

Институт информационных и вычислительных технологий

Кафедра вычислительных машин, систем и сетей

Курсовая работа

**ЛИНЕЙНЫЙ ОДНОКАСКАДНЫЙ  
УСИЛИТЕЛЬ СИГНАЛА ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ**

**Выполнил**

**Студент**

Китов Владислав Александрович

---

**Группа**

А-08-21

---

**Принял**

**Преподаватель**

Лагутина Светлана  
Владимировна

**Часть 1**

**Оценка**

---

**Дата**

---

**Часть 2**

**Оценка**

---

**Дата**

---

## **Введение**

Целью работы является расчёт параметров элементов схемы однокаскадного усилителя, удовлетворяющего указанным техническим требованиям, на основе решения задачи синтеза и анализа расчёта. Будет проведен расчет параметров каскада, проверка полученных значений, моделирование усилительного каскада на ЭВМ.

## 1. Задание на работу и исходные данные

Выбрать схему однокаскадного усилителя и рассчитать элементы его схемы, удовлетворяющего следующим, заданным вариантом, техническим требованиям.

1. Тип транзистора – КТ502В (р-п-р).
2. Максимальная амплитуда неискаженного выходного сигнала  $U_{\text{вых}} = 3,9 \text{ В}$ .
3. Минимальное значение коэффициента усиления напряжения  $K_e = \frac{U_{\text{вых}}}{e_{\text{г}}} = 0,75$  при заданном сопротивлении нагрузки  $R_{\text{н}} = 0,65 \text{ кОм}$  и внутреннем сопротивлении источника сигнала  $R_{\text{г}} = 1,5 \text{ кОм}$ .
4. Усилитель при заданной емкости нагрузки  $C_{\text{н}} = 7 \text{ нФ}$  должен обеспечить полосу пропускания от  $f_{\text{н}} = 150 \text{ Гц}$  до  $f_{\text{в}} = 20 \text{ кГц}$ .
5. Температурный диапазон для всех вариантов:  $-40^\circ\text{C} \dots +60^\circ\text{C}$ .

Для удобства представим самые нужные для расчета данные в виде таблицы.  
Но сначала определим ток нагрузки:

$$I_{\text{н}} = \frac{U_{\text{вых}}}{R_{\text{н}}} = \frac{3,9}{650} = 0,006(\text{А})$$

Основные исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1

Название транзистора	$K_{e0}$	$U_{\text{вых}}, \text{В}$	$R_{\text{н}}, \text{кОм}$	$I_{\text{н}}, \text{мА}$	$C_{\text{н}}, \text{нФ}$	$R_{\text{г}}, \text{кОм}$	$f_{\text{н}}, \text{Гц}$	$f_{\text{в}}, \text{кГц}$
КТ502В	0,75	3,9	0,65	6	7	1,5	150	20

## 2. Синтез схемы

### 2.1. Основные и предельно допустимые параметры

Для заданного типа транзистора выписать из справочника основные и предельно допустимые параметры.

Для расчета нужна также справочная информация о транзисторе. Параметры транзистора приведены в таблице 2, а предельно допустимые параметры в таблице 3. Источниками справочной информации послужили следующие сайты: rlocman.ru, elektrikaetoprosto.ru, eandc.ru. Скриншоты с параметрами транзистора приведены в Приложении 1.

Таблица 2

Тип транзистора	$\beta_{\min} \dots \beta_{\max}$	$f_T$ , МГц	$C_{кп}$ , пФ	$C_{эп}$ , пФ
КТ502В(р-п-р)	40...120	5	50	100

Таблица 3

Параметр	$ U_{кэ \text{ доп}} $	$I_{к \text{ доп}}$	$P_{\text{доп}}$
Значение	40 В	100 мА	0.35 Вт

### 2.2 Схема усилительного каскада

По заданным техническим требованиям обосновать выбор схемы усилительного каскада.

