

**Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и Информатики**

**Кафедра Вычислительных Систем**

**Электротехника электроника и схемотехника**

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1**

**по дисциплине «Электротехника, электроника, схемотехника»**

**Часть 1 «Электротехника»**

**Студент: Болотин Павел Владимирович**

**Индивидуальный номер студента: 73180026**

**г. Новосибирск 2020**

<b>Содержание</b>	
<b>Задание №1</b>	<b>3</b>
<b>Задание №2</b>	<b>8</b>
<b>Задание №3</b>	<b>10</b>
<b>Задание №4</b>	<b>14</b>

### Задание №1

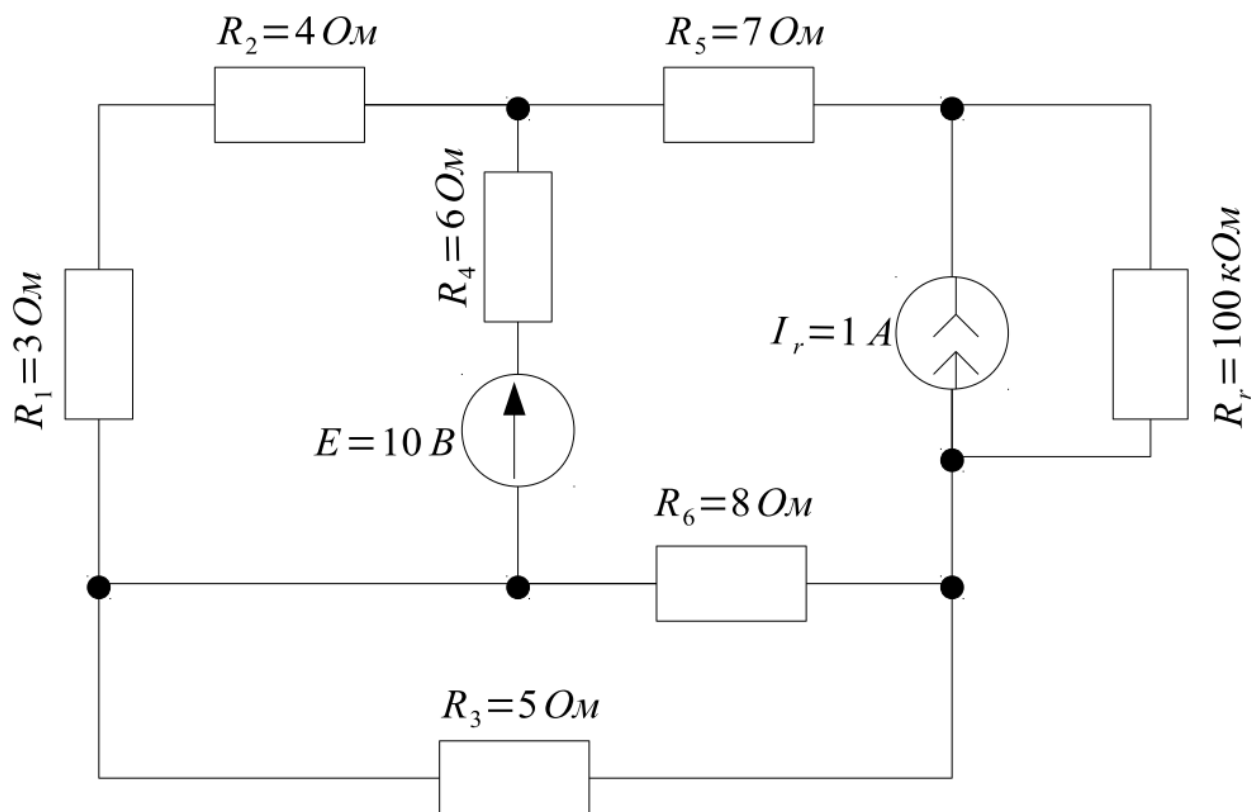
Выбор варианта: номер студенческого 73180026

По таблице 3.1 варианту 26 соответствует схема №7

По таблице 3.2 варианту 26 соответствуют параметры:

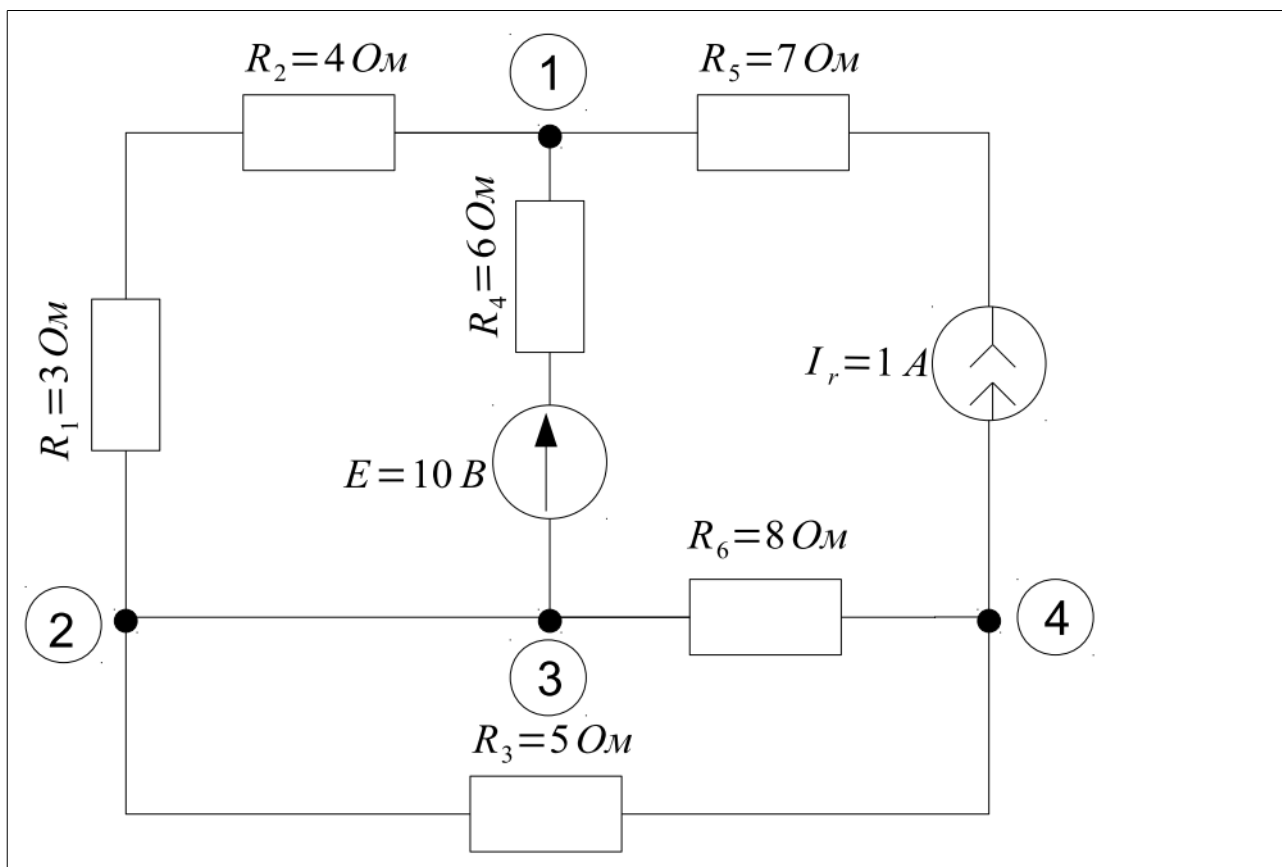
$$E=10\text{ В} \quad I_r=1\text{ А} \quad R_1=3\text{ Ом} \quad R_2=4\text{ Ом} \quad R_3=5\text{ Ом} \quad R_4=6\text{ Ом} \quad R_5=7\text{ Ом} \\ R_6=8\text{ Ом} \quad R_r=100\text{ кОм}$$

