

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

*Методические указания
к лабораторной работе*

САМАРА 2003

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

УДК 621.382

Изучение принципов работы биполярного транзистора: Метод. указания к лаб. работе. / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *А.И. Колпаков, В.А. Колпаков*. Самара, 2003. 19 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". Подготовлены на кафедре микроэлектроники.

Печатаются 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 ξ_{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 случаев величину переменного сигнала считают малой, если при ее увеличении обобщенные параметры ξ_{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 случаев 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.

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;

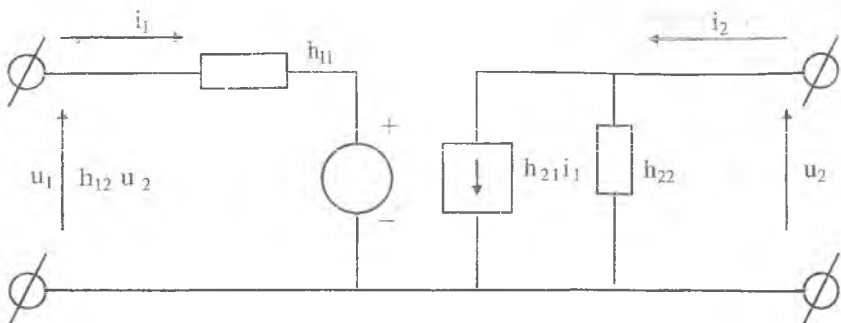


Рис.1. Эквивалентная схема четырехполюсника

3. $h_{21} = i_2 / i_1 \mid u_2=0$ - коэффициент передачи по току в прямом направлении при коротком замыкании на выходе;

4. $h_{22} = i_2 / u_2 \mid i_1=0$ - 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_b и r_k в T - образной эквивалентной схеме, являются дифференциальными сопротивления эмиттерного и коллекторного переходов, а сопротивление базы r_b является общим для входной и выходной цепей (рис.2). Усилительные свойства транзистора отображены эквивалентным генератором тока αi_b , где $\alpha = i_k / i_b$ является коэффициентом передачи транзистора по переменному току.

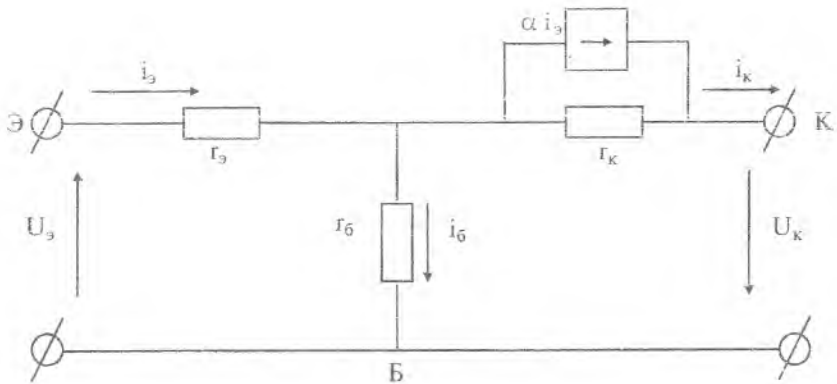


Рис.2 Эквивалентная схема транзистора Т-типа при его включении по схеме с общей базой

Значения параметров Т - образной эквивалентной схемы зависят от выбора рабочей точки I_K , U_K , на семействе выходных характеристик и при различных включениях транзистора (общие база, коллектор, эмиттер) сохраняют свой вид и значения $r_э$, $r_б$, $r_к$, α .

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

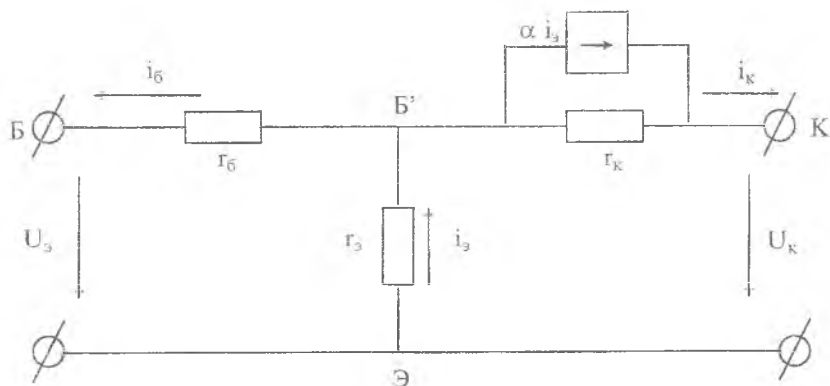


Рис. 3. Эквивалентная схема транзистора Т-образного типа при его включении по схеме с общим эмиттером