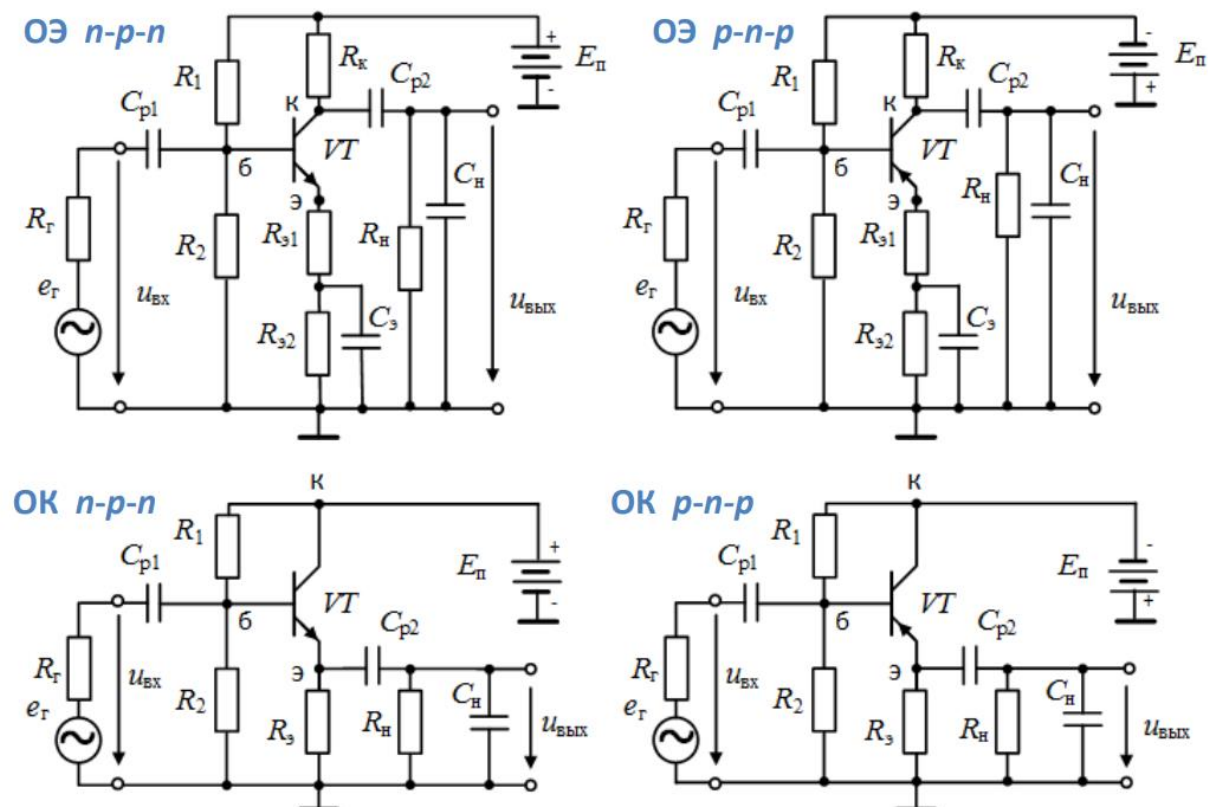


Рис.1. Схемы усилительных каскадов

Транзистор, включенный по схеме с ОЭ, в зависимости от его усилительных свойств может дать 10-200 кратное усиление по напряжению и 20-100 кратное усиление по току. Существенным недостатком является сравнительно малое входное сопротивление (сотни Ом), что усложняет согласование усилительных каскадов, транзисторы которых включены по такой же схеме. Выходное сопротивление достаточно большое (единицы...десятки кОм), зависит от сопротивления нагрузки и усилительных свойств. Транзистор, включенный по схеме с ОК, в зависимости от его усилительных свойств не дает усиления по напряжению, но по току усиление такое же, как при включении по схеме с ОЭ. Входное сопротивление может составлять десятки-сотни кОм и хорошо согласуется с выходным сопротивлением каскада на транзисторе, включенным по схеме с ОЭ. В ТЗ требуется коэффициент усиления по напряжению  $K_{e0} = 0.75$ , тип транзистора р-п-р, а значит нужно взять схему с общим коллектором для р-п-р транзистора.

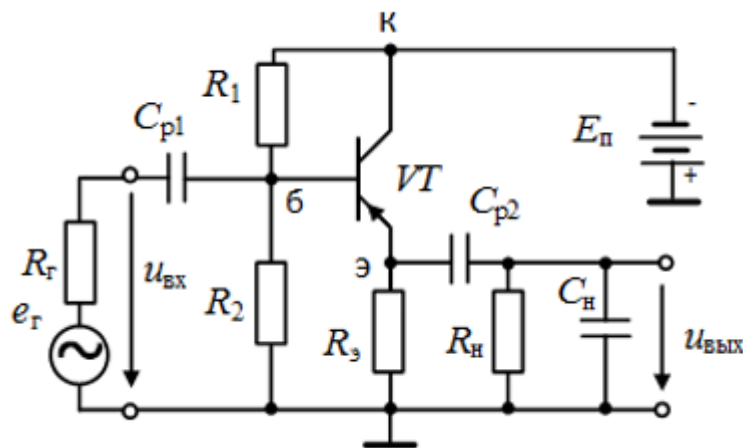


Рис. 2.1. Выбранная схема каскада

### 2.3 Получение входной и выходных характеристик каскада

Для заданного типа транзистора с помощью программы схемотехнического проектирования **DesignLab** снять входные и выходные характеристики для схемы включения ОК.

Для получения характеристик с помощью программы схемотехнического моделирования **DesignLab** были собраны схемы, представленная на рис. 2.2.

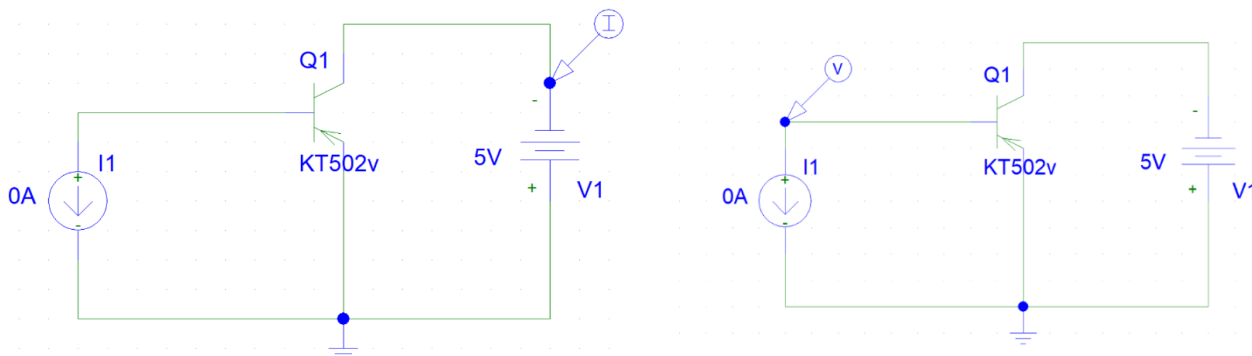


Рис. 2.2. Схемы для получения характеристик транзистора

С помощью схемы (рис. 2.2) были получены входная (рис. 2.3) и выходные (рис. 2.4) характеристики транзистора.

