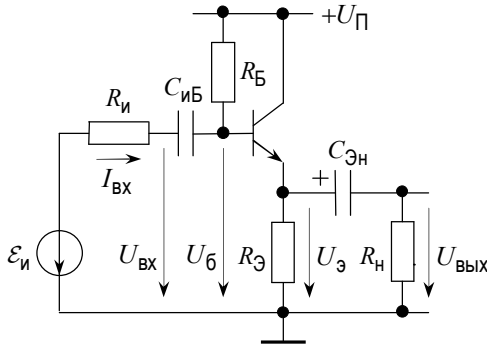


Рис. 1.20

Эксперименты с этой схемой предстоит выполнить при двух значениях  $R_{\text{н}}$ : при  $R_{\text{н}} = R_{\text{н}1}$  и при  $R_{\text{н}} = R_{\text{н}2}$  с  $R_{\text{н}2} \approx 2 \cdot R_{\text{н}1}$ .

Сопротивление резистора  $R_{\text{и}}$  пусть будет порядка  $100 \cdot R_{\text{н}1}$ .

Емкости  $C_{\text{иБ}}$  и  $C_{\text{Эн}}$  нужно выбрать достаточно большими, чтобы на частоте  $f \approx 10$  кГц переменные напряжения слева и справа от этих конденсаторов были практически равны:  $U_{\text{ВХ}} \approx U_{\text{Б}}$ ,  $U_{\text{Э}} \approx U_{\text{ВЫХ}}$ .

Другими словами, должны выполняться неравенства:

$$(2\pi f C_{\text{иБ}})^{-1} \ll R_{\text{и}} + \hat{R}_{\text{ВХ}} \quad \text{и} \quad (2\pi f C_{\text{Эн}})^{-1} \ll \hat{R}_{\text{ВЫХ}} + R_{\text{н}1},$$

где  $\hat{R}_{\text{ВХ}}$  и  $\hat{R}_{\text{ВЫХ}}$  – оценки для значений входного и выходного сопротивлений данного эмиттерного повторителя согласно (1.2) и (1.3) в предположении, что у используемого транзистора  $h_{21\text{Э}} \sim 100$ , а  $h_{11\text{Э}} \approx h_{21\text{Э}} \cdot r_{\text{Э}}$  с  $r_{\text{Э}} = U_{\text{T}} / I_{\text{Э}}$  при  $I_{\text{Э}} = U_{\text{Э}} / R_{\text{Э}}$ . Вероятнее всего в качестве

$C_{Эн}$  потребуется использовать электролитический конденсатор, и в этом случае необходимо соблюсти указанную полярность его включения.

Амплитуду сигнала  $\mathcal{E}_и$ , подаваемого от источника, необходимо установить возможно большей, но такой, чтобы при  $R_H = R_{H1}$  сигнал на выходе повторителя, наблюдаемый с помощью осциллографа, оставался неискаженной на вид синусоидой.

Знания  $\mathcal{E}_и$ ,  $U_{ВХ}$  и  $U_{ВЫХ}$ , в принципе, достаточно, чтобы найти коэффициент передачи  $K$  и входное сопротивление  $R_{ВХ}$  эмиттерного повторителя:  $K = U_{ВЫХ}/U_{ВХ}$ , а  $R_{ВХ}$  находится из соотношения  $R_E || R_{ВХ} = U_{ВХ}/I_{ВХ}$ , где  $I_{ВХ} = (\mathcal{E}_и - U_{ВХ})/R_и$ . Определенные таким образом из наблюдений значения  $K$  и  $R_{ВХ}$  позволяют определить фактические значения  $h_{21э}$  и  $h_{11э}$  данного транзистора:

$$h_{21э} = (K \cdot R_{ВХ}) / (R_E || R_H) - 1,$$

$$h_{11э} = R_{ВХ} - (h_{21э} + 1) \cdot (R_E || R_H).$$

Приступая к измерениям, необходимо убедиться в том, что чувствительность в обоих каналах двухлучевого осциллографа одинакова. Для этого можно, например, подать на оба входа осциллографа один и тот же сигнал напрямую с выхода компьютерного генератора и сравнить между собой полный размах колебаний в первом и втором каналах осциллографа, попытавшись совместить изображения.

При заметном различии изображений нужно принять отсчёты в одном из каналов за собственные результаты измерения, тогда как результаты, относящиеся к другому каналу, учитывать с соответствующим поправочным коэффициентом.

Измерьте напряжение  $\mathcal{E}_и$  слева от резистора  $R_и$  и примите к сведению, что его величина может отличаться от «Амплитуды», указанной в меню компьютерного генератора сигналов. Напряжение  $\mathcal{E}_и$  необходимо поддерживать одним и тем же при измерениях с  $R_H = R_{H1}$  и с  $R_H = R_{H2}$ .

Подключите один из входов осциллографа к входу эмиттерного повторителя, а другой из входов осциллографа – к его выходу.