В этом случае направление токов во входной цепи транзистора изменяется на противоположное. Однако такая схема неудобна, поскольку управляющим током является ток базы i_b . Генератор тока в цепи коллектора αi_e , отражает режим эмиттерной цепи. Для включения с общим эмиттером в коллекторной цепи удобно иметь генератор тока, зависящий от тока базы. характер изменения которого описывается равенством:

$$\alpha i_e = (i_k / i_e) i_e = i_k = (i_k / i_b) i_b = \beta i_b . \quad (5)$$

Эквивалентная схема транзистора с источником тока βi_b приведена на рис.4.

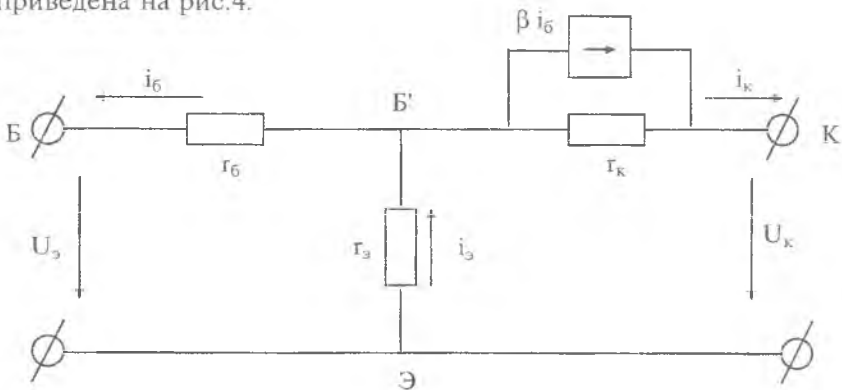


Рис.4. Эквивалентная схема транзистора с источником тока βi_b

При замене источника тока αi_e на источник βi_b выходное сопротивление транзистора не должно изменяться. Используя это условие, найдем выходное сопротивление для схемы, изображенной на рис. 2.

При холостом ходе на входе ($i_b = 0$) ток коллектора равен

$$i_k = [u_k / (r_k + r_e)] + \alpha i_e . \quad (6)$$

При разомкнутой цепи базы выполняется равенство $i_3 = i_k$. Тогда, учитывая неравенство $r_3 \ll r_k$ и уравнение (6), получим:

$$r_{\text{вых}} = (u_k / i_k) = r_k (1 - \alpha) \quad (7)$$

Для схемы рис.3 выходное сопротивление транзистора должно быть одинаковым в обеих схемах ($r_{\text{вых}} = r_{k^*}$), и тогда можно записать равенство:

$$r_{k^*} = r_k (1 - \alpha) . \quad (8)$$

Между элементами Т-образной эквивалентной схемы и h-параметрами существует аналитическая связь, характер которой рассмотрим на примере включения транзистора по схеме с общей базой.

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 задан, 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 Т-образной эквивалентной схеме эта величина определяется делителем напряжения, состоящим из сопротивлений r_k и r_b :

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

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

$$i_k (r_k + r_b) = \alpha i_b r_k + u_k. \quad (13)$$

Выполнение этого равенства дает возможность записать уравнение следующего типа:

$$h_{216} = i_k / i_b \Big|_{\substack{u_k = 0 \\ u_b = 0}} = \alpha r_k / (r_k + r_b) = -\alpha. \quad (14)$$

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

$$h_{226} = i_k / u_k \Big|_{i_b = 0} = 1 / (r_k + r_b) = 1 / r_k. \quad (15)$$

Аналогичным образом можно определить и связь h -параметров с элементами Т-образной эквивалентной схемы при включении транзистора с общим эмиттером и учетом неравенства $r_{k*} \gg r_b$:

$$\begin{aligned} h_{116} &= r_b + (1 + \beta) r_b; & h_{216} &= \beta; \\ h_{126} &= r_b / r_{k*}; & h &= 1 / r_{k*}. \end{aligned} \quad (16)$$

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

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

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.