#### 1. Перерисуйте схему своего варианта:



#### Проведём анализ исходных данных:

Внутреннее сопротивление источника тока  $I_r$  —  $R_r=100\text{ кОм}$  что много больше остальных сопротивлений схемы, поэтому оно практически не будет влиять на распределение токов в цепи и им можно пренебречь. Тогда схема может быть заменена эквивалентной, более удобной для расчётов. Обозначим на схеме номера узлов.



## 2. Составить систему уравнений электрического равновесия цепи.

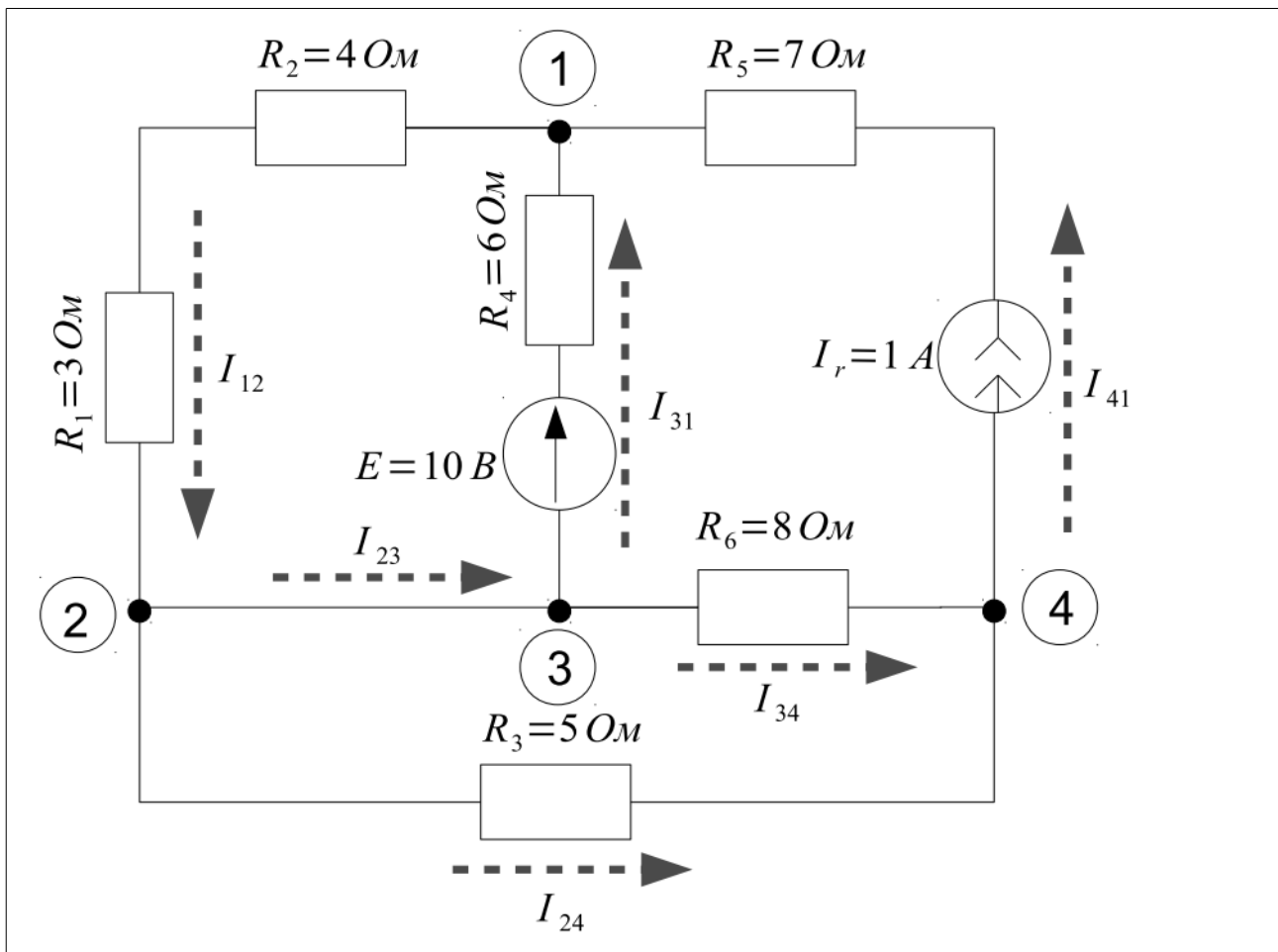
Электрическая цепь имеет 4 узла, 1, 2, 3, 4. 6 ветвей (1-4, 4-2, 2-1, 4-3, 2-3, 3-1), 3 контура: 1-1-2-3, 1-3-4, 2-4-3.