Обозначим наблюдаемое при  $R_H = R_{H1}$  входное напряжение  $U_{ВХ1}$ , а выходное напряжение –  $U_{ВЫХ1}$ ; коэффициент передачи при этом пусть равен  $K_1$ , а входное сопротивление –  $R_{ВХ1}$ . Аналогично положим, что при  $R_H = R_{H2}$  входное и выходное напряжения равны  $U_{ВХ2}$  и  $U_{ВЫХ2}$ , а коэффициент передачи и входное сопротивление –  $K_2$  и  $R_{ВХ2}$  соответственно.

По приведенным выше формулам найдем значения  $h$ -параметров, характеризующих свойства транзистора и его режим по постоянному току, обозначив результаты вычислений как  $h'_{21э}$  и  $h'_{11э}$  при  $R_H = R_{H1}$  и  $h''_{21э}$  и  $h''_{11э}$  при  $R_H = R_{H2}$ . В принципе, значения коэффициентов, помеченных одним и двумя штрихами, должны быть одинаковы. По их фактическому различию можно судить о величине погрешностей, допущенных при измерениях.

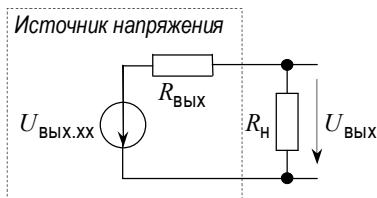
Сравните полученные здесь значения  $h'_{21э}$  и  $h''_{21э}$  с найденным ранее коэффициентом  $h_{21э}$ , а величины  $h'_{11э}$  и  $h''_{11э}$  – с ожидаемым значением этого параметра, вычисленным по формуле  $(h_{21э} + 1)r_э$  [или  $(h_{21э} + 1)r_э$ ], где  $r_э = U_T / I_э$ ,  $U_T = 25$  мВ, а  $I_э$  – постоянная составляющая тока эмиттера в данном случае.

3. Знание  $U_{ВЫХ1}$  и  $U_{ВЫХ2}$  при одном и том же значении  $\mathcal{E}_и$  позволяет найти выходное сопротивление  $R_{ВЫХ}$  эмиттерного повторителя по *правилу двух нагрузок*.

### Правило двух нагрузок

Источник постоянного или переменного напряжения по теореме об эквивалентном генераторе представляется в виде источника ЭДС  $U_{ВЫХ.XX}$  и выходного сопротивления  $R_{ВЫХ}$ .

Экспериментальное определение  $R_{ВЫХ}$  заключается в измерении выходного напряжения  $U_{ВЫХ}$  при двух различных нагрузках и вычислении  $R_{ВЫХ}$  по результатам этих измерений; одновременно можно найти  $U_{ВЫХ.XX}$ , когда это необходимо.



Если

$$U_{ВЫХ} = U_1 \text{ при } R_H = R_1$$

и

$$U_{ВЫХ} = U_2 \text{ при } R_H = R_2,$$

то

$$R_{ВЫХ} = R_1 R_2 \cdot \frac{U_1 - U_2}{U_2 R_1 - U_1 R_2},$$

$$U_{ВЫХ.XX} = U_1 U_2 \cdot \frac{R_1 - R_2}{U_2 R_1 - U_1 R_2}.$$

В данном случае  $R_1 = R_{H1}$ ,  $U_1 = U_{ВЫХ1}$ ,  $R_2 = R_{H2}$  и  $U_2 = U_{ВЫХ2}$ .

Сравните найденное таким путем выходное сопротивление Вашего эмиттерного повторителя  $R_{\text{вых}}$  с его ожидаемым значением

$$(R_{\text{и}} || R_{\text{Б}} + h_{113}) / (h_{213} + 1),$$

где в качестве  $h$ -параметров можно воспользоваться значениями  $h'_{113}$ ,  $h'_{213}$  и/или  $h''_{113}$ ,  $h''_{213}$ , найденными в предыдущем пункте задания.

4. В схеме, приведенной на рис. 1.20, подайте синусоидальный сигнал от лабораторного генератора непосредственно на левую обкладку конденсатора  $C_{\text{иБ}}$ , минуя  $R_{\text{и}}$ .

Изменяя амплитуду сигнала, действующего на входе эмиттерного повторителя, определите максимальную амплитуду неискаженного сигнала на выходе при  $R_{\text{н}} = R_{\text{н1}}$  и при  $R_{\text{н}} = R_{\text{н2}}$  и сравните полученные значения с результатами теоретического анализа (см. 1.4).

5. (*Факультативно.*) Исследуйте прохождение *прямоугольных колебаний* через эмиттерный повторитель с емкостной нагрузкой  $C_{\text{н}}$  (см. 1.6, рис. 1.15а). Для этого видоизмените схему, приведенную на рис. 1.20, оставив в ней только прежние  $C_{\text{иБ}}$ ,  $R_{\text{Б}}$ , транзистор и  $R_{\text{Э}}$  и включив параллельно с  $R_{\text{Э}}$  конденсатор  $C_{\text{н}}$ . Выберите подходящую емкость этого конденсатора, а также амплитуду и период колебаний на входе. Осуществите наблюдение искажений в сигнале  $u_{\text{Э}}(t)$  при прохождении положительных и отрицательных скачков сигнала, действующего на входе.