

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
САМАРСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С.П.КОРОЛЕВА

**ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ БИПОЛЯРНОГО  
ТРАНЗИСТОРА**

САМАРА 2002

Составители: А.И. Колпаков, В.А. Колпаков

**УДК 621.382**

Изучение принципов работы биполярного транзистора: Метод. указан. к лаборат. Работе. / Самар. аэрокосм. ун-т; Сост. А.И. Колпаков, В.А. Колпаков. Самара, 2002. 15 с.

Приведены теоретические сведения по анализу схем включения транзисторов с общей базой, общим коллектором и общим эмиттером. Описан порядок расчета параметров эквивалентных схем замещения. Даны понятия  $h$ -параметров транзисторов.

Предназначены для студентов спец. 20.07.00 (Радиотехника) и 20.15.00 (Бытовая электроника) и могут быть использованы при выполнении лабораторных работ по курсу «Электроника – полупроводниковые приборы».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Рецензент канд. техн. наук., доц. А.В. Зеленский

Ц е л ь р а б о т ы - изучение физических процессов, протекающих в транзисторной структуре биполярного типа, эквивалентных схем транзистора, включенного в электронную схему по схеме общая база, общий эмиттер и соответствующих этим системам, параметров и особенностей их описания теорией линейного четырехполюсника.

## Задания

1. По конспекту лекций, рекомендованной литературе и данным методическим указаниям изучить теоретические основы линейного четырехполюсника, связь  $h$  - параметров с элементами  $T$  - образной эквивалентной схемы и методику измерения  $h$  - параметров транзистора для различных схем его включения в электронную схему.
2. Подготовить ответы на контрольные вопросы.
3. Изучить порядок выполнения работы.
4. Собрать (или проверить) электрическую схему лабораторного стенда.
5. Экспериментально определить  $h$  - параметры транзистора.
6. Выполнить необходимые расчеты для определения теоретических значений  $h$  - параметров  $T$ -образной эквивалентной схемы транзистора.
7. Провести анализ теоретических и экспериментальных результатов и сделать краткие выводы.

Приборы и принадлежности: осциллограф С1-68, генератор ГЗ-111, вольтметр В7-26, наборы проводников, транзисторов и лабораторный стенд.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

*Характеристики активного линейного четырехполюсника.*

При моделировании транзистора линейным четырехполюсником его параметры можно охарактеризовать семейством функционально взаимосвязанных, статических входных ( $U_1, I_1$ ) и выходных ( $U_2, I_2$ ) характеристик. Поэтому достаточно задать две из них, для того чтобы однозначно определить по статическим характеристикам две другие величины. Задаваемые независимые переменные величины в этом случае выступают в качестве аргументов  $X_1$  и  $X_2$ , а две других, определяемые свойствами четырехполюсника, являются зависимыми переменными и представляют собой некоторые функции этих аргументов  $F_1$  и  $F_2$ . Функциональная связь между ними может быть описана системой уравнений вида:

$$\begin{aligned} F_1 &= F_1(X_1, X_2); \\ F_2 &= F_2(X_1, X_2). \end{aligned} \quad (1)$$

Определив полный, дифференциал функций  $F_1$  и  $F_2$  и осуществив замену дифференциалов  $dX_1, dX_2, dF_1, dF_2$  их конечными приращениями  $x_1, x_2, f_1, f_2$ , соответственно, получим:

$$\begin{aligned} f_1 &= (dF_1/dX_1)x_1 + (dF_1/dX_2)x_2; \\ f_2 &= (dF_2/dX_1)x_1 + (dF_2/dX_2)x_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Для упрощения записи системы уравнений (2) выполним замену  $dF_i/dX_j = f_{ij}$  и запишем ее в следующем виде:

$$\begin{aligned} f_1 &= \xi_{11} x_1 + \xi_{12} x_2 \\ f_2 &= \xi_{21} x_1 + \xi_{22} x_2 \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\xi_{ij}$  - характеризует дифференциальные параметры активного линейного четырехполюсника.

Если амплитуда переменного сигнала будет достаточно мала по сравнению с постоянными составляющими токов и напряжений, то величины амплитуд переменного напряжения или тока  $i$ , можно рассматривать как малые приращения постоянных составляющих. В большинстве практических случаях величину переменного сигнала считают малой, если при ее увеличении обобщенные параметры  $\xi_{ij}$  остаются постоянными.