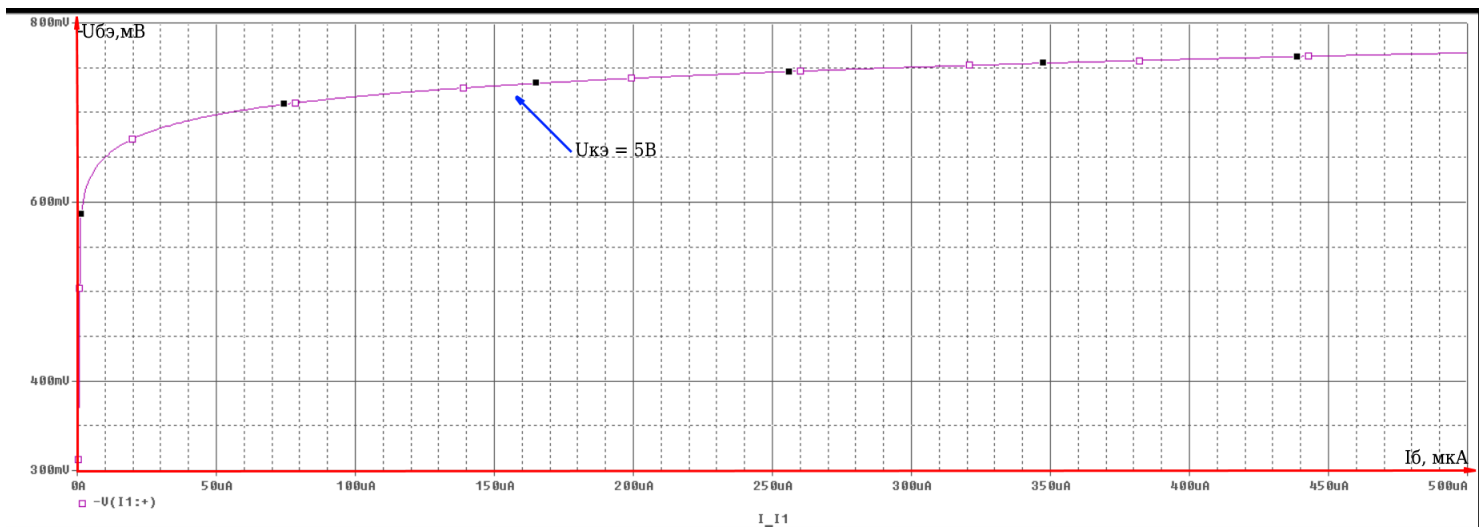


Рис. 2.3. Входная характеристика транзистора KT502в

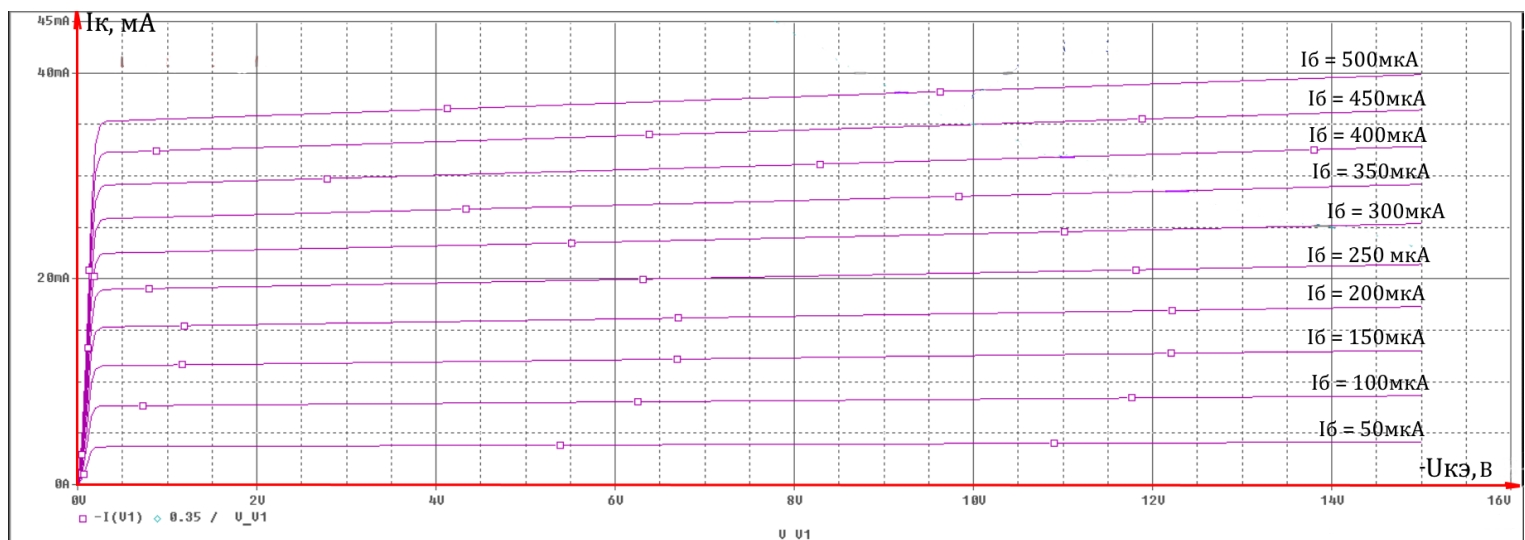


Рис. 2.4. Выходные характеристика транзистора KT502в

## 2.4 Определение рабочей точки

По максимальной амплитуде выходного сигнала и сопротивлению нагрузки определить рабочий режим транзистора и номинальное напряжение источника питания.

Выбор рабочей точки зависит от предельно допустимых значений. Рабочая точка должна располагаться ниже  $I_{к\text{ макс доп}}$ , левее  $|U_{кэ\text{ макс доп}}|$  и под гиперболой  $P_{\text{макс доп}}$ .

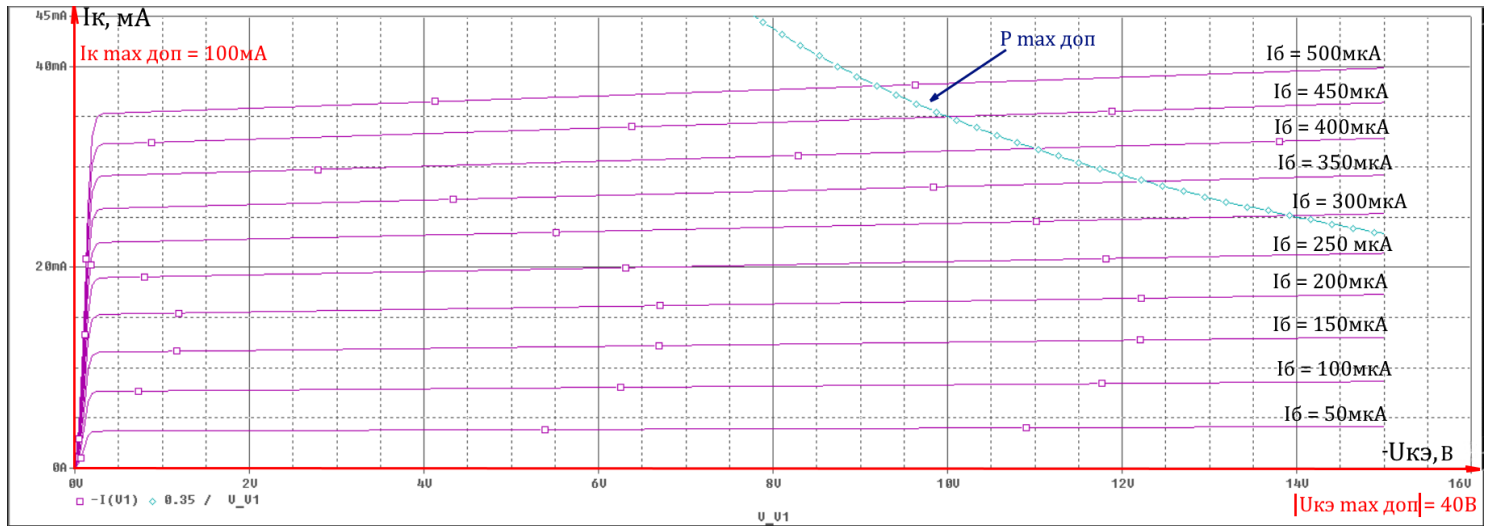


Рис 2.5. Выходные характеристики транзистора КТ502в с ограничениями для рабочей точки

Напряжение в рабочей точке и напряжение источника питания можно определить с помощью следующих неравенств:

$$|U_{кэА}| \geq U_{вых} + \Delta U_{нел} + \Delta U_T$$

$$|E_{пит}| \geq U_{кэА} + \Delta U_T + U_{вых} + \Delta U_E$$

$\Delta U_{нел} = 1(B)$  – запас напряжения, связанный с нелинейностью выходных вольтамперных характеристик транзистора.