Данная цепь относится к сложным, так как содержит несколько источников энергии в разных ветвях.. В сложной цепи направление токов в ветвях до расчёта токов указать нельзя, поэтому сначала направления токов выбираются произвольно. Обозначим произвольно выбранные направления пунктирными стрелками.

Число токов в электрической цепи равно числу её ветвей. Ветвь это участок цепи с последовательным соединением одного или большего количества элементов (через все элементы ветви течёт один и тот же ток). Токи обозначим  $I_{12}, I_{24}, I_{23}, I_{34}, I_{31}, I_{41}$ .

Число ветвей с источниками тока: 1. Это ветвь 41.

Число узлов:  $n_y = 4$ , Число ветвей:  $n_e = 6$ ; число ветвей с источниками тока: 1.  
 $n_m = 1$ ;



Число независимых уравнений по первому закону Кирхгофа, на 1 меньше числа узлов. Для данной схемы это 3 уравнения, так как узлов 4.

Первый закон Кирхгофа формулируется так: Алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю.

Выпишем уравнения для первого закона Кирхгофа.

$$(1) \quad I_{31} - I_{12} + I_{41} = 0$$

$$(2) \quad I_{12} - I_{23} - I_{24} = 0$$

$$(3) \quad I_{23} - I_{31} - I_{34} = 0$$

$$(4) \quad I_{34} + I_{24} - I_{41} = 0$$

Использовать можно лишь 3 из данных уравнений, так как четвёртое линейно зависимо от остальных трёх.

Всего уравнений должно быть столько, сколько существует неизвестных токов, для нашего всего неизвестно 5 токов, так как ток  $I_{41} = I_r = 1 \text{ A}$  поэтому остальные 2 уравнения получим с помощью второго закона Кирхгофа для независимых контуров.

Учтём что в контур нельзя включать ветвь с источником тока, если неизвестно напряжение на его зажимах.

Рассматриваем контуры 123 и 243 (порядок рассмотрения — против часовой стрелки).

Составляем систему уравнений:

$$(1) \quad I_{31} - I_{12} + I_{41} = 0$$

$$(2) \quad I_{12} - I_{23} - I_{24} = 0$$

$$(3) \quad I_{34} + I_{24} - I_{41} = 0$$

$$[1] \quad (R_1 + R_2) \cdot I_{12} + R_4 \cdot I_{31} = E$$

$$[2] \quad R_3 \cdot I_{24} - R_6 \cdot I_{34} = 0$$

В этой системе, неизвестны величины:  $I_{31}, I_{12}, I_{23}, I_{24}, I_{34}$ , ток  $I_{41} = I_r = 1 \text{ A}$ ,  $E = 10 \text{ B}$ .

Зададим соответствующую систему уравнений в математическом программном комплексе Maple, затем решим её относительно неизвестных величин:

$$\begin{aligned} \text{sys} &:= \{-I_{12} + I_{31} = -1, I_{12} - I_{23} - I_{24} = 0, I_{24} + I_{34} = 1, 7 \cdot I_{12} \\ &\quad + 6 \cdot I_{31} = 10, 5 \cdot I_{24} - 8 \cdot I_{34} = 0\} \\ \{ &-I_{12} + I_{31} = -1, 7 I_{12} + 6 I_{31} = 10, I_{24} + I_{34} = 1, 5 I_{24} \\ &\quad - 8 I_{34} = 0, I_{12} - I_{23} - I_{24} = 0\} \quad (1) \\ \text{solve}(\text{sys}, \{I_{12}, I_{23}, I_{24}, I_{31}, I_{34}\}); \\ \{ &I_{12} = \frac{16}{13}, I_{23} = \frac{8}{13}, I_{24} = \frac{8}{13}, I_{31} = \frac{3}{13}, I_{34} = \frac{5}{13} \} \quad (2) \end{aligned}$$

Проверка подстановкой (например в первое уравнение системы),  $\frac{3}{13} - \frac{16}{13} + 1 = 0$  показывает что решение системы найдено верно.

Далее рассчитаем падения напряжений на всех резисторах по закону Ома:

$$U_{R1} = R_1 \cdot I_{12} = 3 \cdot \frac{16}{13} = \frac{48}{13} \text{ B}$$

$$U_{R2} = R_2 \cdot I_{12} = 4 \cdot \frac{16}{13} = \frac{64}{13} \text{ B}$$

$$U_{R3} = R_3 \cdot I_{24} = 5 \cdot \frac{8}{13} = \frac{40}{13} \text{ B}$$

$$U_{R4} = R_4 \cdot I_{31} = 6 \cdot \frac{3}{13} = \frac{18}{13} \text{ B}$$

$$U_{R5} = R_5 \cdot I_{41} = 7 \cdot 1 = 7 \text{ B}$$

$$U_{R6} = R_6 \cdot I_{34} = 8 \cdot \frac{5}{13} = \frac{40}{13} \text{ B}$$

### 3. Проведём проверку баланса мощностей.

При составлении баланса учитываем что мощности, потребляемые сопротивлениями всегда положительны, а отдаваемые источниками энергии, определяются алгебраическими суммами. Если направление напряжения на зажимах источника и направление тока противоположны, то мощность источника положительна, если направление напряжения и тока совпадают, то отрицательна.