В теории четырехполюсника за независимые переменные  $x_1$  и  $x_2$  могут быть приняты любые две величины из четырех возможных, т.е. два тока или два напряжения, поэтому в зависимости от их выбора получают в общем случае шесть систем уравнений. Рассмотрим возможность применения теории четырехполюсника к расчету параметров биполярного транзистора.

Транзисторы этого типа в большинстве практических случаях при включении их в электронную схему имеют малое входное и большое выходное сопротивления. Это дает возможность легко задавать ток на вход транзистора и осуществлять режим короткого замыкания на выходе. В системе  $h$  - параметров в этом случае за независимые переменные принимают входной ток  $i_1$  и выходное напряжение  $u_2$ . Тогда в соответствии с (3) можно записать систему уравнений:

$$\begin{aligned} u_1 &= h_{11} i_1 + h_{12} u_2 \\ i_2 &= h_{21} i_1 + h_{22} u_2 \end{aligned} \quad (4)$$

Схемное решение системы (4) можно выразить эквивалентной схемой, изображенной на рис.1.

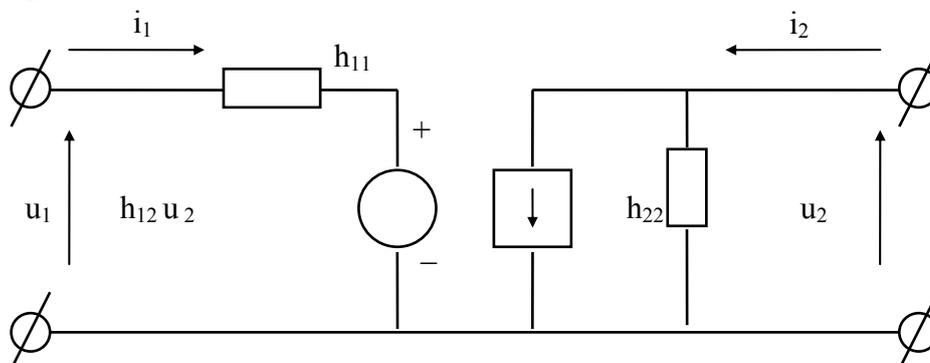


Рис.1. Эквивалентная схема четырехполюсника.

Определение  $h$  - параметров осуществляют при выполнении следующих условий:

1.  $h_{11} = u_1 / i_1 | u_2=0$  - входное сопротивление транзистора при коротком замыкании на его выходе;
2.  $h_{12} = u_1 / u_2 | i_1=0$  - коэффициент обратной передачи по напряжению при холостом ходе на входе;
3.  $h_{21} = i_2 / i_1 | u_2=0$  - коэффициент передачи по току в прямом направлении при коротком замыкании на выходе;
4.  $h_{22} = i_2 / u_2 | i_1=0$  - выходная проводимость транзистора при холостом ходе на его входе.

Следует отметить, что величины параметров эквивалентной схемы  $h$  зависят от схемы включения транзистора и не должны зависеть от частоты.

*T* - образная эквивалентная схема транзистора.

Эта схема наиболее полно отражает свойства реального транзистора в низкочастотном диапазоне, в области которого отсутствует частотная зависимость параметров схемы.

Для транзистора, включенного по схеме с общей базой сопротивления  $r_э$  и  $r_к$  в *T* - образной эквивалентной схеме, являются дифференциальными сопротивлениями эмиттерного и коллекторного переходов, а сопротивление базы  $r_б$  является общим для входной и выходной цепей (рис.2). Усиительные свойства транзистора отображены эквивалентным генератором тока  $\alpha i_э$ , где  $\alpha = i_к / i_э$  является коэффициентом передачи транзистора по переменному току.