$\Delta U_T = 2(B)$  – запас напряжения, связанный с уходом рабочей точки из-за изменения температуры и разброса параметров транзистора.

$$\Delta U_E = (1...3) \cdot U_{вых}$$

$$|U_{кэА}| \geq 3.9 + 1 + 2 \geq 6.9(B)$$

Возьмем  $|U_{кэА}| = 9 \text{ В}$ .

$$|E_{пит}| \geq 9 + 2 + 3.9 + 2 \cdot 3.9 \geq 22.7(B)$$

$|E_{пит}|$  выбирается из номинального ряда напряжений источников. Возьмем 24 В.

$$|U_{кэА}| = (0.35...0.65) \cdot |E_{пит}| = (8.4...15.6) \text{ В}, |U_{кэА}| \text{ попадает в диапазон}$$

Ток в рабочей точке можно выбрать с помощью следующего неравенства:

$$I_{кА} \geq I_{\sim} + I_{к0}$$

$$I_{\sim} = \frac{U_{вых} + \Delta U_T}{R_{\sim}} = k_i \cdot I_n = (3...5) \cdot I_n \quad I_{к0} = (1...2) \text{ мА} - \text{тепловой ток}$$

$$I_{\sim} = 3 \cdot 0.006 = 18(\text{мА}), \quad I_{к0} = 1(\text{мА}), \text{ то } I_{кА} \geq 19(\text{мА}). \text{ Возьмем } 20 \text{ мА.}$$

Теперь можно провести нагрузочную прямую (рис. 2.6) с помощью двух точек:  $(|U_{кэА}|; I_{кА}) = (9\text{В}; 20\text{мА})$  и  $(|E_{пит}|; 0) = (24; 0)$ .

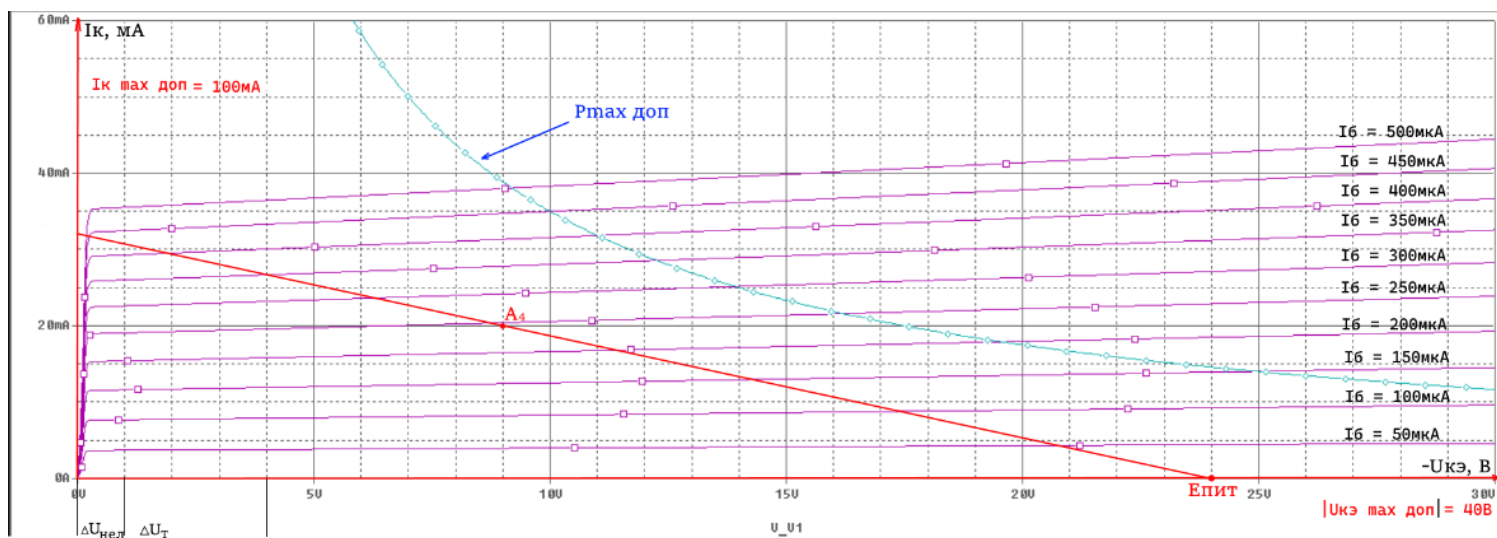


Рис 2.6. Выходные характеристики с нагрузочной прямой по постоянному току и рабочей точкой

Итог расчетов этого пункта – координаты выбранной рабочей точки и  $E_{\text{пит}}$  приведены в таблице 4.

Таблица 4

Параметр	$ U_{\text{кэА}} , \text{В}$	$I_{\text{кА}}, \text{мА}$	$ E_{\text{пит}} , \text{В}$
Значение	9	20	24

## 2.5 Определение сопротивлений резисторов выходной цепи. Проверка транзистора

Рассчитать сопротивления резисторов выходной цепи каскада. По заданному типу транзистора и его предельным параметрам обосновать возможность применения транзистора в заданной схеме усилительного каскада.

Для построенной предварительной нагрузочной прямой можно определить сопротивление каскада по постоянному току:

$$R_{\sim} = \frac{|E_{\text{пит}}| - |U_{\text{кэА}}|}{I_{\text{кА}}} = \frac{24 - 9}{20} = 750 (\text{Ом})$$

$R_{\sim}$  сразу совпало с числом из номинального ряда.

Рассчитаем эквивалентное сопротивление по переменному току:

$$R_{\sim} = R_9 \parallel R_n = \frac{750 \cdot 650}{750 + 650} \approx 348.21 (\text{Ом})$$

Теперь найдем точку для построения нагрузочной прямой по переменному току:

$$I_{\text{кА}} \cdot R_{\sim} = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 348.21 \approx 7 (\text{В})$$

$U_{\text{блх}} + \Delta U_T = 3.9 + 2 = 5.9 (\text{В})$ , а это меньше чем  $I_A \cdot R_{\sim}$ , значит можно строить нагрузочную прямую. Отложим от значения  $|U_{\text{кэА}}|$  по оси  $U_{\text{кэ}}$  вправо величину  $I_A \cdot R_{\sim}$  и, соединив эту точку с рабочей, построить нагрузочную прямую по переменному току (рис. 2.7).



