

3 Определение h -параметров биполярного транзистора при включении его в схеме с общей базой

3.1 Условие задачи

Даны входные и выходные статические характеристики биполярного транзистора в схеме с общей базой (ОБ) (рисунок 3.1).

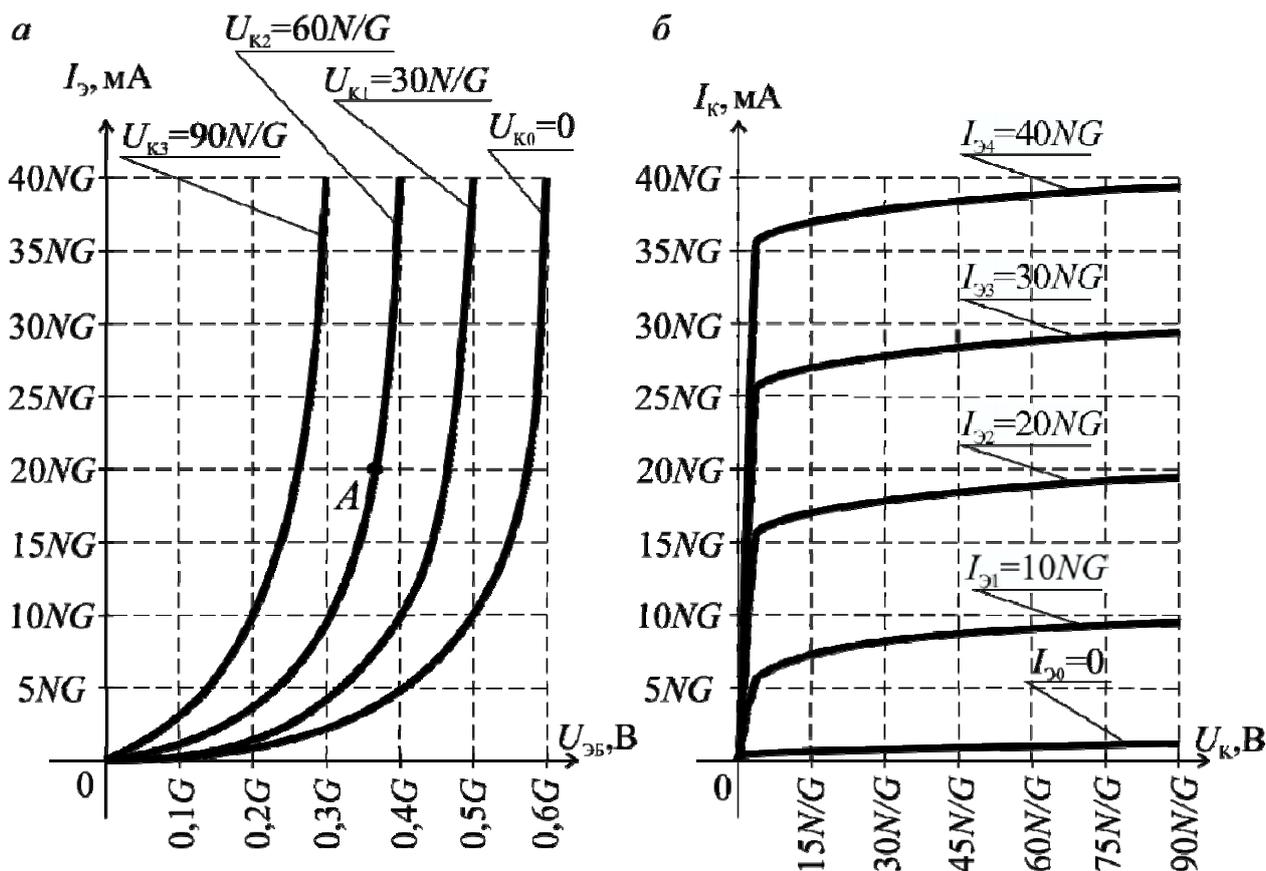


Рисунок 3.1 — Входные (а) и выходные (б) статические характеристики биполярного транзистора в схеме с ОБ

Рабочая точка транзистора соответствует на входных характеристиках точке A при $I_3 = 20 \cdot N \cdot G$ мА и $U_{к} = 60 \cdot N/G$ В (G – номер группы студента, N – номер студента по журналу деканата).