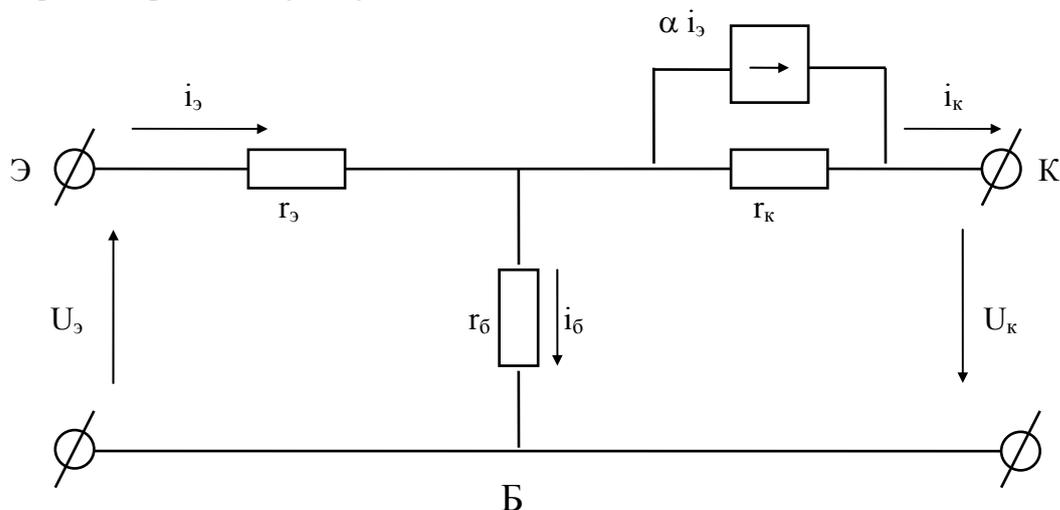
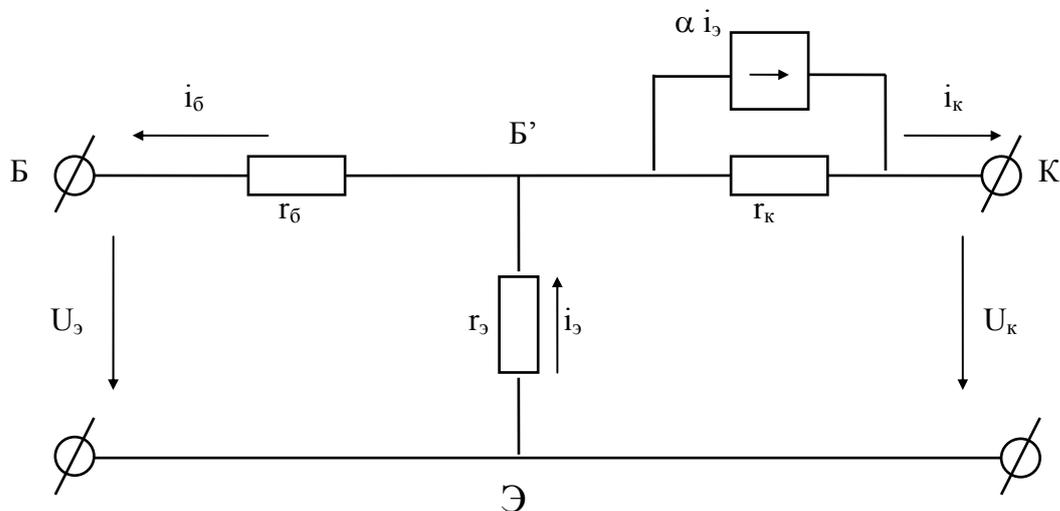


Рис.2 Эквивалентная схема транзистора *T*-типа при его включении по схеме с общей базой

Значения параметров *T* - образной эквивалентной схемы зависят от выбора рабочей точки  $I_к, U_к$ , на семействе выходных характеристик и при различных включениях транзистора (общие база, коллектор, эмиттер) сохраняет свой вид и значения  $r_э, r_б, r_к, \alpha$ .

При включении транзистора с общим эмиттером входной сигнал подается в базу, а эмиттер подключается к общему электроду, например, к земле (рис. 3).