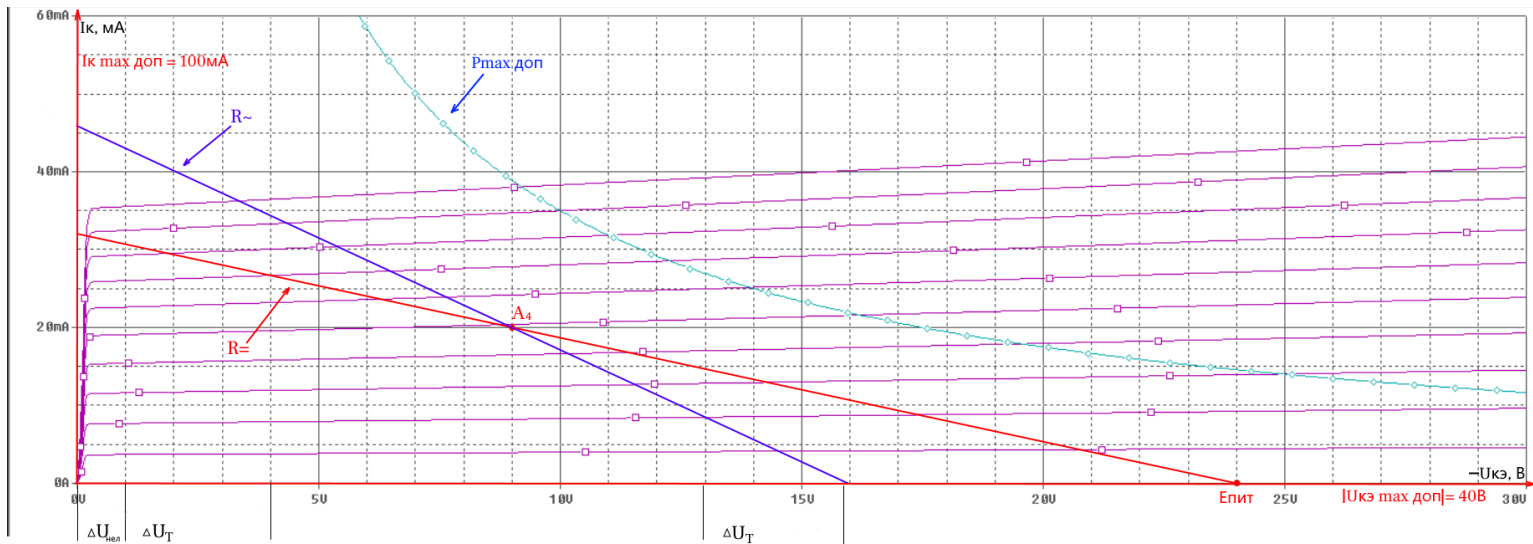


Рис 2.7. Выходные характеристики с нагрузочными прямыми и рабочей точкой

Теперь убедимся в том, что выбранный транзистор подходит для получения характеристик, указанных в техническом задании.

Нужно проверить следующие соотношения:

$$|E_{пит}| < |U_{кэ\_доп}|$$

$$24(B) < 40(B)$$

$$I_{к\_макс} < I_{доп}, \text{ где}$$

$$I_{к\_макс} = 20 \cdot 10^{-3} + \frac{9}{348.214} \approx 45.85(мА)$$

$$I_{к\_макс} = I_{кА} + \frac{U_{кэА}}{R_{\sim}}$$

Получается следующее:

$$45.85(мА) < 100(мА)$$

$$P_A < P_{доп}, \text{ где}$$

$$P_A = 9 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0.18(Bm)$$

$$P_A = U_{кэА} \cdot I_{кА}$$

$$0.18(Bm) < 0.35(Bm)$$

Все условия выполнены, транзистор подходит для решения поставленной задачи, а значит можно продолжать расчеты.

## 2.6 Определение сопротивлений резисторов входной цепи

Рассчитать сопротивления резисторов входной цепи схемы с учетом разброса коэффициента усиления транзистора и колебаний внешней температуры.

Из учебника Степаненко, И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем / И.П. Степаненко. – 4-е изд., пер. и доп. – М.: Энергия, 1977. – 672с. [стр. 327 и 328] возьмем формулы для расчета  $R_6$ .

$$R_6 \leq \frac{\beta \cdot (\Delta I_{к\_доп} \cdot R_9 - |\xi \cdot \Delta T|)}{\Delta \beta_6 \cdot I_{бА} - \Delta I_{к\_доп}} - R_9, \text{ где}$$

$$\Delta I_{к\_доп} = \frac{\Delta U_T}{R_{\sim}} = \frac{\Delta U_T}{R_9} = \frac{2}{750} \approx 2.67(мА)$$

$$\xi = 2\left(\frac{mB}{C^\circ}\right), \quad \Delta T = \max\{|-40C^\circ - 20C^\circ|, |60C^\circ - 20C^\circ|\} = 60(C^\circ)$$

$$\beta = \beta_{cp} = \frac{\beta_{\min} + \beta_{\max}}{2} = 80, \quad I_{\bar{\sigma}A} = \frac{I_A}{\beta} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{80} = 250 \cdot 10^{-6} (A) = 250 (\mu A)$$

$$\Delta\beta = \max\{120 - \beta_{cp}, \beta_{cp} - 40\} = 40$$

Подставляя числа получаем следующее:

$$R_{\bar{\sigma}} \leq \frac{80 \cdot (2.67 \cdot 10^{-3} \cdot 750 - |2 \cdot 10^{-3} \cdot 60|)}{40 \cdot 250 \cdot 10^{-6} - 2.67 \cdot 10^{-3}} - 750 \approx 19.76 (k\Omega)$$

$R_{\bar{\sigma}}$  получилось  $> 0$ , следовательно, рабочая точка стабильна. Но чтобы получить, требуемый в техническом задании коэффициент усиления, нужно оценить  $R_{\bar{\sigma}}$  следующим образом:

$$\xi_{\bar{\sigma}x} \approx 1.1 \cdot K_{e0} = 1.1 \cdot 0.75 = 0.825$$

$$\xi_{\bar{\sigma}x} = \frac{R_{\bar{\sigma}x}}{R_{\bar{\sigma}x} + R_{\Gamma}}$$

$$R_{\bar{\sigma}x} = R_{\bar{\sigma}} \parallel (h_{11\bar{\sigma}} + (1 + h_{21\bar{\sigma}}) \cdot R_{\sim})$$

$$h_{11\bar{\sigma}} \approx (h_{11\bar{\sigma}} + (1 + h_{21\bar{\sigma}}) \cdot R_{\sim})$$

$$h_{21\bar{\sigma}} = \beta_{cp} = \frac{\beta_{\max} + \beta_{\min}}{2} = \frac{120 + 40}{2} = 80$$

Следовательно:

$$R_{\bar{\sigma}} \approx \frac{R_{\bar{\sigma}x} \cdot (1 + h_{21\bar{\sigma}}) \cdot R_{\sim}}{(1 + h_{21\bar{\sigma}}) \cdot R_{\sim} - R_{\bar{\sigma}x}} = \frac{7071.43 \cdot (1 + 80) \cdot 348.21}{(80 + 1) \cdot 348.21 - 7071.43} = 9437.56 (\Omega)$$