Необходимо:

- 1) нарисовать схему для снятия статических характеристик транзистора при включении его с ОБ, определив пределы измерения приборов и указав направления токов в транзисторе (тип транзистора: $p-n-p$ — для нечетных N , $n-p-n$ — для четных N);
- 2) определить h -параметры транзистора.

3.2 Пример решения задачи ($G = 4, N = 30$)

3.2.1 Построение входных и выходных характеристик

Изобразим рисунок 3.1 применительно к заданному варианту. Входные (рисунок 3.2) и выходные (рисунок 3.3) характеристики нарисуем отдельно, каждую на листе формата А4.

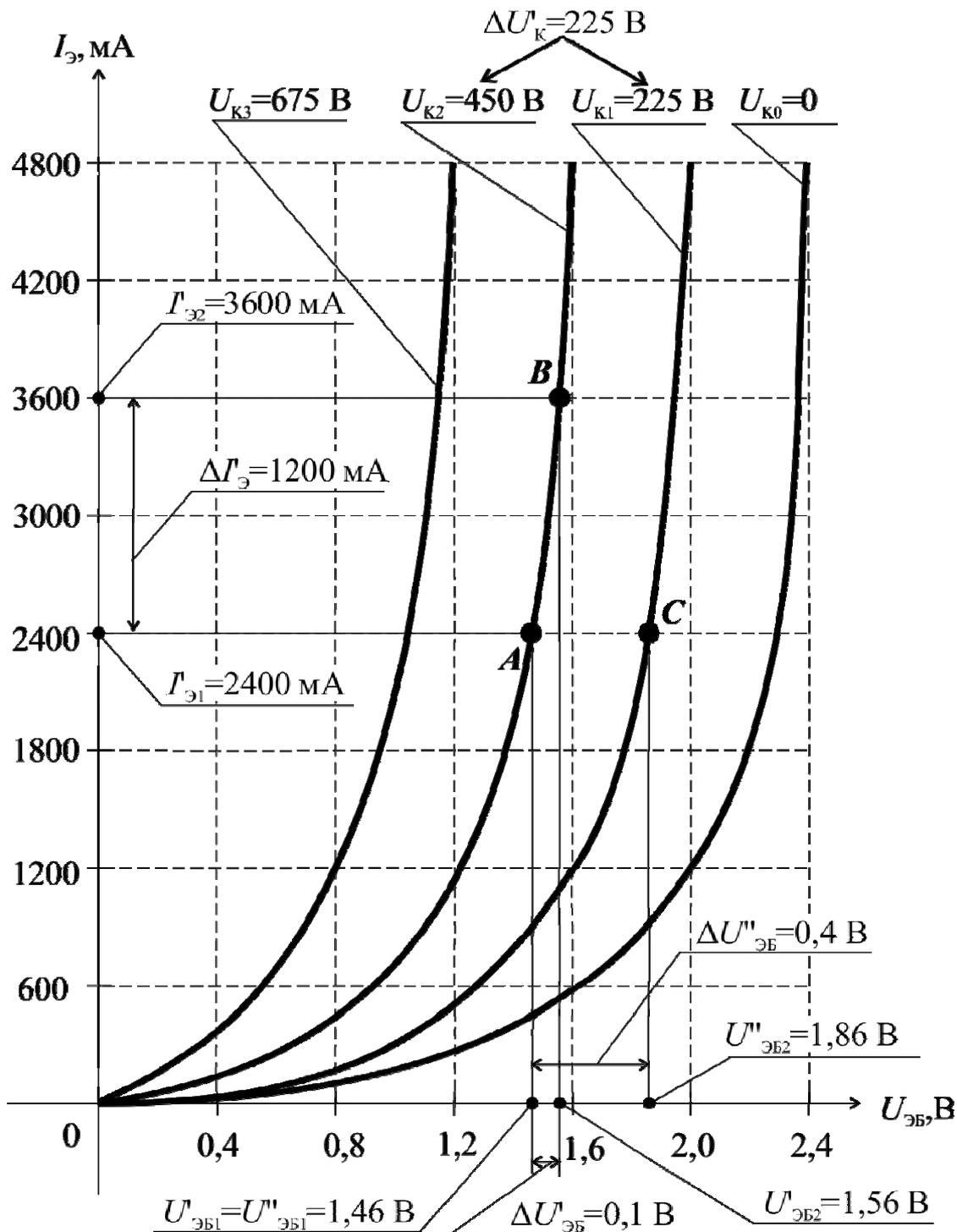


Рисунок 3.2 – Входные статические характеристики транзистора

Отметим на характеристиках рабочую точку транзистора A . Для заданного варианта ток $I_{\mathcal{O}} = 2400$ мА, а напряжение $U_{\text{К}} = 450$ В. По этим данным строим точку A на входных и выходных характеристиках.

