

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
(СПбГУТ)**

---

Лабораторная работа № 3

**“Исследование свойств модели резисторного каскада с общим  
коллектором в частотной и временной областях на ПК”**

**Выполнила бригада:**  
группа -83

. .  
. .  
. .  
. .

Санкт-Петербург  
2020

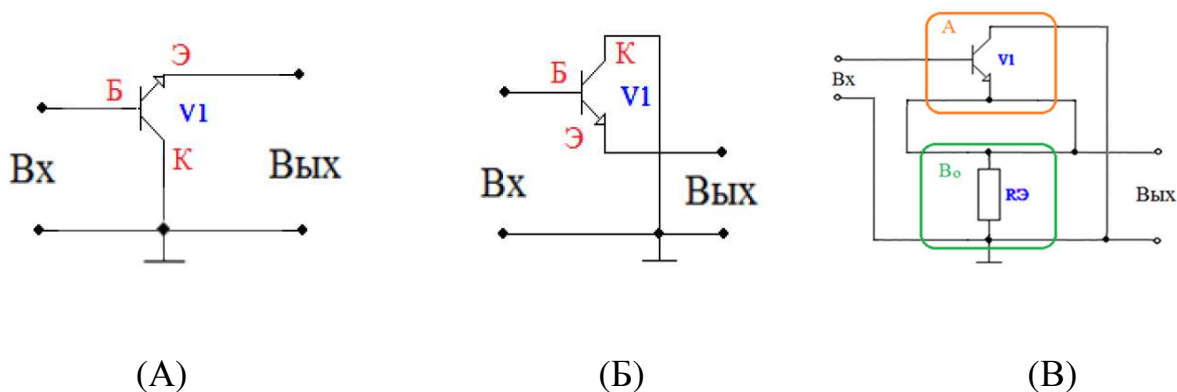
### Лабораторная работа № 3

## “Исследование свойств модели резисторного каскада с общим коллектором в частотной и временной областях на ПК”

**Цель работы:** Изучить свойства усилительного каскада с общим коллектором (ОК) в режиме малого сигнала. Выполнить анализ в частотной и временной областях. Исследовать свойства каскада при изменении сопротивлений источника сигнала, нагрузки и элементов схемы. Определить входное и выходное сопротивления каскада.

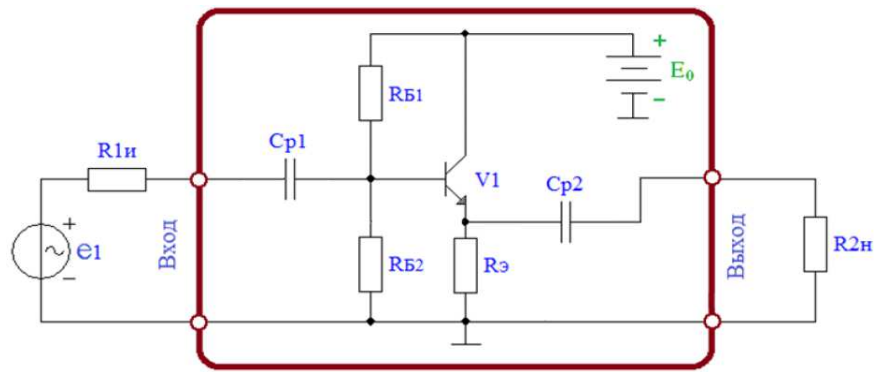
**Приборы и оборудование:** работа выполняется в компьютерной среде моделирования работы электрических схем FASTMEAN версии 6.0.

**Объектом исследования** является схема усилительного каскада на биполярном транзисторе с общим коллектором. По определению в схеме с ОК коллектор транзистора присоединяется к проводу, общему для входа и выхода каскада. На рис. 1, а показано простейшее изображение схемы с ОК.