Далее выведем формулы для расчета  $R_1$  и  $R_2$ :

$$\varphi_{\bar{\sigma}} = |U_{\bar{\sigma}A}| + I_{\bar{\sigma}} \cdot R_{\bar{\sigma}} \approx 0.7 + (1 + \beta) \cdot I_{\bar{\sigma}A} \cdot R_{\bar{\sigma}}, \text{ где}$$

$$\beta = \beta_{cp} = 80, \quad I_{\bar{\sigma}A} = \frac{I_{\kappa A}}{\beta} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{80} = 250 \cdot 10^{-6} = 250 (\mu A)$$

Но с другой стороны:

$$\varphi_{\bar{\sigma}} = |E_{num}| \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} - I_{\bar{\sigma}A} \cdot R_{\bar{\sigma}} = |E_{num}| \cdot \frac{R_{\bar{\sigma}}}{R_1} - I_{\bar{\sigma}A} \cdot R_{\bar{\sigma}}, \text{ где}$$

$$R_{\bar{\sigma}} = R_1 \parallel R_2$$

$$|E_{num}| \cdot \frac{R_{\bar{\sigma}}}{R_1} - I_{\bar{\sigma}A} \cdot R_{\bar{\sigma}} = 0.7 + (1 + \beta) \cdot I_{\bar{\sigma}A} \cdot R_{\bar{\sigma}}, \quad \text{следовательно:}$$

$$R_1 = \frac{|E_{num}| \cdot R_6}{0,7 + I_{6A} \cdot R_{cm}}, \text{ где}$$

$$R_{cm} = R_6 + (1 + \beta) \cdot R_3 = 9437.56 + (1 + 80) \cdot 750 \approx 70187.56(\text{Ом}),$$

$$R_2 = \frac{R_6 \cdot R_1}{R_1 - R_6}$$

Считая  $R_1$  и  $R_2$  получаем:

$$R_1 = \frac{24 \cdot 9437.56}{0.7 + 250 \cdot 10^{-3} \cdot 70187.56} \approx 12413.15(\text{Ом})$$

$R_1$  округляем до значения из номинального ряда, следовательно,  $R_1 = 13(\text{кОм})$

$$R_2 = \frac{9437.56 \cdot 13000}{13000 - 9437.56} \approx 34439.40(\text{Ом})$$

$R_2$  округляем до значения из номинального ряда, следовательно,  $R_2 = 36(\text{кОм})$

Пересчитаем величину  $R_6$  для дальнейших расчетов:

$$R_6 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{13000 \cdot 36000}{13000 + 36000} \approx 9551(\text{Ом})$$

Все найденные сопротивления представлены ниже в таблице 5.

Таблица 5

Параметр	$R_1$ , кОм	$R_2$ , кОм	$R_3$ , Ом	$R_6$ , кОм	$R_{\Sigma}$ , Ом	$R_{\Sigma}$ , Ом
Рассчитанное значение	12.41315	39.37029	750	9.551	750	348.21
Значение из ряда E24	13	39	750	****	****	****

Теперь нанесем на схему каскада сопротивления и значение  $E_{пит}$ .

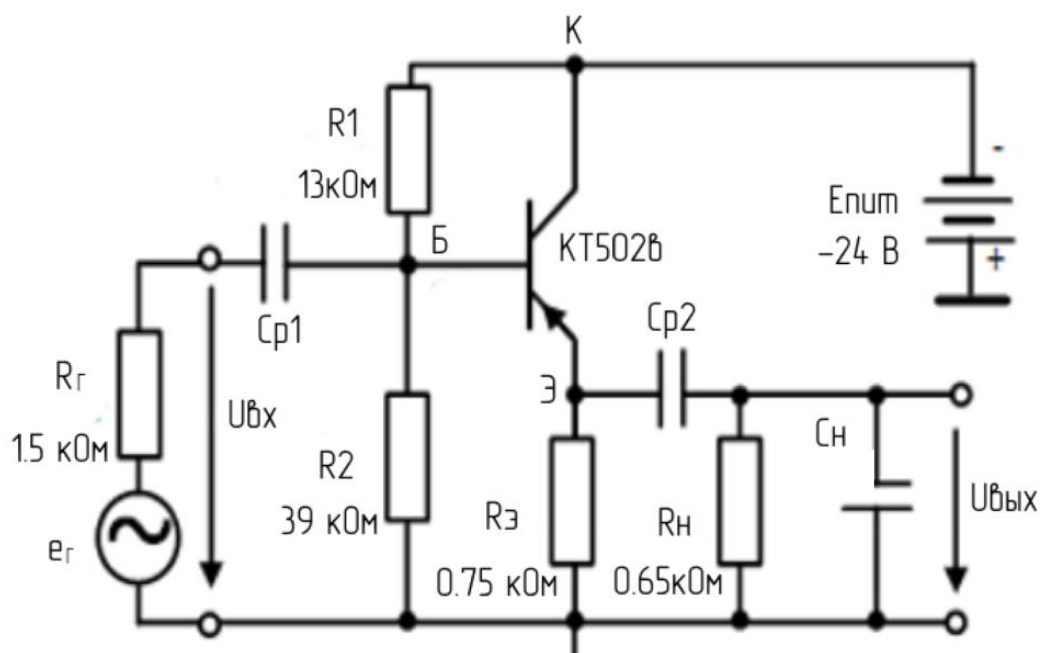


Рис 2.8. Схема усилительно каскада для транзистора KT502в

### 3. Анализ схемы

#### 3.1. Проверка рабочего режима

Для выбранных сопротивлений резисторов схемы аналитически рассчитать рабочий режим каскада и проверить, совпадает ли он с выбранным в п. 4.

Перед расчетом рабочего режима нарисует схему каскада по постоянному току.