Исходя из сказанного, баланс мощностей для схемы определяется выражением:

$$R_1 \cdot I_{12}^2 + R_2 \cdot I_{12}^2 + R_3 \cdot I_{24}^2 + R_4 \cdot I_{31}^2 + R_5 \cdot I_{41}^2 + R_6 \cdot I_{34}^2 = U_r \cdot I_r + E \cdot I_{31}$$

Здесь  $U_r$  — напряжение на зажимах источника тока. Его можно найти если выделить контур с элементами:  $I_r, R_5, R_4, E, R_6$ , и составить для него уравнение (рассматривая контур против часовой стрелки):

$$U_r - R_5 \cdot I_r + R_4 \cdot I_{31} - R_6 \cdot I_{34} - 10 = 0$$

$$\text{Откуда } U_r = 7 - \frac{18}{13} + \frac{40}{13} + 10 = 243/13$$

Посчитаем левую часть выражения баланса мощности, используя найденные значения напряжений и токов  $I_{12}, I_{24}, I_{31}, I_{41}, I_{34}$ :

$$48/13 \cdot 16/13 + 64/13 \cdot 16/13 + 40/13 \cdot 8/13 + 18/13 \cdot 3/13 + 7 + 40/13 \cdot 5/13 = 21 \text{ Вт}$$

Тогда правая часть выражения баланса мощности, с учётом найденного  $U_r$  будет

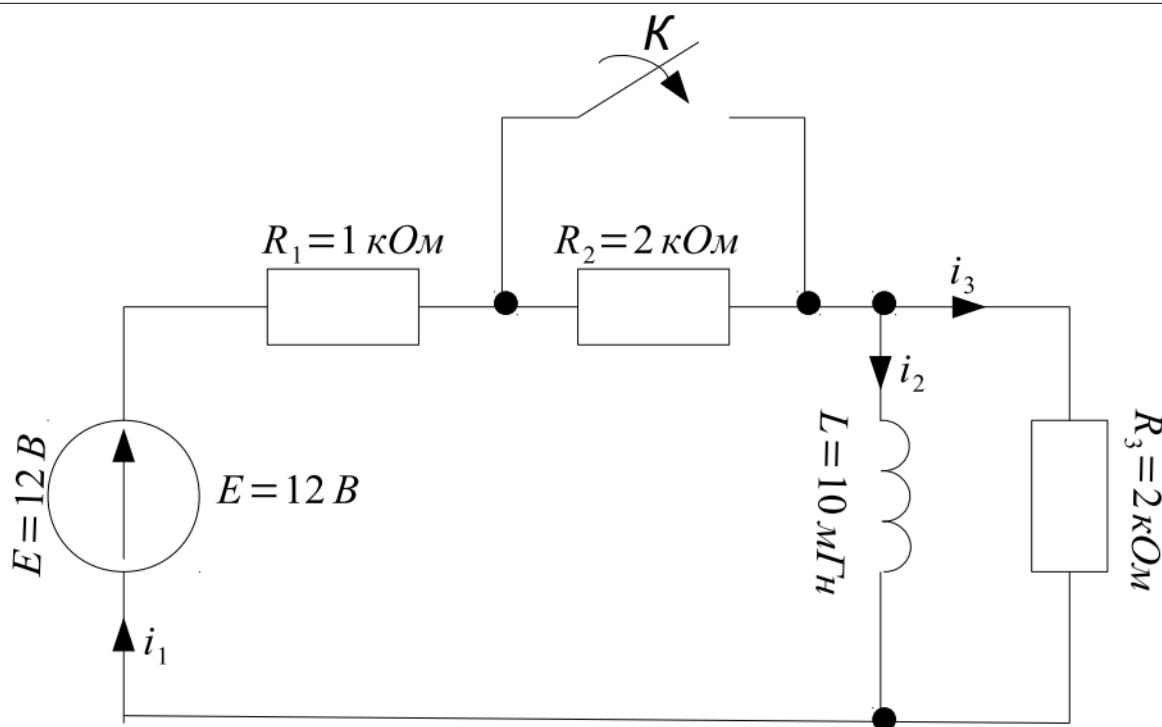
$$\frac{243}{13} + \frac{30}{13} = \frac{273}{13} = 21 \text{ Вт}, \text{ что отличается от левой части на } 0\%.$$

**Ответ: Все пункты задания выполнены.**

## Задание №2

### 1. Перерисуйте схему цепи.

Номер студенческого билета 73180026, соответствующий номеру вариант — 26. Этому варианту по таблице соответствует схема номер 7. Перерисуем её:



### 2. Выпишите числовые данные (уже указаны на схеме).

$E = 12 \text{ В}$ ,  $R_1 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 2 \text{ кОм}$ ,  $R_3 = 2 \text{ кОм}$ ,  $L = 10 \text{ мГн}$ .

### 3. Рассчитайте все токи и напряжение на L в три момента времени:

- а)  $t = 0_-$
- б)  $t = 0_+$
- в)  $t = \infty$

а) Момент  $t = 0_-$  соответствует стационарному состоянию цепи до коммутации. В этом состоянии резистор  $R_2$  не закорочен ключом **К** и влияет на работу цепи. Схема в данный момент представляет собой цепь, в которой  $U_L(0_-) = 0$ , а  $R_3$  закорочен  $L$  поэтому она может быть рассчитана по следующим формулам:

$$i_1(0_-) = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{12 \text{ В}}{3 \text{ кОм}} = 4 \text{ мА}$$

$$i_2(0_-) = i_1(0_-) = 4 \text{ мА}$$

$$i_3(0_-) = 0 \text{ А}$$

б) Момент  $t = 0_+$  соответствует состоянию схемы сразу после коммутации, при замыкании ключа **К**. Согласно **первому закону коммутации**: ток в индуктивном элементе не может измениться скачком.