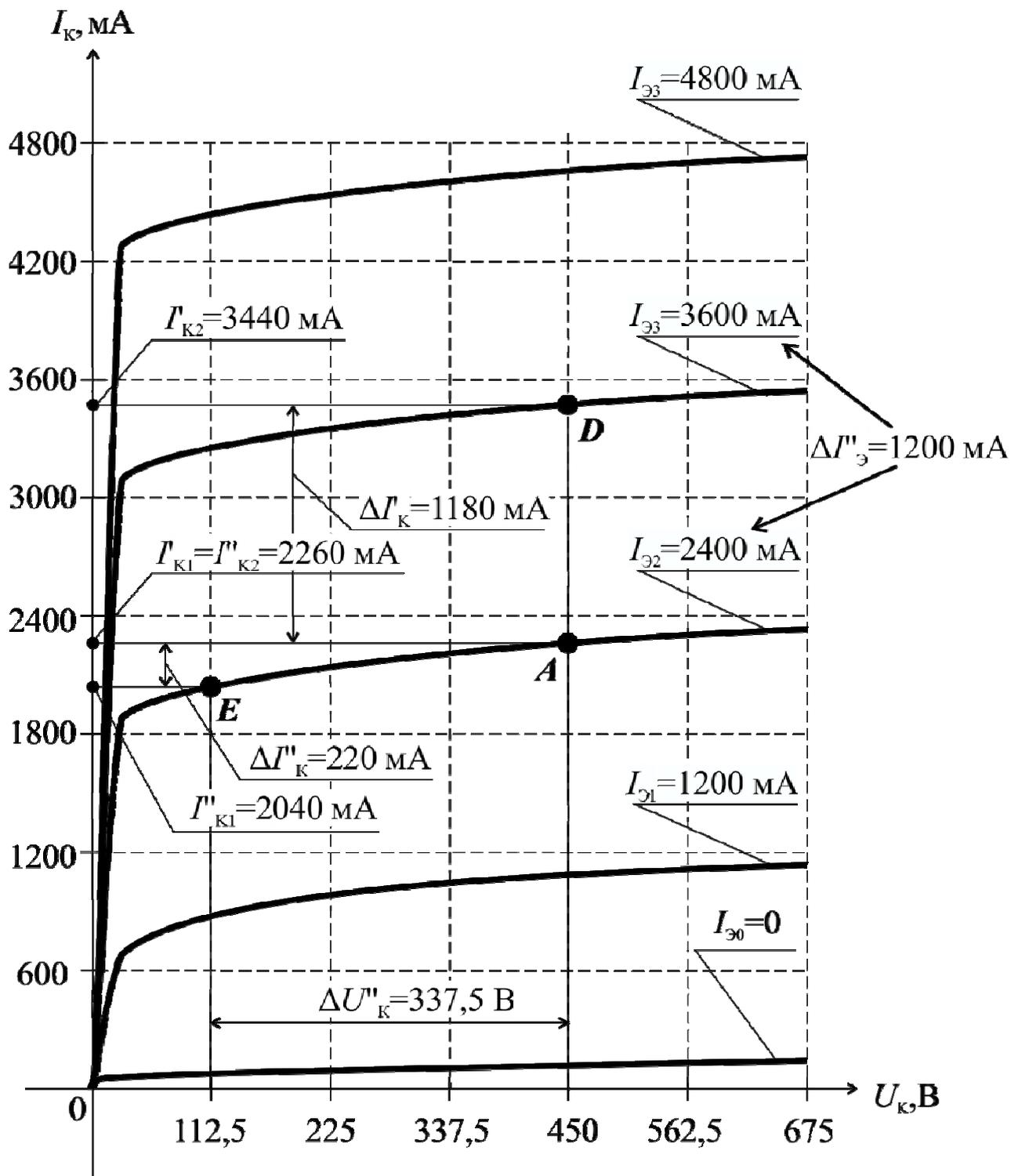


Рисунок 3.3 – Выходные статические характеристики транзистора

3.2.2 Схема для снятия статических характеристик транзистора при включении его с общей базой

Нарисуем схему с ОБ для снятия статических характеристик транзистора (рисунок 3.4). Так как $N = 30$ есть четное число, то схему изобразим для транзистора типа $n-p-n$.