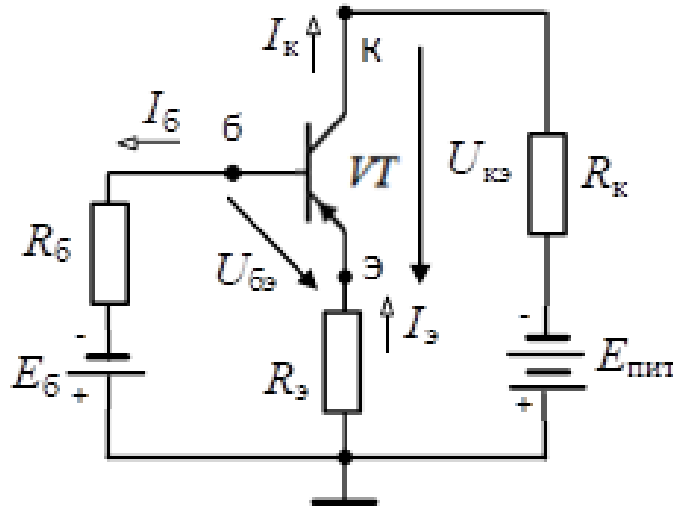


Рис. 3.1. Схема каскада по постоянному току

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} U_{бэ} = -E_{бэ} + I_{бэ} \cdot R_{бэ} + I_{э} \cdot R_{э} = -E_{бэ} + I_{бэ} \cdot (R_{бэ} + (1 + \beta_{cp}) \cdot R_{э}) \\ U_{кэ} = -E_{пит} + I_{бэ} \cdot (1 + \beta_{cp}) \cdot R_{э} \\ I_{кэ} = \beta_{cp} \cdot I_{бэ} \end{cases}$$

где  $E_{бэ} = E_{пит} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1}$ ,  $U_{бэ} \approx -0.7(B)$ ,  $I_{э} = I_{бэ} \cdot (1 + \beta_{cp})$

$$\begin{cases} -0.7 = -18 + I_{бэ} \cdot (9551 + (1 + 80) \cdot 750) \\ U_{кэ} = -24 + I_{бэ} \cdot (1 + 80) \cdot 750 \\ I_{кэ} = 80 \cdot I_{бэ} \end{cases}$$

Решая полученную систему с помощью приложения Photomath (скриншоты в Приложении 1), получаем:

$$I_{бэ} \approx 246.08 \cdot 10^{-6} = 246.08(\mu A)$$

$$I_{кэ} \approx 19.87 \cdot 10^{-3} = 19.87(mA)$$

$$U_{кэ} \approx -9.05(B)$$

Точку А<sub>7</sub> (246.08 мкА, -0.7 В) нанесём на входную характеристику (рис. 3.2), и эту же точку А<sub>7</sub> (19.87 мА, -9,05 В) – на выходные характеристики транзистора (рис. 3.3).

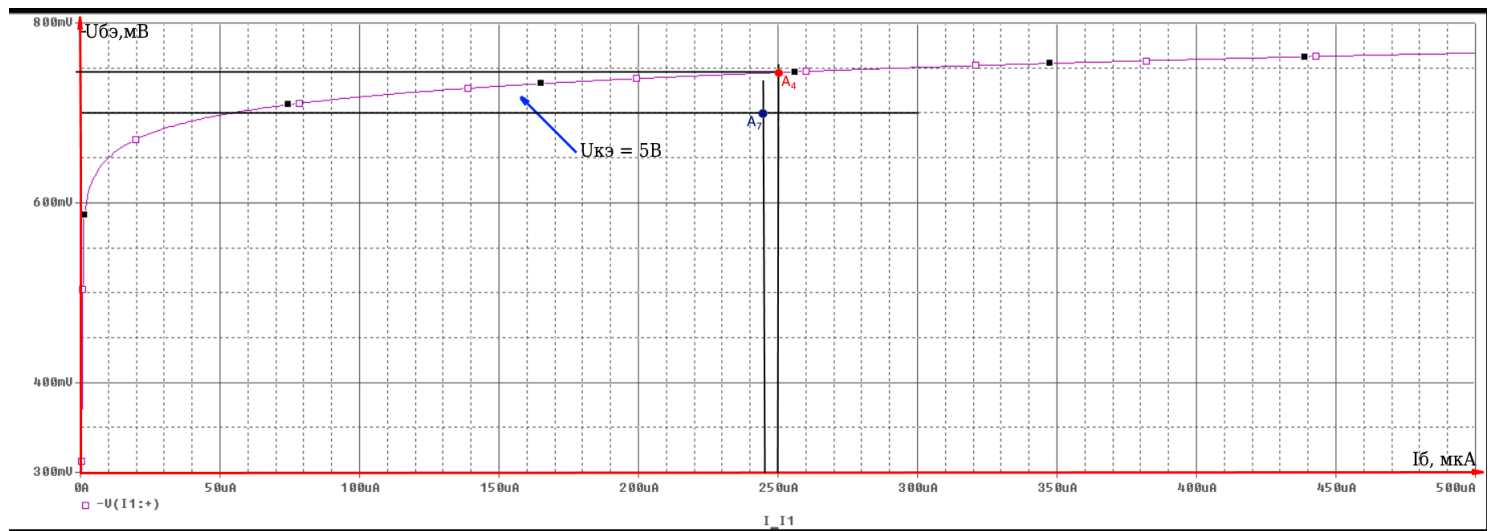


Рис 3.2. Рабочие точки на входной характеристике

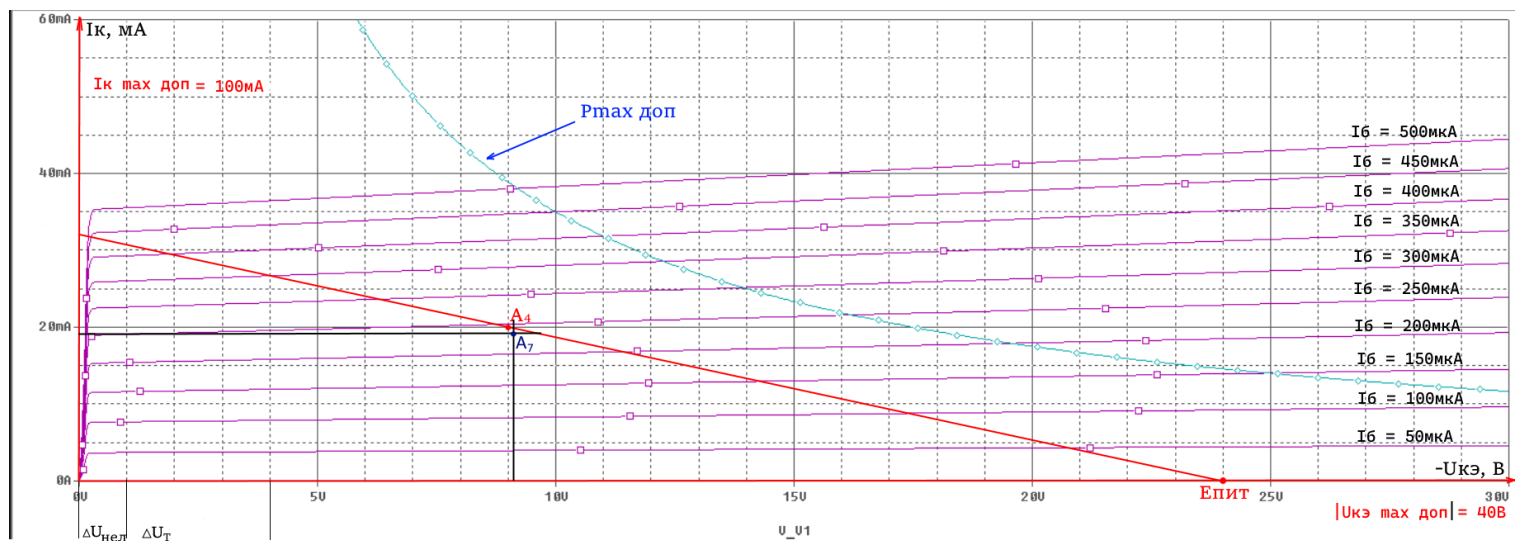


Рис 3.3. Рабочие точки на выходных характеристиках

Сравним полученные токи и напряжения, полученные синтезом и аналитическим методом, и отразим их в таблице 6.