То есть  $i_2(0_+) = i_2(0_-) = 4 \text{ мА}$

Остальные величины находим составляя систему уравнения по законам Кирхгофа.



$$(1) \quad i_2(0_+) + i_3(0_+) - i_1(0_+) = 0 \text{ A}$$

Рассматривая контуры по часовой стрелке по второму закону Кирхгофа получим уравнения:

$$(2) \quad R_1 \cdot i_1(0_+) + U_L(0_+) = E$$

$$(3) \quad R_3 \cdot i_3(0_+) - U_L(0_+) = 0$$

Решая систему относительно трёх неизвестных величин, получаем:

$$i_3(0_+) = \frac{8}{3} \text{ mA} \quad , \quad i_1(0_+) = \frac{20}{3} \text{ mA} \quad , \quad U_L(0_+) = \frac{16}{3} \text{ B}$$

**в)** Момент  $t = \infty$  соответствует стационарному состоянию схемы с замкнутым ключом К (соответственно с замкнутым резистором  $R_2$  )

$$U_L(\infty) = 0 \quad ; \quad i_1(\infty) = \frac{E}{R_1} = \frac{12 \text{ B}}{1 \text{ kOM}} = 12 \text{ mA} \quad ; \quad i_3(\infty) = 0 \quad ; \quad i_2(\infty) = i_1(\infty) = 12 \text{ mA}$$

**Ответ:**

$$\text{а)} \quad i_1(0_-) = 4 \text{ mA} \quad , \quad i_2(0_-) = 4 \text{ mA} \quad , \quad i_3(0_-) = 0 \text{ A} \quad , \quad U_L(0_-) = 0 \quad ;$$

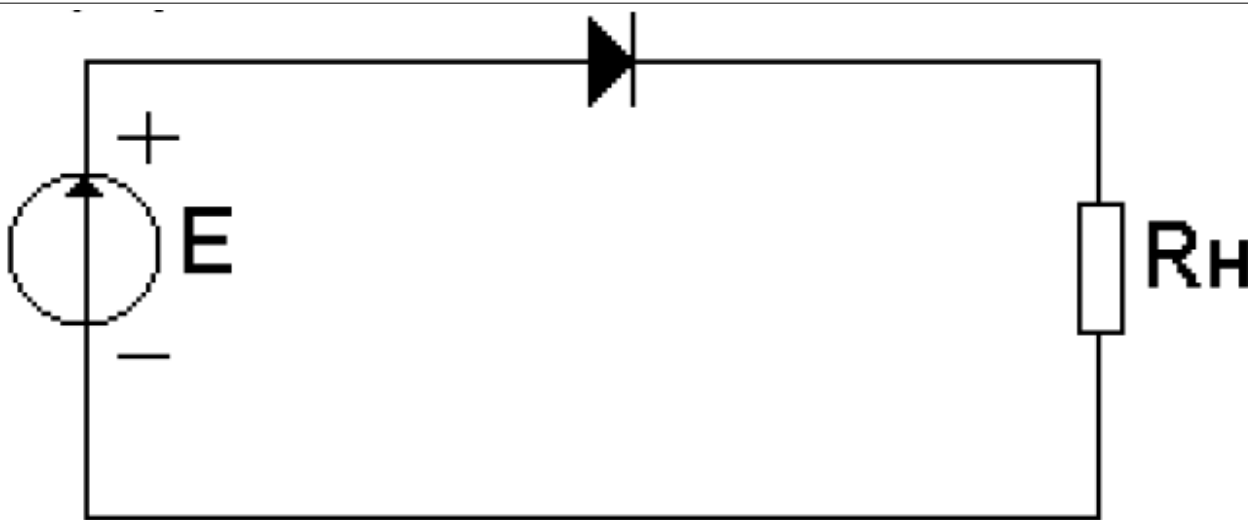
$$\text{б)} \quad i_1(0_+) = \frac{20}{3} \text{ mA} \quad , \quad i_2(0_+) = 4 \text{ mA} \quad , \quad i_3(0_+) = \frac{8}{3} \text{ mA} \quad , \quad U_L(0_+) = \frac{16}{3} \text{ B} \quad ;$$

$$\text{в)} \quad i_1(\infty) = 12 \text{ mA} \quad , \quad i_2(\infty) = 12 \text{ mA} \quad , \quad i_3(\infty) = 0 \quad , \quad U_L(\infty) = 0 \quad .$$

### Задание №3

#### Определить:

1. Сопротивление диода постоянному току при заданном прямом напряжении и температуре  $t_1$  градусов.
2. Сопротивление диода постоянному току при заданном обратном напряжении и температуре  $t_2$  градусов.
3. Дифференциальное сопротивление диода при заданном прямом напряжении и температуре  $t_1$  градусов.
4. Дифференциальное сопротивление диода при заданном обратном напряжении и температуре  $t_2$  градусов.
5. Рассчитать ток и напряжение в нагрузке, и падение напряжения на диоде в схеме, приведённой ниже, при заданном напряжении источника  $E$  и сопротивлении нагрузки  $R_n$ . Построить нагрузочную прямую. Температура равна  $t_1$  градусов.



#### Выбор варианта:

Номер студенческого билета 73180026. Номер варианта соответствует последней цифре кода студента. Берём параметры для варианта №6.

Диод: 2д102а

Прямое напряжение:  $U_{пр} = 0,8 \text{ В}$

Обратное напряжение:  $U_{обр} = 200 \text{ В}$

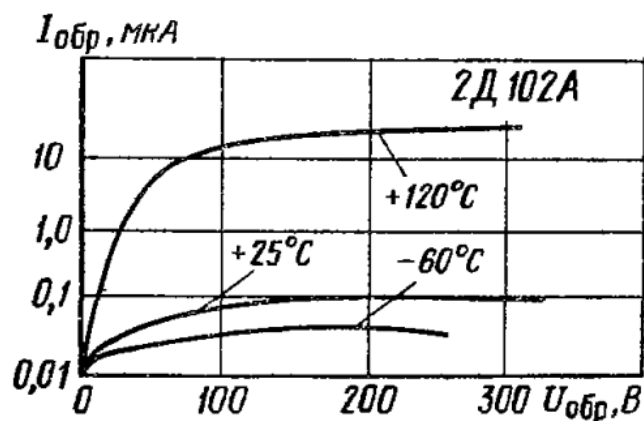
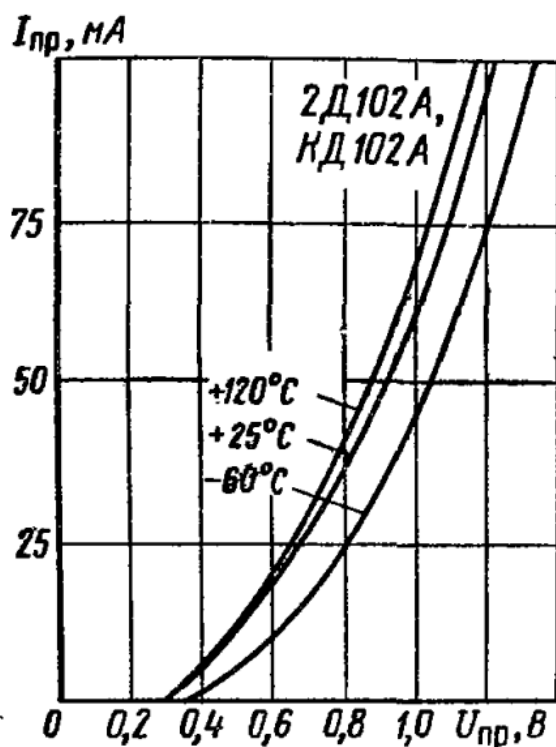
Напряжение источника:  $E = 2 \text{ В}$