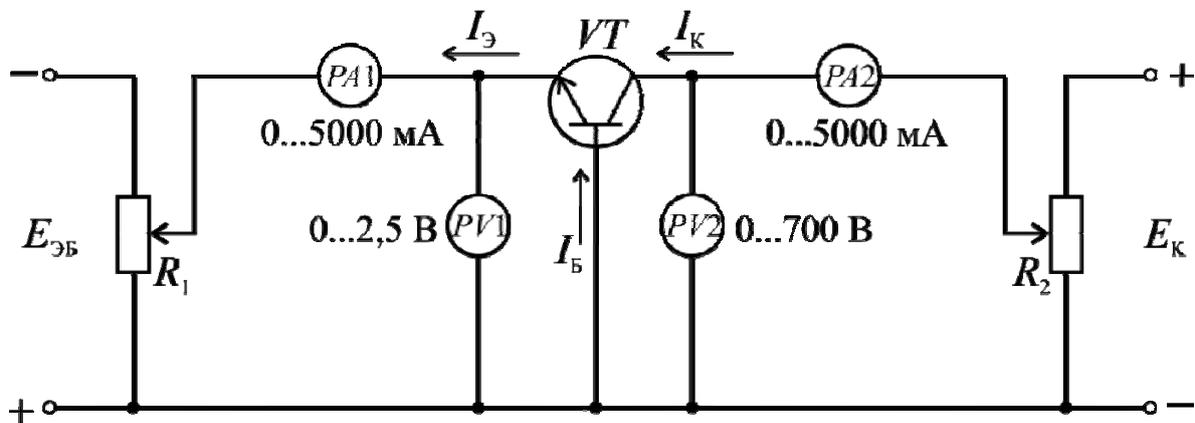


Рисунок 3.4 – Схема с ОБ для снятия статических характеристик транзистора типа $n-p-n$

В схеме прибор $PA1$ — амперметр, который измеряет входной ток. Согласно построенным входным характеристикам (рисунок 3.2), должен иметь предел измерения не менее 4800 мА. Выбираем предел 5000 мА.

Прибор $PV1$ — вольтметр, который измеряет входное напряжение. Согласно построенным входным характеристикам (рисунок 3.2), должен иметь предел измерения не менее 2,4 В. Выбираем предел 2,5 В.

Прибор $PA2$ — амперметр, который измеряет выходной ток. Согласно построенным выходным характеристикам (рисунок 3.3), должен иметь предел измерения не менее 4800 мА. Выбираем предел 5000 мА.

Прибор $PV2$ — вольтметр, который измеряет выходное напряжение. Согласно построенным входным характеристикам (рисунок 3.3), должен иметь предел измерения не менее 675 В. Выбираем предел 700 В.

3.2.3 Определение h -параметров

Определим h – параметры биполярного транзистора, пользуясь методикой, изложенной в [2].

Как известно, параметр h_{11} является входным сопротивлением и в общем виде определяется выражением

$$h_{11} = R_{BX} = \frac{\Delta U'_{BX}}{\Delta I'_{BX}}.$$

Для схемы с ОБ $U_{ВХ} = U_{ЭБ}$, а $I_{ВХ} = I_{Э}$, поэтому

$$h_{11Б} = \frac{\Delta U'_{ЭБ}}{\Delta I'_{Э}}$$

Так как $h_{11Б}$ определяется при условии, что $U_{ВХ} = U_{К} = \text{const}$, то нахождение его численного значения производится по одной входной характеристике (снятой при $U_{К} = \text{const}$), на которой расположена рабочая точка транзистора **A**.