По определению  $h$  - входное сопротивление транзистора в режиме короткого замыкания на выходе. Пусть выходное напряжение схемы равно нулю ( $u_k = 0$ ) и входной ток эмиттера  $i_3$  заданным, тогда напряжение на входе этой схемы можно определить из выражения

$$u_3 = i_3 [r_3 + r_6 - \alpha r_k r_6 / (r_k + r_6)] . \quad (9)$$

Учитывая, что в большинстве случаев выполняется неравенство  $r_6 \ll r_k$  входное сопротивление можно представить в виде выражения:

$$h_{116} = u_3 / i_3 = r_3 + r_6(1-\alpha) . \quad (10)$$

Коэффициент обратной связи по напряжению при холостом ходе на входе определяется из равенства:

$$h_{12} = u_1 / u_2 = u_3 / u_k . \quad (11)$$

Тогда в T-образной эквивалентной схеме эта величина определяется делителем напряжения, состоящим из сопротивлений  $r_k$  и  $r_6$ :

$$h_{126} = u_3 / u_k = r_6 / (r_6 + r_k) = r_6 / r_k . \quad (12)$$

Коэффициент прямой передачи тока  $h_{216} = i_2 / i_1 = i_k / i_3$ , тогда используя второе уравнение Киркгофа для коллекторной цепи и заданное значение входного тока  $i_3$ , определим ток коллектора:

$$i_k (r_k + r_6) = \alpha i_3 r_k + u_k . \quad (13)$$

Выполнении этого равенства дает возможность записать уравнение следующего типа:

$$h_{216} = i_k / i_3 \quad \left| \begin{array}{l} = \alpha r_k / (r_k + r_6) = -\alpha \\ u_k = 0 \end{array} \right. \quad (14)$$

По определению величина  $h_{22} = i_2 / u_2$  есть выходная проводимость при холостом ходе на входе транзистора (вход разомкнут). Полагая в уравнении (13)  $i_3 = 0$ , получим:

$$h_{226} = i_k / u_k \quad \left| \begin{array}{l} = 1 / (r_k + r_6) = 1 / r_k \\ i_3 = 0 \end{array} \right. \quad (15)$$

Аналогичным образом можно определить и связь  $h$  - параметров с элементами T-образной эквивалентной схемы при включении транзистора с общим эмиттером и учетом неравенства  $r_k^* \gg r_3$  :

$$\begin{aligned} h_{113} &= r_6 + (1+\beta) r_3 ; h_{213} = \beta ; \\ h_{123} &= r_6 / r_k^* ; h = 1 / r_k^* . \end{aligned} \quad (16)$$

Таким образом, из (10) - (16) следует, что, измерив  $h$  - параметры в соответствующей схеме включения транзистора, можно определить параметры Т-образной эквивалентной схемы.

### УСТАНОВКИ ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ

Передняя панель установки измерения  $h$  - параметров представлена на рис.5. Данная установка позволяет измерить  $h$  - параметры маломощных транзисторов р-п-р и п-р-п типов в заданной рабочей точке в трех схемах их включения. Измерения проводят на частоте до 1 кГц.

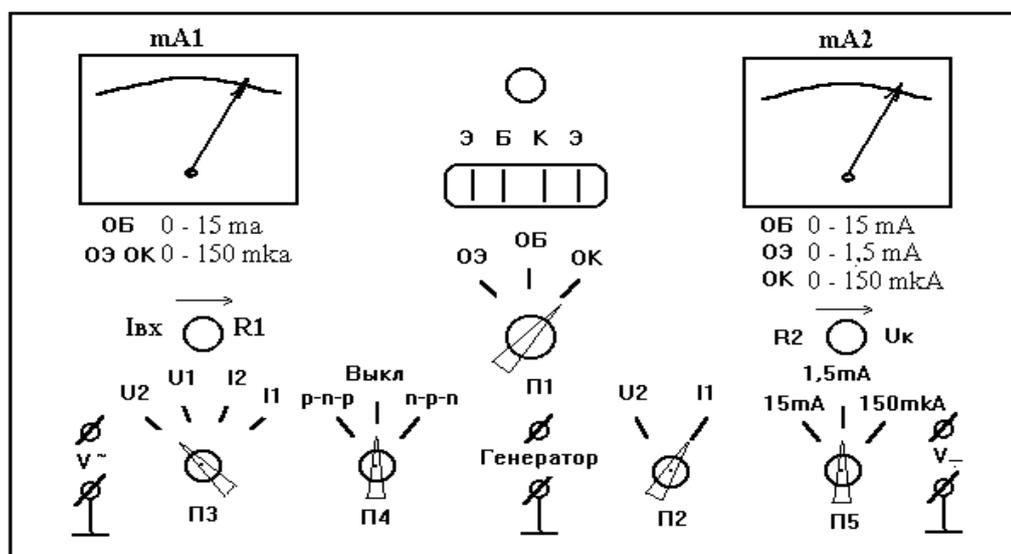


Рис.5 Расположение элементов управления на передней панели лабораторного стенда.