**Рис. 1.** Схема включения транзистора с ОК (а, б) и структура обратной связи в каскаде с ОК (в)

Другое представление транзистора с ОК показано на рис. 1, б. Такое изображение каскада с ОК позволяет рассматривать его как структуру с ОЭ, охваченную ОС. В этой схеме имеет место последовательная по входу и параллельная по выходу отрицательная ОС (рис. 1, в). Полная принципиальная схема каскада ОК представлена на рис. 2)



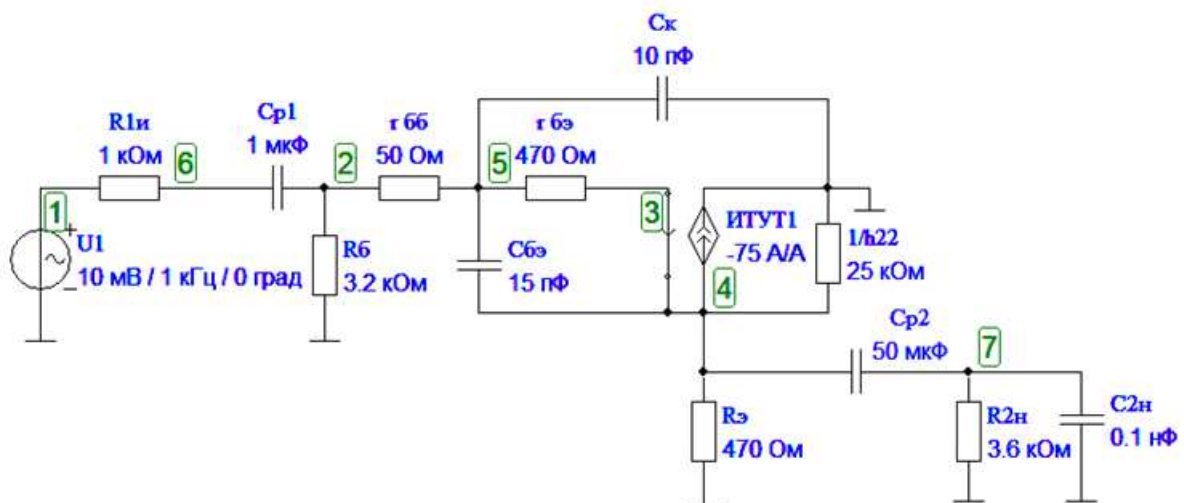
**Рис. 2.** Принципиальная схема каскада ОК

Переменная составляющая сигнала поступает на базу транзистора через разделительный конденсатор  $C_{p1}$ , а передается в нагрузку  $R_{2н}$  через разделительный конденсатор  $C_{p2}$  из эмиттера. Сопротивление источника питания  $E_0$  переменному току практически равно нулю, поэтому коллектор оказывается соединенным с общим проводом и схема соответствует структуре соединений на рис. 1, б. В схеме с ОК, как правило, не включают в коллекторную цепь резистор  $R_K$ . В этом случае всё напряжение питания делится между транзистором и  $R_E$ . При питании транзистора с эмиттерной стабилизацией, применённой здесь, ток покоя изменяется незначительно, а увеличение напряжений между электродами транзистора ( $U_{КЭ}$  и особенно  $U_{КБ}$ ) снижает значение ёмкости  $C_K$ . Этот факт и отсутствие эффекта Миллера (при  $R_K = 0$ ) дают основания для сохранения модели транзистора неизменной.

В работе используются данные лабораторного макета, при этом сохраняются номинальные значения всех элементов схемы, напряжение питания, ток покоя, транзистор КТ503В, согласно рис.2.1 [1]. В этой работе моделируется усилитель на основе реального действующего макета.

Эквивалентная схема усилителя с ОК для переменного тока изображена на рис. 3. Входной сигнал поступает через разделительный конденсатор  $C_{p1}$  на базу транзистора (узел 2). Элемент  $R_б$  отражает эквивалентное сопротивление базового делителя – параллельное включение  $R_{б1}$  и  $R_{б2}$ . Выходной сигнал через разделительный конденсатор  $C_{p2}$  подаётся в нагрузку  $R_{2н}$ ,  $C_{2н}$  (узел 7).

Коллектор транзистора заземлён непосредственно и является общим для входа и выхода усилителя. Другие элементы эквивалентной схемы соответствуют приведённым на рис. 3 и соответствуют параметрам лабораторного макета. Значения внутренних ёмкостей транзистора и его средний коэффициент усиления тока  $h_{21}$  взяты из справочных данных. В схему введено выходное сопротивление транзистора  $1/h_{22}$ . Оно определяется током покоя  $I_{0К} = 4$  мА и ориентировочным значением напряжения Эрли, равным 100 В. При токе коллектора  $I_{0К} = 4$  мА и  $h_{21} = 75$  в базе транзистора протекает ток  $I_{0Б} = 53$  мкА. Принимая  $U_T = 25.6$  мВ, получаем сопротивление перехода база-эмиттер  $r_{бэ} = 470$  Ом.