В заданном варианте этому соответствует входная характеристика, снятая при $U_{К2} = 450$ В (рисунок 3.2).

На линейном участке этой характеристики выбираем другую точку — т. **B**. По проекциям т. **A** и т. **B** на оси абсцисс и ординат получаем данные для расчета $h_{11Б}$:

$$h_{11Б} = \frac{U'_{ЭБ2} - U'_{ЭБ1}}{I'_{Э2} - I'_{Э1}} = \frac{1,56 - 1,46}{(3600 - 2400) \cdot 10^{-3}} = 0,08333 \text{ Ом.}$$

Численные значения $U'_{ЭБ1}$, $U'_{ЭБ2}$, $\Delta U'_{ЭБ}$, $I'_{Э1}$, $I'_{Э2}$, $\Delta I'_{Э}$ покажем на рисунке 3.2.

Параметр h_{12} является коэффициентом обратной связи по напряжению и в общем виде определяется выражением

$$h_{12} = \frac{\Delta U''_{ВХ}}{\Delta U'_{ВЫХ}}$$

Для схемы с ОБ $U_{ВХ} = U_{ЭБ}$, а $U_{ВЫХ} = U_{К}$, поэтому

$$h_{12Б} = \frac{\Delta U''_{ЭБ}}{\Delta U'_{К}}$$

Нахождение численного значения $h_{12Б}$ производится по двум соседним входным характеристикам, одной из которых принадлежит рабочая точка транзистора **A**.

В заданном варианте этим характеристикам соответствуют входные характеристики, снятые при $U_{К2} = 450$ В и $U_{К1} = 225$ В (рисунок 3.2).

Так как $h_{12Б}$ определяется при условии, что $I_{ВХ} = I_{Э} = \text{const}$, то найдем $h_{12Б}$ при значении $I_{Э} = 2400$ мА, которому соответствует рабочая точка транзистора **A**.

Для этого через т. *A* проведем прямую *AC*, параллельную оси напряжений, до пересечения с соседней входной характеристикой (рисунок 3.2). По проекциям т. *A* и т. *C* на ось абсцисс находим $\Delta U''_{\text{ЭБ}}$. Величину $\Delta U'_K$ найдем как разность значений U_{K2} и U_{K1} при которых сняты выбранные входные характеристики. Таким образом,

$$h_{12Б} = \frac{U''_{\text{ЭБ2}} - U''_{\text{ЭБ1}}}{U_{K2} - U_{K1}} = \frac{1,86 - 1,46}{450 - 225} = 0,001778.$$

Численные значения $U''_{\text{ЭБ1}}$, $U''_{\text{ЭБ2}}$, $\Delta U''_{\text{ЭБ}}$, U_{K1} , U_{K2} , $\Delta U'_K$ покажем на рисунке 3.2.

Величина обратная h_{12} есть статический коэффициент усиления по напряжению

$$\frac{1}{h_{12Б}} = k_U = \frac{\Delta U'_K}{\Delta U''_{\text{ЭБ}}} = \frac{1}{0,001778} = 562,5.$$

Параметр h_{21} является статическим коэффициентом усиления по току и в общем виде определяется выражением

$$h_{21} = k_I = \frac{\Delta I'_{\text{ВЫХ}}}{\Delta I''_{\text{ВХ}}}.$$

Для схемы с ОБ $I_{\text{ВХ}} = I_{\text{Э}}$, а $I_{\text{ВЫХ}} = I_K$, поэтому

$$h_{21Б} = \frac{\Delta I'_K}{\Delta I''_{\text{Э}}}.$$

Нахождение численного значения $h_{21Б}$ производится по двум соседним выходным характеристикам, одной из которых принадлежит рабочая точка транзистора *A*.

В заданном варианте этим характеристикам соответствуют выходные характеристики, снятые при $I_{\text{Э2}} = 2400$ мА и $I_{\text{К3}} = 3600$ мА (рисунок 3.3).

Так как $h_{21Б}$ определяется при условии, что $U_{\text{ВЫХ}} = U_K = \text{const}$, то найдем $h_{21Б}$ при значении $U_K = 450$ В, которому соответствует рабочая точка транзистора *A*.