Смещение на транзистор задают с помощью источников питания постоянного тока  $E_1$  и  $E_2$ . Величину смещения регулируют потенциометрами  $R_1$  и  $R_2$ . Переключение полярности напряжения смещения на электродах транзистора и его выключение осуществляют переключателем  $П_4$ . Токи триода измеряют во входной цепи прибором  $mA_1$ , имеющим предел измерения в схеме с общей базой 15 мА и 150 мкА в схемах с общим эмиттером и общим коллектором. В выходной цепи токи триода измеряют прибором  $mA_2$  с пределами измерения 15 мА, 1,5 мА и 150 мкА соответственно. Изменение пределов измерения осуществляют переключателем  $П_5$ . Постоянное напряжение на входе и выходе измеряют вольтметром  $U$ . Генератор переменного тока подключают к зажимам "Генератор". Переключателем  $П_2$  задают переменный ток  $i_1$  во входную цепь или переменное напряжение  $u_2$  в выходную цепь транзистора. При этом автоматически в соответствующей цепи транзистора выполняется условие короткого замыкания (с помощью конденсатора в выходной цепи) или холостого хода (с помощью дросселя во входной цепи).

Когда переключатель  $П_3$  находится в положениях  $u_1$ ,  $u_2$ , измеряют переменные напряжения на входе и выходе транзистора вольтметром переменного тока  $U$ , электроды

которого подсоединяются к зажимам  $V_{\sim}$ . Параллельно вольтметру  $U$  подсоединяют осциллограф, по которому контролируют линейность режима измерения. Когда переключатель  $П_3$  находится в положениях  $i_1$  и  $i_2$ , вольтметр  $U$  подключают к сопротивлениям  $R = 500 \text{ Ом}$ , по падению напряжения на которых определяют величины входного и выходного токов.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Установить величину смещения на соответствующих электродах транзистора.
2. Измерить  $h$  - параметры при включении транзистора по схемам: общая база, общий эмиттер, общий коллектор.
3. Используя  $h$  - параметры, измеренные в схеме с общим эмиттером, рассчитать  $h$  параметры для схемы с общей базой. Сравнить расчетные и экспериментальные параметры и оценить погрешность измерения.
4. По измеренным  $h$  - параметрам в схеме с общим эмиттером найти параметры  $T$ -образной эквивалентной схемы транзистора для схем его включения общая база, общий эмиттер.

#### *Порядок выполнения работы транзистора включенного по схеме с общей базой.*

1. Руководствуясь блок-схемой, собрать или проверить, электрическую (монтажную) схему лабораторного стенда.
2. Установить вольтметры и амперметры на максимальную шкалу измеряемых величин, а потенциометры повернуть против часовой стрелки до упора.
3. Переключатель  $П_4$  поставить в положение соответствующее типу проводимости изучаемого транзистора.
4. Переключатель  $П_1$  поставить в положение соответствующее схеме включения транзистора, т.е. в положение ОБ.
5. Переключателем  $П_5$  установить требуемый диапазон измеряемых величин.
6. Под наблюдением преподавателя включить приборы лабораторного стенда в сеть.
7. От генератора ГЗ-111 подать сигнал с амплитудой  $U < 0,5 \text{ В}$  и частотой  $1 \text{ кГц}$  на зажимы "генератор". Измерение амплитуды осуществлять путем непосредственного подключения генератора к вольтметру типа ВЗ-38.
8. По заданию преподавателя резисторами  $R_1$  и  $R_2$  установить необходимое смещение (заданную точку на вольтамперной характеристике).
  - а) Постоянное напряжение на входе и выходе измеряют вольтметром типа В7-26 на зажимах  $V_{\sim}$ . Контролируемая величина ( $U_1, U_2$ ) переключается переключателем  $П_3$ .
  - б) Постоянный ток во входной цепи ( $I_1$ ) контролируется прибором  $мА1$ , имеющим предел измерения  $15 \text{ мА}$  в схеме с ОБ. Постоянный ток в выходной цепи транзистора ( $I_2$ ) контролируется прибором  $мА2$ , имеющим пределы измерения  $15 \text{ мА}$ ,  $1,5 \text{ мА}$ ,  $150 \text{ мкА}$ . Изменение пределов осуществляется переключателем  $П_5$ . Изменение пределов прибора  $мА1$  осуществляется автоматически.
9. Поставить  $П_2$  в положение  $I_1$ , при этом в выходной цепи выполняется режим короткого замыкания ( $C_2$  в выходной цепи).
10. Поставить  $П_3$  в положение  $I_1$  и измерить переменную составляющую входного