**Рис. 3.** Эквивалентная схема усилителя с ОК для переменного тока

### Ход работы:

Исследование состоит из следующих пунктов.

1. Составление эквивалентной схемы каскада с ОК.
2. Измерение входного и выходного сопротивлений каскада с ОК.
3. Расчет функций АЧХ и ПХ с помощью Fastmean, определение параметров полученных амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и переходной характеристики (ПХ):

По АЧХ:

$K_{скв}$  – сквозной коэффициент усиления на средней частоте в дБ,

$f_n$  – частота нижнего среза,  $f_v$  – частота верхнего среза;

По ПХ:

$t_n$  – время нарастания,

$\Delta$  – спад вершины импульса при заданной длительности импульса  $t_n$ .

4. Определение влияния на АЧХ и ПХ изменений сопротивлений источника сигнала  $R_{1и}$  и нагрузки  $R_{2н}$  (рис. 2).

### **Протокол работы и обработка результатов измерений:**

#### **I Измерение входного сопротивления каскада**

Активизировав кнопку “частотные характеристики” измеряем входное сопротивление. Для измерения на частоте 1 кГц, устанавливаем близкие к ней граничные частоты (например, 900 Гц и 1100 Гц). Записываем в диалоговом окне по оси Y выражение  $\text{mag}(U(6)/I(R1и))$ . По графику АЧХ с помощью линейки определяем  $R_{вх}$ . Записывая разные выражения по оси Y  $\text{mag}(U(2)/I(R1и))$  и  $\text{mag}(U(2)/I(rбб))$ , можно определить входное сопротивление соответственно в узле 6 и в узле 2, причём в последнем с учётом сопротивления  $R_6$  и без него.

По результатам измерений в отчет добавить скриншоты окна с измерениями и внести данные в таблицу № 1.

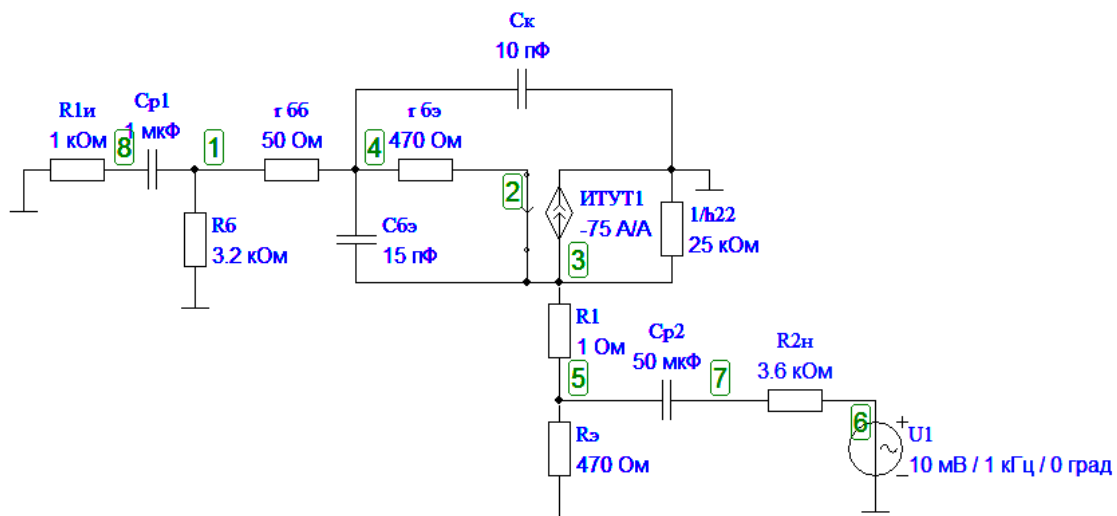
**Таблица 1. Измерение входного сопротивления каскада с ОК**

| Измерение                     | Величина входного сопротивления, Ом |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| с учётом сопротивления $R_6$  | 2,9                                 |
| без учёта сопротивления $R_6$ | 31,6                                |

#### **II Измерение выходного сопротивления каскада**

Измерение выходного сопротивления в схеме с ОК интереснее выполнять с переносом источника сигнала к выходу усилителя (рис. 4). Выходное сопротивление усилителя определяется в узле 7. Его находим, задав выражение по оси Y  $\text{mag}(U(7)/I(R2н))$ . Здесь также можно узнать выходное сопротивление