Таблица 6

Параметр	$U_{бэА}$ , мВ	$I_{бА}$ , мкА	$U_{кэА}$ , В	$I_{кА}$ , мА
Пп. 2.4, 2.6	-749	250	-9	20
П. 3.1	-700	246.08	-9.05	19.87

### 3.2 Расчет возможного ухода рабочего тока

Рассчитать возможный уход рабочего тока из-за колебаний температуры и из-за разброса коэффициента усиления. Проверить, лежит ли суммарное изменение в диапазоне, заданном в п. 2.4.

В чем суть расчетов? Определенная выше рабочая точка ориентирована на температуру  $20\text{ C}^0$  и конкретного значения  $\beta$ . Но температура может измениться и конкретный транзистор, на котором спаяли каскад, имеет значение  $\beta$  совсем не то (это может быть любое значение  $\beta$  из технологического диапазона транзистора данного типа). Тогда значения токов и напряжений в рабочей точке будут совершенно другие, то есть точка сдвинется по нагрузочной прямой. Но транзистор должен все равно работать в активном режиме и не уйти ни в отсечку, ни в насыщение. Для этого и нужно аналитически проверить уход рабочей точки и сравнить с тем, что выбрали раньше в п. 2.4 (сравнение в таблице 7).

$$\Delta I_{\kappa} = \Delta I_{\kappa 1} + \Delta I_{\kappa 2}.$$

Найдем  $\Delta I_{\kappa 1}$  и  $\Delta I_{\kappa 2}$ :

$$\Delta I_{\kappa 1} = \frac{|\xi \cdot \Delta T| \cdot \beta_{cp}}{R_o + R_{\gamma} \cdot (1 + \beta_{cp})}, \text{ где}$$

$$\xi = 2\left(\frac{mB}{C^{\circ}}\right), \quad \Delta T = \max\{|-40\text{C}^{\circ} - 20\text{C}^{\circ}|, |60\text{C}^{\circ} - 20\text{C}^{\circ}|\} = 60(\text{C}^{\circ})$$

$$\Delta I_{\kappa 2} = \frac{\Delta \beta / \beta_{cp}}{1 + \beta_{cp} \cdot \gamma_o} \cdot I_A, \text{ где}$$

$$\Delta \beta = \max\{120 - \beta_{cp}, \beta_{cp} - 40\} = 40, \quad \gamma_o = \frac{R_{\gamma}}{R_{\gamma} + R_o} = \frac{750}{750 + 9750} \approx 0.071$$

Подставляя значения получаем:

$$\Delta I_{\kappa 1} = \frac{|2 \cdot 10^{-3} \cdot 60| \cdot 80}{9551 + 750 \cdot (1 + 80)} = 136.56 \cdot 10^{-6} (\text{A}) = 136.17 (\text{мкА})$$

$$\Delta I_{\kappa 2} = \frac{40 / 80}{1 + 80 \cdot 0.071} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \approx 1.5 \cdot 10^{-3} (\text{A}) = 1.5 (\text{мА})$$

$$\Delta I_{\kappa} = 136.56 \cdot 10^{-6} + 1.5 \cdot 10^{-3} = 1636.56 \cdot 10^{-6} (\text{A}) = 1636.56 (\text{мкА})$$

Теперь посчитаем  $\Delta U_T$ :

$$\Delta U_T = \Delta I_{\kappa} \cdot R_{\kappa} = \Delta I_{\kappa} \cdot R_{\gamma}$$

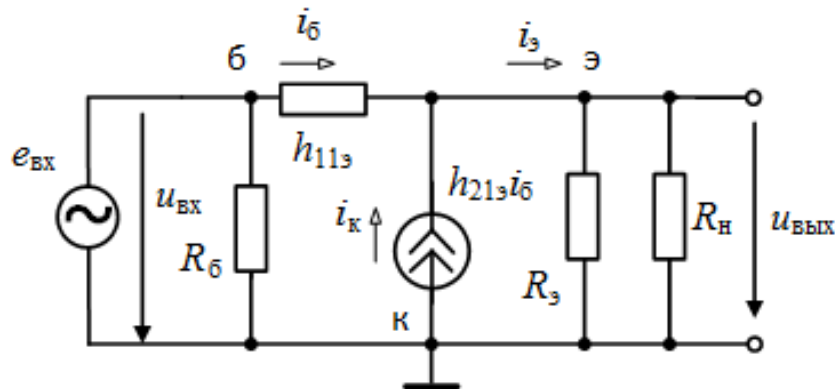
$$\Delta U_T = 1636.56 \cdot 10^{-6} \cdot 750 \approx 1.23 (\text{В})$$

Таблица 7

Параметр	п. 2.4	п. 3.2
$\Delta U_T, \text{ В}$	2	1.23

Запас напряжения, полученный аналитически оказался меньше, чем заданный в п. 2.4, а значит, что линейность работы транзистора обеспечена в заданном температурном диапазоне.

### 3.3 Расчет входного и выходного сопротивление усилителя. Расчет коэффициента усиления напряжения.



Далее должны быть расчеты (с необходимыми пояснениями) входного и выходного сопротивления усилителя.

4

5 Здесь должны быть расчеты (с необходимыми пояснениями) коэффициента усиления, для каскада ОЭ – сначала провести расчет сопротивлений  $R_{э1}$  и  $R_{э2}$ . Перед расчетом  $K_{е0}$  надо посчитать величины  $K_{и\text{ хх}}$ ,  $\xi_{вх}$ ,  $\xi_{вых}$ .

6 Затем для каскада ОЭ обязательно должна быть проведена проверка выполнения двойного неравенства:  $0.9 K_{е0\text{ тз}} \leq |K_{е0}| \leq 1.1 K_{е0\text{ тз}}$ . Для каскада ОК проверено выполнение неравенства  $K_{е0} \geq K_{е0\text{ тз}}$ .

7

8 Таблица 9

Параметр	$R_{вх}$ , единицы измерения	$R_{вых}$ , единицы измерения	$ K_{е0} $
Значение			