тока транзистора  $i_1$  путем измерения вольтметром типа ВЗ-38 (или осциллографом) напряжение на  $R=750$  Ом подключенным к зажимам V “~” .

11. Поставить ПЗ в положение  $I_2$  и измерить переменную составляющую выходного тока транзистора  $i_2$  путем измерения вольтметром типа ВЗ-38 напряжение на  $R=750$  Ом подключенным к зажимам V “~” .
12. Поставить ПЗ в положение U1 и измерить переменную составляющую входного напряжения  $u_1$  путем измерения его вольтметром типа ВЗ-38 подключенным к зажимам V “~” .
13. Поставить П2 в положение U2, при этом во входной цепи выполняется условие холостого хода (дроссель Др во входной цепи).
14. Установить ПЗ в положение  $I_2$  и измерить переменную составляющую выходно-

го

тока  $i_2$  путем измерения его вольтметром типа ВЗ-38 напряжение на  $R=750$  Ом подключенным к зажимам V “~” .

15. Установить ПЗ в положение U1 и измерить переменную составляющую входного напряжения  $u_1$  транзистора вольтметром типа ВЗ-38 подключенным к зажимам V “~” .
16. Установить ПЗ в положение U2 и измерить переменную составляющую выходного напряжения  $u_2$  транзистора вольтметром типа ВЗ-38 подключенным к зажимам V “~” .
17. При необходимости контроля линейности режима измерения к зажимам V “~” параллельно вольтметру подключают осциллограф.
18. Используя формулы:

$h_{11} = u_1 / i_1 | (u_2=0)$  - входное сопротивление при коротком замыкании на выходе.

$h_{12} = u_1 / u_2 | (i_1=0)$  - коэффициент обратной передачи напряжения при холостом ходе на входе.

$h_{21} = i_2 / i_1 | (u_2=0)$  - коэффициент передачи тока при коротком замыкании на выходе.

$h_{22} = i_2 / u_2 | (i_1=0)$  - выходная проводимость при холостом ходе на входе.

рассчитать h-параметры в схеме ОБ в заданной точке.

19. Сравнить полученные расчетным и экспериментальным путем параметры и оценить погрешность.

#### ***Порядок выполнения работы транзистора включенного по схеме с общим эмиттером.***

1. Собрать или проверить по предлагаемой блок-схеме, электрическую (монтажную) схему лабораторного стенда.
2. Установить вольтметры и амперметры на максимальную шкалу измеряемых величин, а потенциометры повернуть против часовой стрелки до упора.
3. Переключатель П4 поставить в положение соответствующее типу проводимости изучаемого транзистора.
4. Переключатель П1 поставить в положение соответствующее схеме включения

транзистора, т.е. в положение ОЭ.