$R_n = 40 \text{ Ом}$

Температура  $t_1 = 25$  градусов

Температура  $t_2 = 120$  градусов

Рассмотрим зависимости прямого и обратного тока от напряжения для данного диода:



Зависимости обратного тока  
от напряжения

← Зависимости прямого тока  
от напряжения

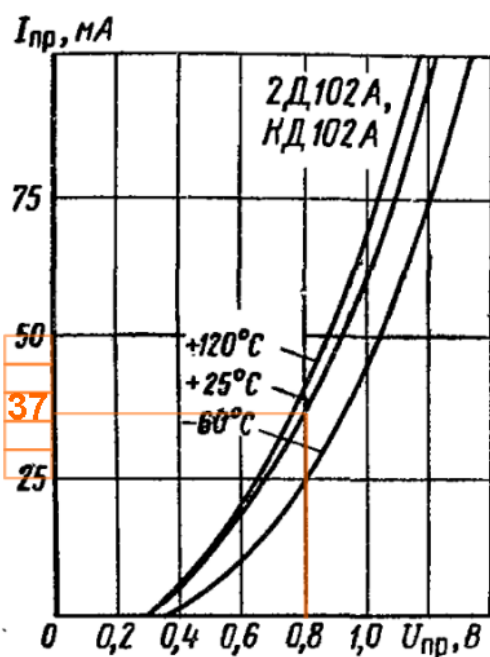
(1) Решаем первый пункт задачи: Определить сопротивление диода постоянному току при заданном прямом напряжении и температуре  $t_1 = 25$  градусов.

$R_0$  — искомое сопротивление диода

$U = U_{np} = 0,8 \text{ В}$

$t = t_1 = 25$  градусов

Смотрим вольт-амперную характеристику зависимости прямого тока от напряжения:



Для данного диода напряжению

$U_{np} = 0,8 \text{ В}$  соответствует ток

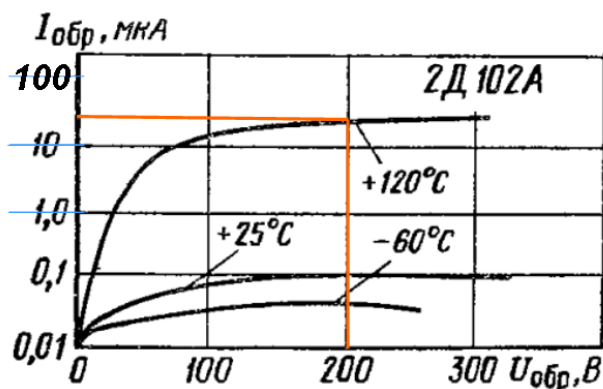
$I_{np} = 37 \text{ мА}$  при температуре  $t_1 = 25$

градусов. Что показано оранжевыми линиями, пересекающими график.

Рассчитаем сопротивление  $R_{0np} = \frac{U_{np}}{I_{np}} = \frac{0,8 \text{ В}}{37 \text{ мА}} = \frac{800}{37} \text{ Ом}$  приблизительно **21,6 Ом**

**(2) Решаем второй пункт задачи:** Сопротивление диода постоянному току при заданном обратном напряжении  $U_{обр} = 200 \text{ В}$  и температуре  $t_2 = 120$  градусов.

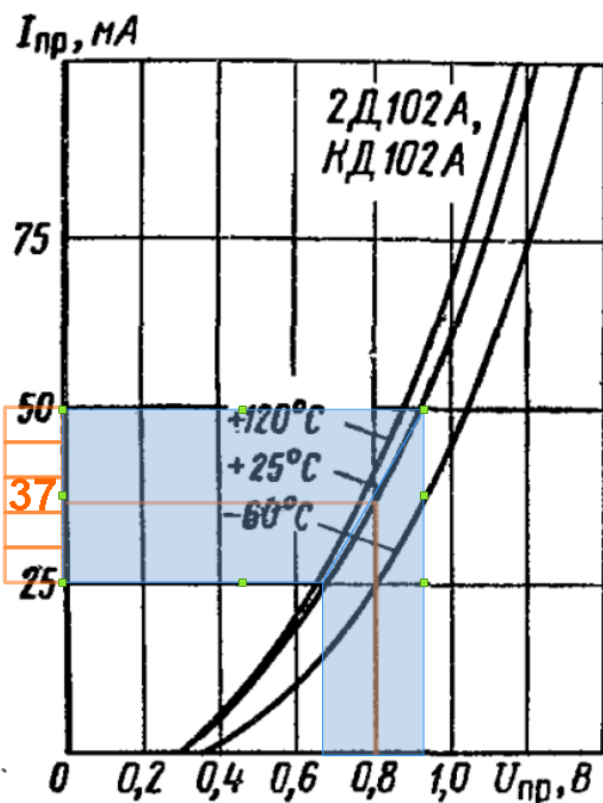
Смотрим ВАХ для зависимости тока от обратного напряжения для данного диода:



Учитывая что вертикальная шкала нелинейна, а соответствует поведению функции  $10^x$ , где  $x$  условный номер горизонтального деления. То напряжению  $U_{обр} = 200 \text{ В}$  и температуре  $t_2 = 120$  градусов соответствует ток  $I_{обр} = 25 \text{ мкА}$  (оценка приближённая). (считая деление  $x = 1,4$ )

Вычислим сопротивление:  $R_{0обр} = \frac{U_{обр}}{I_{обр}} = \frac{200 \text{ В}}{25 \text{ мкА}} = 8 \text{ МОм}$

**(3) Решаем третий пункт задачи:** Дифференциальное сопротивление диода при заданном прямом напряжении  $U_{np} = 0,8 \text{ В}$  и температуре  $t_1 = 25$  градусов.