слева от разделительного конденсатора  $C_{p2}$  (узел 5) и выходное сопротивление без учета сопротивления в цепи эмиттера  $R_э$  (узел 3). В последнем случае используется вспомогательный резистор  $R1$ . Поскольку выходное сопротивление при включении транзистора с ОК очень мало, сопротивление резистора  $R1$  следует установить, равным 1 Ом или ещё меньше. Остаётся ввести выражения по оси  $Y$   $\text{mag}(U(5)/I(R2н))$  и  $\text{mag}(U(3)/I(R1))$ , воспользоваться измерительной линейкой.



**Рис. 4.** Эквивалентная схема усилителя с ОК для измерения выходного сопротивления

По результатам измерений в отчет добавить скриншот окна с измерениями с включенной линейкой и записать полученный результат с указанием единиц измерения. Добавить вывод о полученных результатах измерения входного и выходного сопротивлений каскада с ОК.

### III Измерение в частотной области (АЧХ)

Для определения параметров АЧХ ( $K_{с\kappa\beta}$ ,  $f_n$ ,  $f_v$ ) необходимо получить изображение этой характеристики, вернув схему к виду, как на рис. 3. В диалоговом окне «частотные характеристики» из меню «анализ» следует задать начальную частоту  $f_{нач} = 10$  Гц и конечную  $f_{кон} = 100$  МГц, установить логарифмическую развертку по частоте, что обеспечивает на частотной оси  $X$

логарифмический масштаб. АЧХ в двойном логарифмическом масштабе получаем, записав для оси  $Y$  выражение  $\text{db}(\text{mag}(U(7)/U(1)))$ . Сквозной коэффициент усиления определяем на средних частотах, где характеристика достигает максимального уровня. Граничные частоты  $f_n$ ,  $f_v$  определяем по уровню на 3 дБ ниже  $K_{\text{СКВ}}$  дБ. Т.е. при получении в области средних частот значения, равного 25 дБ отнимаем из этого числа 3 дБ и по уровню  $(25 - 3) \text{ дБ} = 22 \text{ дБ}$  определяем граничные частоты. Значения граничных частот находим с помощью инструментальной линейки.

Скриншоты окна измерений с линейкой на соответствующих отметках для измерений добавить в отчёт, численные значения внести в таблицу № 2.

**Таблица 2. Измерение АЧХ каскада с ОК**

| $K_{\text{СКВ}}$ , дБ | $(K_{\text{СКВ}} - 3)$ , дБ | $f_n$ , Гц | $f_v$ , МГц | $\Delta f = f_v - f_n$ , Гц |
|-----------------------|-----------------------------|------------|-------------|-----------------------------|
| -2.72                 | -5.72                       | 40,75      | 18.66       | 18659959.25                 |

Сопоставив со значениями, полученными при измерении параметров схемы усилительного каскада с ОЭ, сделать выводы.

#### **IV Измерение во временной области (ПХ)**

Предварительно необходимо рассчитать следующие параметры:

Спад вершины импульса  $\Delta$ , выраженный в %:

$$\Delta = 2\pi f_{n\sqrt{2}} t_n$$

Рассчитанное время нарастания импульса:

$$t_n = \frac{0,35}{f_{v\sqrt{2}}}$$

Переходную характеристику на выходе усилителя получаем при подаче на вход усилителя напряжения прямоугольной формы. Для этого в эквивалентной схеме рис. 3 необходимо переключить источник сигналов с гармонических колебаний на меандр. Задать двухполярный сигнал  $\pm 10 \text{ мВ}$ . Частота следования прямоугольных импульсов устанавливается в зависимости от их длительности в расчете из формулы

$$f = 1/(2 \cdot t_{\text{и}}).$$

Для измерения различных переходных искажений выбраны  $t_{\text{и}} = 25$  мкс и  $t_{\text{и}} = 1.25$  мс. Конечное время в диалоговом окне рекомендуется выставлять равным  $(3...4) \cdot t_{\text{и}}$ . Это позволит выбрать наиболее удобный импульс при измерении, любой полярности, что особенно важно при исследовании фронта импульса.