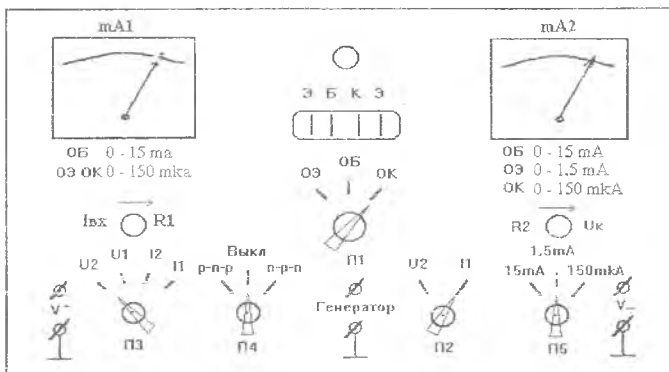


Рис.5. Расположение элементов управления на передней панели лабораторного стенда

Смещение на транзистор задают с помощью источников питания постоянного тока E_1 и E_2 . Величину смещения регулируют потенциометрами R1 и R2. Переключение полярности напряжения смещения на электродах транзистора и его выключение осуществляют переключателем П4. Токи триода измеряют во входной цепи прибором mA1, имеющим предел измерения в схеме с общей базой 15 mA и 150 мкА в схемах с общим эмиттером и общим коллектором. В выходной цепи токи триода измеряют прибором mA2 с пределами измерения 15 mA, 1,5 mA и 150 мкА соответственно. Изменение пределов измерения осуществляют переключателем П5. Постоянное напряжение на входе и выходе измеряют вольтметром U. Генератор

переменного тока подключают к зажимам "Генератор". Переключателем П2 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 П3 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 П3 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 П4 поставить в положение, соответствующее типу проводимости изучаемого транзистора.
4. Переключатель П1 поставить в положение, соответствующее схеме включения транзистора, т.е. в положение ОБ.
5. Переключателем 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". Измерение амплитуды осуществлять путем непосредственного подключения генератора 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 (I1) контролируется прибором mA1, имеющим предел измерения 15 мА в схеме с ОБ . Постоянный ток в выходной цепи транзистора (I2) 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 П1, при этом в выходной цепи выполняется режим короткого замыкания (С2 в выходной цепи).
10. Поставить П3 в положение П1 и измерить переменную составляющую входного тока транзистора i_1 путем измерения напряжения на $R=750$ Ом вольтметром типа В3-38 (или осциллографом), подключенным к зажимам V "≈" .
11. Поставить П3 в положение П2 и измерить переменную составляющую выходного тока транзистора i_2 путем измерения напряжения на $R=750$ Ом вольтметром типа В3-38, подключенным к зажимам V "≈" .
12. Поставить П3 в положение П1 и измерить переменную составляющую входного напряжения u_1 путем измерения его вольтметром типа В3-38, подключенным к зажимам V "≈" .
13. Поставить П2 в положение П2, при этом во входной цепи выполняется условие холостого хода (дроссель Др во входной цепи).
14. Установить П3 в положение П2 и измерить переменную составляющую выходного тока i_2 путем измерения напряжения на $R=750$ Ом вольтметром типа В3-38, подключенным к зажимам V "≈" .
15. Установить П3 в положение П1 и измерить переменную составляющую входного напряжения u_1 транзистора вольтметром типа В3-38, подключенным к зажимам V "≈" .
16. Установить П3 в положение П2 и измерить переменную составляющую выходного напряжения u_2 транзистора вольтметром типа В3-38, подключенным к зажимам V "≈" .
17. При необходимости контроля линейности режима измерения к зажимам V "≈" параллельно вольтметру подключают осциллограф.

18. Используя формулы:

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

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

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

$h_{22} = i_2 / u_2 \mid (i_1=0)$ - 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. Переключателем 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 (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 (I1) контролируется прибором МА1, имеющим предел измерения 150 мкА в схеме с ОЭ. Постоянный ток в выходной цепи транзистора (I2) контролируется прибором МА2, имеющим пределы измерения 15 мА, 1,5 мА, 150 мкА. Изменение пределов осуществляется переключателем П5. Изменение пределов прибора МА1 осуществляется автоматически.
9. Поставить П2 в положение П1, при этом в выходной цепи выполняется режим короткого замыкания (С2 в выходной цепи).
10. Поставить ПЗ в положение П1 и измерить переменную составляющую входного тока транзистора i_1 путем измерения напряжения на $R=750$ Ом вольтметром (или осциллографом) типа ВЗ-38, подключенным к зажимам V "~".
11. Поставить ПЗ в положение П2 и измерить переменную составляющую выходного тока транзистора i_2 путем измерения напряжения на $R=750$ Ом вольтметром типа ВЗ-38, подключенным к зажимам V "~".
12. Поставить ПЗ в положение П1 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).