Рассмотрим окрестность точки  $U_{np} = 0,8$  :

Зададим приращение:

$$\Delta I_{np} = 50 - 25 = 25 \text{ мА}$$

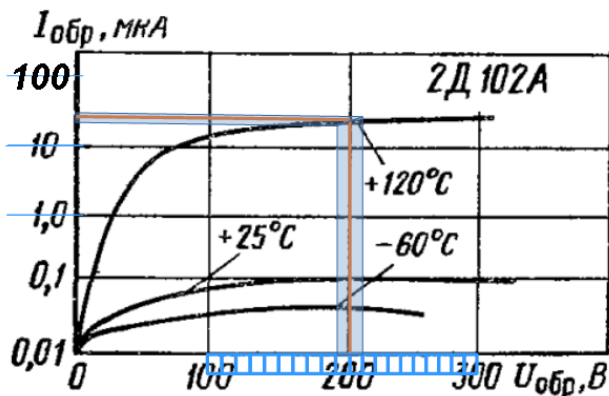
Этому соответствует приращение

$$\Delta U_{np} = 0,93 - 0,68 = 0,25 \text{ В}$$

Тогда дифференциальное сопротивление диода:

$$R_{дифф. np} = \frac{\Delta U_{np}}{\Delta I_{np}} = \frac{0,25 \text{ В}}{25 \text{ мА}} = 10 \text{ Ом}$$

(4) Решаем 4-й пункт задачи. Дифференциальное сопротивление диода при заданном обратном напряжении  $U_{обр} = 200 \text{ В}$  и температуре  $t_2 = 120$  градусов.



Аналогично предыдущему пункту задачи рассматриваем приращение напряжения:

$$\Delta U_{обр} = 210 - 190 = 20 \text{ В}$$

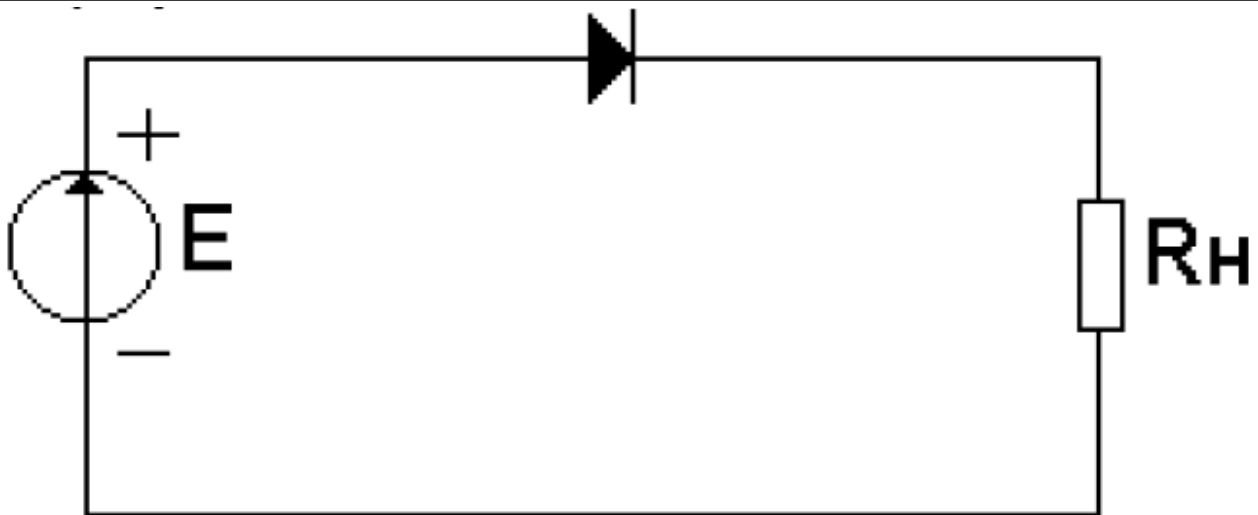
И соответствующее ему приращение обратного тока:

$$\Delta I_{обр} = 28 - 23 = 5 \text{ мкА}$$

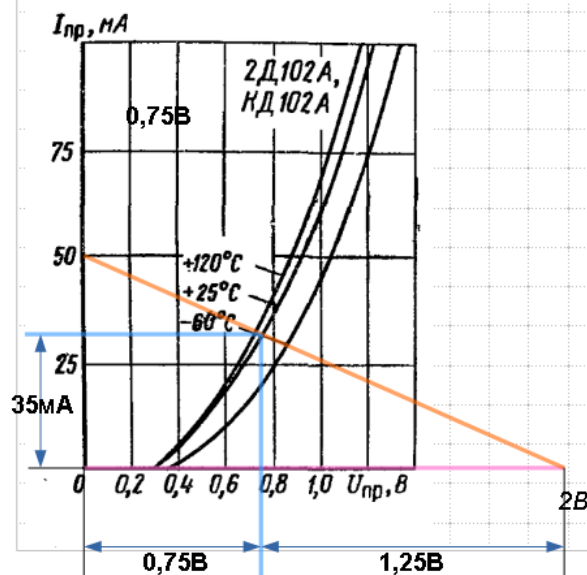
Тогда:

$$R_{\text{дифф.обр}} = \frac{\Delta U_{обр}}{\Delta I_{обр}} = \frac{20 \text{ В}}{5 \text{ мкА}} = 4 \text{ МОм}$$

(5) Решаем 5-й пункт задачи. Рассчитать ток и напряжение в нагрузке, и падение напряжения на диоде в схеме, приведённой ниже, при заданном напряжении источника  $E = 2 \text{ В}$  и сопротивлении нагрузки  $R_n = 40 \text{ Ом}$ . Построить нагрузочную прямую. Температура равна  $t_1 = 25$  градусов.