Убедитесь, что усилитель с ОК не поворачивает фазу сигнала. Напоминаем, что для измерения времени нарастания импульса  $t_{\text{н}}$  необходимо увеличить область начала импульса до установившегося уровня  $U_{\text{уст}}$ . С помощью линейки измерить это значение напряжения  $U_{\text{уст}}$ , вычислить значения  $0.9 \cdot U_{\text{уст}}$  и  $0.1 \cdot U_{\text{уст}}$ . Навести линейку на полученные значения уровней напряжения, зафиксировать значения времени им соответствующие как  $t_2$  и  $t_1$ . Определить разность значений этих времен, которое и будет измеренным временем нарастания импульса.

По результатам измерений сделать скриншоты импульса и укрупненными участками области нарастания импульса с линейкой при измерениях, заполнить таблицу 3.

**Таблица 3. Измерение ПХ каскада с ОК**

| Время импульса                                                                                                                 | $t_{\text{и}} = 25$ мкс                                                             | $t_{\text{и}} = 1.25$ мс |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Частота $f$ , Гц                                                                                                               | 20000                                                                               | 400                      |
| Осциллограмма импульса                                                                                                         |  |                          |
| Измеренный спад вершины импульса $\Delta$ , %<br>$\Delta = \frac{U_{\text{уст}} - U_{\text{вых}}}{U_{\text{уст}}} \cdot 100\%$ | XXXXXX                                                                              |                          |
| Рассчитанный спад вершины импульса $\Delta$ , %                                                                                | XXXX                                                                                | $4.8 \cdot 10^{-4}\%$    |



|                                                                   |                                                                                   |  |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--|
| Осциллограмма<br>увеличенной области<br>нарастания импульса       |  |  |
| Измеренное время<br>нарастания импульса<br>$t_H = t_2 - t_1$ , нс | 0.1888                                                                            |  |
| Рассчитанное время<br>нарастания импульса $t_H$ , нс              | 0.187                                                                             |  |

Сделать выводы по результатам, внесенным в таблицу.

#### V Определение влияния на АЧХ и ПХ изменений сопротивлений источника сигнала $R_{1И}$ и нагрузки $R_{2Н}$

Для определения влияния на параметры АЧХ и ПХ изменений сопротивлений источника сигнала  $R_{1И}$  и сопротивления нагрузки  $R_{2Н}$  (рис. 3) необходимо производить вычисления АЧХ и ПХ при значениях  $R_{1И}$  и  $R_{2Н}$ , указанных в табл. 4. При этом значения всех остальных элементов схемы остается неизменным. Наглядные представления о влиянии элементов схемы дают попарные изображения. В этом пункте надо построить две пары АЧХ и по две пары ПХ для импульсов разной длительности. С этой целью необходимо включить пункт «параметр» в диалоговом окне построения ПХ и АЧХ.

Результаты расчета свести в табл. 4, дать выводы по данным в таблице.

**Таблица 4. Оценка влияния параметров схемы на ПХ и АЧХ**

| №<br>п/п | $R_{1И}$ | $R_{2Н}$ | $K_{СКВ}$ | $f_H$ | $f_B$ | $\Delta$                | $t_H$                     |
|----------|----------|----------|-----------|-------|-------|-------------------------|---------------------------|
|          | кОм      | кОм      |           |       |       | при $t_H = 25$ мкс<br>% | при $t_H = 1.25$ мс<br>нс |
| 1        | 1        | 3.6      |           |       |       |                         |                           |
| 2        | 1        | 10       |           |       |       |                         |                           |
| 3        | 5        | 3.6      |           |       |       |                         |                           |
| 4        | 5        | 10       |           |       |       |                         |                           |

### **Контрольные вопросы для подготовки к защите**

1. Чем отличается построение нагрузочной линии постоянному току в схеме с ОК?
2. Как определить координаты точки покоя?
3. Как проходят пути постоянных и переменных токов, протекающих в схеме?
4. Почему не изменяется полярность напряжения усиленного сигнала?
5. Каково назначение элементов схемы?
6. Какого вида ОС имеет место в каскаде с ОК?
7. Почему коэффициент усиления напряжения на средних частотах в каскаде с ОК меньше единицы?
8. Почему схему с ОК называют «эмиттерный повторитель»?
9. Как влияет изменение номинальных значений элементов схемы на АЧХ и ПХ?
10. Как выглядят эквивалентные схемы в различных областях частот?