13. Установить П3 в положение I2 и измерить переменную составляющую выходного тока i_2 путем измерения напряжения на $R=750$ Ом вольтметром типа ВЗ-38, подключенным к зажимам V "∞".
14. Установить П3 в положение U1 и измерить переменную составляющую входного напряжения u_1 транзистора вольтметром типа ВЗ-38, подключенным к зажимам V "∞".
15. Установить П3 в положение U2 и измерить переменную составляющую выходного напряжения u_2 транзистора вольтметром типа ВЗ-38, подключенным к зажимам V "∞".
16. При необходимости контроля линейности режима измерения к зажимам V "∞" параллельно вольтметру подключают осциллограф.
17. 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.

18. Используя h-параметры, измеренные в схеме ОЭ, рассчи-

тать h -параметры для схемы с ОБ. Для расчета использовать формулы [1].

19. 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 (I1) контролируется прибором mA1, имеющим предел измерения 15 мА в схеме

с ОК . Постоянный ток в выходной цепи транзистора (I_2) контролируется прибором мА2, имеющим пределы измерения 15 мА, 1,5 мА, 150 мкА. Изменение пределов осуществляется переключателем П5. Изменение пределов прибора мА1 осуществляется автоматически.

9. Поставить П2 в положение П1, при этом в выходной цепи выполняется режим короткого замыкания (С2 в выходной цепи).
10. Поставить П3 в положение П1 и измерить переменную составляющую входного тока i_1 транзистора, измеряя вольтметром типа В3-38 (или осциллографом) напряжение на $R=750$ Ом путем подключения его к зажимам V "~~".
11. Поставить П3 в положение П2. Измерить переменную составляющую выходного тока i_2 транзистора, контролируя напряжение на $R=750$ Ом вольтметром типа В3-38, подключенным к зажимам V "~~".
12. Поставить П3 в положение У1. Измерить переменную составляющую входного напряжения u_1 контролируя его вольтметром типа В3-38, подключенным к зажимам V "~~".
13. Поставить П2 в положение У2, при этом во входной цепи выполняется условие холостого хода (дроссель Др во входной цепи).
14. Установить П3 в положение П2. Измерить переменную составляющую выходного тока i_2 и напряжение на $R=750$ Ом, контролируя его вольтметром типа В3-38, подключенным к зажимам V "~~".
15. Установить П3 в положение У1 и измерить переменную составляющую входного напряжения u_1 транзистора вольтметром типа В3-38, подключенным к зажимам V "~~".
16. Установить П3 в положение У2 и измерить переменную составляющую выходного напряжения u_2 транзистора вольтметром типа В3-38 подключенным к зажимам V "~~".

17. При необходимости контроля линейности режима измерения к зажимам V "—" параллельно вольтметру подключают осциллограф.
18. Используя формулы:

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

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

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

$h_{22} = i_2 / u_2 \mid (i_1 = 0)$ - 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 Т-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 -параметрами и элементами Т-образной эквивалентной схемы транзистора?

Библиографический список

1. Расчет транзисторных цепей / Под. ред. Зи. Изд-во "Энергия", 1964. С. 19 -35.
2. Практикум по полупроводникам 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.

Учебное издание

**ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ
БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА**

Методические указания

Составители: *Колпаков Анатолий Иванович*
Колпаков Всеволод Анатольевич

Редактор *Н. С. Куприянова*
Компьютерная верстка *О. А. Ананьев*

Подписано в печать 03.09.2003 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.печ.л.1,16.Усл.кр.-отт.1,17.Уч. – издл. 1,25 .
Тираж 100 экз. Заказ 7-а. Арт. С-52/2003.

Самарский государственный аэрокосмический
университет им. академика С.П. Королева.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

РиО Самарского государственного аэрокосмического
университета. 443001, Самара, ул. Молодогвардейская, 151.