Для этого через т. *A* проведем прямую *AD*, параллельную оси токов, до пересечения с соседней выходной характеристикой (рисунок 3.3). По проекциям т. *A* и т. *D* на ось ординат находим $\Delta I'_K$. Величину $\Delta I''_{\text{Э}}$ найдем как разность

значений $I_{Э3}$ и $I_{Э2}$ при которых сняты эти выходные характеристики. Таким образом,

$$h_{21Б} = \frac{I'_{К2} - I'_{К1}}{I_{Э3} - I_{Э2}} = \frac{3440 - 2260}{3600 - 2400} = 0,9833.$$

Численные значения $I'_{К1}$, $I'_{К2}$, $\Delta I'_К$, $I_{Э2}$, $I_{Э3}$, $\Delta I''_{Э}$ покажем на рисунке 3.3.

Параметр h_{22} является выходной проводимостью и в общем виде определяется выражением

$$h_{22} = G_{ВЫХ} = \frac{\Delta I''_{ВЫХ}}{\Delta U''_{ВЫХ}}.$$

Для схемы с ОБ $U_{ВЫХ} = U_K$, а $I_{ВЫХ} = I_K$, поэтому

$$h_{22Б} = \frac{\Delta I''_К}{\Delta U''_К}.$$

Так как $h_{22Б}$ определяется при условии, что $I_{ВХ} = I_{Э} = \text{const}$, то нахождение его численного значения производится по одной выходной характеристике (снятой при $I_{Э} = \text{const}$), на которой расположена рабочая точка транзистора **A**.

В заданном варианте этому соответствует выходная характеристика, снятая при $I_{Э} = 2400$ В (рисунок 3.3).

На линейном участке этой характеристики выбираем другую точку — т. **E**. По проекциям т. **A** и т. **E** на оси абсцисс и ординат получаем данные для расчета $h_{22Б}$:

$$h_{22Б} = \frac{I''_{К2} - I''_{К1}}{U''_{К2} - U''_{К1}} = \frac{(2260 - 2040) \cdot 10^{-3}}{450 - 112,5} = 0,0006519 \text{ См.}$$

Численные значения $I''_{К1}$, $I''_{К2}$, $\Delta I'_К$, $U''_{К1}$, $U''_{К2}$, $\Delta U'_К$ покажем на рисунке 3.3.

Обратная величина h_{22} есть выходное сопротивление

$$\frac{1}{h_{22Б}} = R_{ВЫХ} = \frac{1}{0,0006519} = 1534 \text{ Ом.}$$

Определим также статический коэффициент усиления по мощности, который равен

$$k_P = k_U \cdot k_I = \frac{1}{h_{12Б}} \cdot h_{21Б} = 562,5 \cdot 0,9833 = 553,1.$$

Окончательные результаты расчетов h -параметров биполярного транзистора сведем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 — Результаты расчета h -параметров биполярного транзистора

Параметр	Расчет	Значение
$h_{11Б} = R_{ВХ}$	$\frac{1,56-1,46}{(3600-2400) \cdot 10^{-3}}$	0,08333 Ом
$h_{12Б}$	$\frac{1,86-1,46}{450-225}$	0,001778
$\frac{1}{h_{12Б}} = k_U$	$\frac{1}{0,001778}$	562,5
$h_{21Б} = k_I$	$\frac{3440-2260}{3600-2400}$	0,9833
$h_{22Б} = G_{ВЫХ}$	$\frac{(2260-2040) \cdot 10^{-3}}{450-112,5}$	0,0006519 См
$\frac{1}{h_{22Б}} = R_{ВЫХ}$	$\frac{1}{0,0006519}$	1534 Ом
$\frac{h_{21Б}}{h_{12Б}} = k_U \cdot k_I = k_P$	562,5 · 0,9833	553,1

3.3 Оформление результатов расчетов

Отчет по решению данной задачи минимально должен состоять из следующих разделов, которые необходимо располагать на отдельных страницах.

1. Титульный лист.
2. Рисунок 1 — Входные статические характеристики (аналогичный рисунку 3.2).
3. Рисунок 2 — Выходные статические характеристики (аналогичный рисунку 3.3).
4. Рисунок 3 — Схема с ОБ для снятия статических характеристик транзистора (аналогичный рисунку 3.4).
5. Таблица 1 — Результаты расчета h -параметров (аналогичная таблице 3.1).
6. Выводы и предложения.