5. Переключатель П5 установить требуемый диапазон измеряемых величин.
6. Под наблюдением преподавателя включить приборы лабораторного стенда в сеть.
7. От генератора ГЗ-111 подать сигнал с амплитудой  $U < 0,5$  В и частотой 1 кГц на зажимы “генератор”. Амплитуду измерить путем непосредственного подключения генератора к вольтметру типа ВЗ-38.
8. По заданию преподавателя резисторами R1 и R2 установить необходимое смещение смещение (заданную точку на вольтамперной характеристике).
  - а) Постоянное напряжение на входе и выходе измеряют вольтметром типа В7-26 на зажимах V “-”. Контролируемая величина ( $U_1, U_2$ ) переключается переключателем ПЗ.
  - б) Постоянный ток во входной цепи ( $I_1$ ) контролируется прибором mA1, имеющим предел измерения 150 мкА в схеме с ОЭ. Постоянный ток в выходной цепи транзистора ( $I_2$ ) контролируется прибором mA2, имеющим пределы измерения 15 мА, 1,5 мА, 150 мкА. Изменение пределов осуществляется переключателем П5. Изменение пределов прибора mA1 осуществляется автоматически.
9. Поставить П2 в положение I<sub>1</sub>, при этом в выходной цепи выполняется режим короткого замыкания (C2 в выходной цепи).
10. Поставить ПЗ в положение I<sub>1</sub> и измерить переменную составляющую входного тока транзистора  $i_1$  путем измерения вольтметром (или осциллографом) типа ВЗ-38 напряжения на  $R=750$  Ом подключенным к зажимам V “~”.
11. Поставить ПЗ в положение I<sub>2</sub> и измерить переменную составляющую выходного тока транзистора  $i_2$  путем измерения вольтметром типа ВЗ-38 напряжения на  $R=750$  Ом подключенным к зажимам V “~”.
12. Поставить ПЗ в положение U1 и измерить переменную составляющую входного напряжения  $u_1$  путем измерения его вольтметром типа ВЗ-38 подключенным к зажимам V “~”. Поставить П2 в положение U2, при этом во входной цепи выполняется условие холостого хода (дроссель Др во входной цепи).
14. Установить ПЗ в положение I<sub>2</sub> и измерить переменную составляющую выходного тока  $i_2$  путем измерения его вольтметром типа ВЗ-38 напряжение на  $R=750$  Ом подключенным к зажимам V “~”.
15. Установить ПЗ в положение U1 и измерить переменную составляющую входного напряжения  $u_1$  транзистора вольтметром типа ВЗ-38 подключенным к зажимам V “~”.
16. Установить ПЗ в положение U2 и измерить переменную составляющую выходного напряжения  $u_2$  транзистора вольтметром типа ВЗ-38 подключенным к зажимам V “~”.
17. При необходимости контроля линейности режима измерения к зажимам V “~” параллельно вольтметру подключают осциллограф.
18. Используя формулы:

$h_{11} = u_1 / i_1 | (u_2=0)$  - входное сопротивление при коротком замыкании на выходе.

$h_{12} = u_1 / u_2 | (i_1=0)$  - коэффициент обратной передачи напряжения при холостом ходе на входе.

$h_{21} = i_2 / i_1 | (u_2=0)$  - коэффициент передачи тока при коротком замыкании на выходе.

$h_{22} = i_2 / u_2 | (i_1=0)$  - выходная проводимость при холостом ходе на входе.  
рассчитать h-параметры в схеме ОЭ в заданной точке.

19. Используя h-параметры, измеренные в схеме ОЭ, рассчитать h-параметры для

схемы с ОБ. Для расчета использовать формулы [1].

20. Сравнить полученные расчетным и экспериментальным путем параметры и оценить погрешность.

**Порядок выполнения работы транзистора, включенного по схеме с общим коллектором.**

1. Собрать или проверить по предлагаемой блок-схеме, электрическую (монтажную) схему лабораторного стенда.
2. Установить вольтметры и амперметры на максимальную шкалу измеряемых величин, а потенциометры повернуть против часовой стрелки до упора.
3. Переключатель П4 поставить в положение соответствующее типу проводимости изучаемого транзистора.
4. Переключатель П1 поставить в положение соответствующее схеме включения транзистора, т.е. в положение ОК.
5. Переключатель П5 установить требуемый диапазон измеряемых величин.
6. Под наблюдением преподавателя включить приборы лабораторного стенда в сеть.
7. От генератора ГЗ-111 подать сигнал с амплитудой  $U < 0,5$  В и частотой 1 кГц на зажимы “генератор”. Амплитуду проконтролировать непосредственно подключив генератор к вольтметру типа ВЗ-38.
8. По заданию преподавателя резисторами R1 и R2 установить необходимое смещение (заданную точку на вольтамперной характеристике).
  - а) Постоянное напряжение на входе и выходе измеряют вольтметром типа В7-26 на зажимах V “-”. Контролируемая величина ( $U_1, U_2$ ) переключается переключателем ПЗ.
  - б) Постоянный ток во входной цепи ( $I_1$ ) контролируется прибором mA1, имеющим предел измерения 15 мА в схеме с ОК. Постоянный ток в выходной цепи транзистора ( $I_2$ ) контролируется прибором mA2, имеющим пределы измерения 15 мА, 1,5 мА, 150 мкА. Изменение пределов осуществляется переключателем П5. Изменение пределов прибора mA1 осуществляется автоматически.
9. Поставить П2 в положение I<sub>1</sub>, при этом в выходной цепи выполняется режим короткого замыкания (C2 в выходной цепи).
10. Поставить ПЗ в положение I<sub>1</sub> и измерить переменную составляющую входного тока  $i_1$  транзистора, измеряя вольтметром типа ВЗ-38 (или осциллографом) напряжение на R=750 Ом путем подключения его к зажимам V “~”.
11. Поставить ПЗ в положение I<sub>2</sub>. Измерить переменную составляющую выходного тока  $i_2$  транзистора контролируя вольтметром типа ВЗ-38 напряжение на R=750 Ом подключенному к зажимам V “~”.
12. Поставить ПЗ в положение U<sub>1</sub>. Измерить переменную составляющую входного напряжения  $u_1$  контролируя его вольтметром типа ВЗ-38 подключенному к зажимам V “~”.
13. Поставить П2 в положение U<sub>2</sub>, при этом во входной цепи выполняется условие холостого хода (дроссель Др во входной цепи).
14. Установить ПЗ в положение I<sub>2</sub>. Измерить переменную составляющую выходного тока  $i_2$  контролируя его вольтметром типа ВЗ-38 и напряжение на R=750 Ом подключенному к зажимам V “~”.
15. Установить ПЗ в положение U<sub>1</sub> и измерить переменную составляющую входного напряжения  $u_1$  транзистора вольтметром типа ВЗ-38 подключенному к зажимам V “~”.

16. Установить ПЗ в положение U2 и измерить переменную составляющую выходного напряжения  $u_2$  транзистора вольтметром типа ВЗ-38 подключенным к зажимам V “~”.
17. При необходимости контроля линейности режима измерения к зажимам V “~” параллельно вольтметру подключают осциллограф.
18. Используя формулы:

$h_{11}=u_1 / i_1 | (u_2=0)$  - входное сопротивление при коротком замыкании на выходе.

$h_{12}=u_1 / u_2 | (i_1=0)$  - коэффициент обратной передачи напряжения при холостом ходе на входе.

$h_{21}=i_2 / i_1 | (u_2=0)$  - коэффициент передачи тока при коротком замыкании на выходе.

$h_{22}=i_2 / u_2 | (i_1=0)$  - выходная проводимость при холостом ходе на входе.

рассчитать h-параметры в схеме с ОК.

### **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет выполняется на листах формата А4 и начинается с титульного листа.

Отчет содержит:

1. Цель работы.
2. Задание.
3. Перечень приборов, используемых в эксперименте.
4. Блок-схему лабораторного стенда.
5. Результаты экспериментальных данных в форме графиков и таблиц.
6. Выводы с кратким изложением физических явлений по рассматриваемой теме.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Представление транзистора в виде активного линейного четырехполюсника.
2. Эквивалентная схема транзистора в виде активного линейного четырехполюсника.
3. Что такое h-параметры транзистора?
4. Нарисуйте T-образную эквивалентную схему транзистора включенного по схеме с общей базой.
5. Нарисуйте эквивалентную схему транзистора включенного по схеме с общим эмиттером.
6. Какими свойствами обладает активный четырехполюсник?
7. В каких случаях используется система g-параметров?
8. Опишите систему g-параметров
9. Какие параметры в биполярном транзисторе определяет система h-параметров
10. Какая связь существует между h-параметров и элементами T-образной эквивалентной схемы транзистора.

### **Библиографический список**

1. Расчет транзисторных цепей. Под. ред. Ши РФ Изд-во “Энергия”, 1964 г., с. 19 -35.
2. Практикум по полупроводниковым и полупроводниковым приборам. Под ред. Шалимовой К.В.. М.: Высшая школа, 1968. С.272-281
3. Федотов Я.А. Основы физики полупроводниковых приборов. Изд-во “Сов. радио”, 1963, с.270-281, 338-350.
4. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. Госэнергоиздат, 1963, с.117-121.