Строим нагрузочную прямую. Для этого на горизонтальной оси откладываем напряжение  $E = 2 \text{ В}$ , а на вертикальной оси ток, равный  $\frac{E}{R_n} = 2 \frac{\text{В}}{40 \text{ Ом}} = 50 \text{ мА}$ . Через эти точки проводим прямую (ниже на графике она обозначена оранжевым цветом). Это и есть нагрузочная прямая.



В соответствии с заданием, смотрим на точку пересечения нагрузочной прямой, с графиком при  $t_1 = 25$  градусов.

Эта точка соответствует

$$U_{\text{диода}} = 0,75\text{ B}$$

И току:

$$I_{\text{нагр}} = 35\text{ mA}$$

Графически определяем:

$$U_{\text{нагр}} = 1,25\text{ B}$$

#### Задание №4

По статическим характеристикам заданного биполярного транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером, рассчитать параметры усилителя графоаналитическим методом. Для этого:

- а) Построить линию нагрузки;
- б) Построить на характеристиках временные диаграммы токов и напряжений и выявить наличие или отсутствие искажений формы сигнала, определить величины амплитуд напряжений на коллекторе и базе, тока коллектора.
- в) Рассчитать для линейного (мало искажающего) режима коэффициенты усиления по току  $K_I$ , напряжению  $K_U$ , и входное сопротивление усилителя  $R_{BX}$ . Найти полезную мощность в нагрузке  $P_{\sim}$ , мощностью, рассеиваемую в коллекторе  $P_K$ , потребляемую мощность  $P_{ПОТР}$  и коэффициент полезного действия  $\eta$ .
- г) Используя характеристики заданного биполярного транзистора определить h-параметры в рабочей точке.

**Номер варианта: 6** (последняя цифра индивидуального номера студента **73180026**)

**Дано:**

$KT\ 605\ A$  Тип БТ

$E_K = 15\ В$  напряжение питания

$R_H = 300\ Ом$  сопротивление нагрузки

$I_{B0} = 625\ мкА$  постоянный ток смещения в цепи базы

$I_{BM} = 375\ мкА$  амплитуда переменной составляющей тока базы

**(а) Построить линию нагрузки:**

Нагрузочная линия соответствует графику уравнения 
$$I_K = \frac{(E_K - U_{KЭ})}{R_H}$$

Выходные статические характеристики транзистора с необходимыми построениями показаны на рисунке. На семействе выходных характеристик ордината этой прямой при

$U_{KЭ} = 0$  соответствует точке  $I_K = \frac{E_K}{R_H}$ . Абсцисса при  $I_K = 0$  соответствует точке

$U_{KЭ} = E_K$ . Соединение этих координат и является построением нагрузочной линии.

В нашем случае координаты нагрузочной линии:  $I_K = 15 \frac{В}{300} Ом = 50\ мА$  и

$U_{KЭ} = 15\ В$ . Нанесём нагрузочную линию на график:

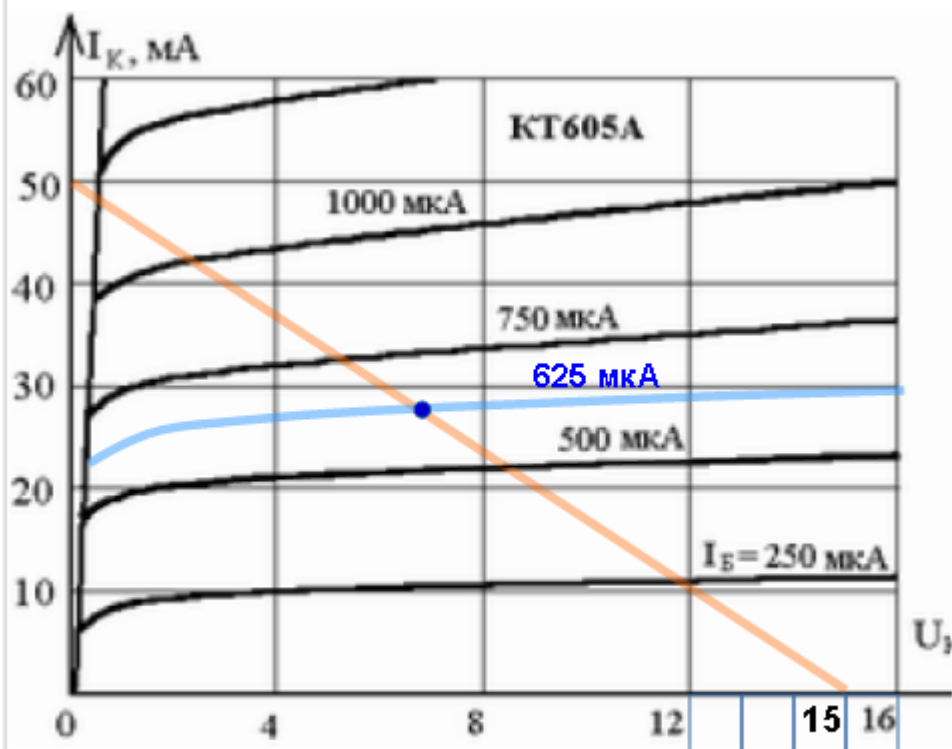


Рисунок П.Б.2

Оранжевым цветом на графике обозначена полученная нагрузочная линия. Синим цветом обозначена **рабочая точка (РТ)** транзисторного каскада, нагруженного на резистор.

Пересечение нагрузочной линии с заданным значением тока базы  $I_{B0} = 625 \mu A$ .

Координаты рабочей точки, дают значение рабочего режима выходной цепи  $U_{КЭ0}$  и  $I_{К0}$ , определим их по графику:



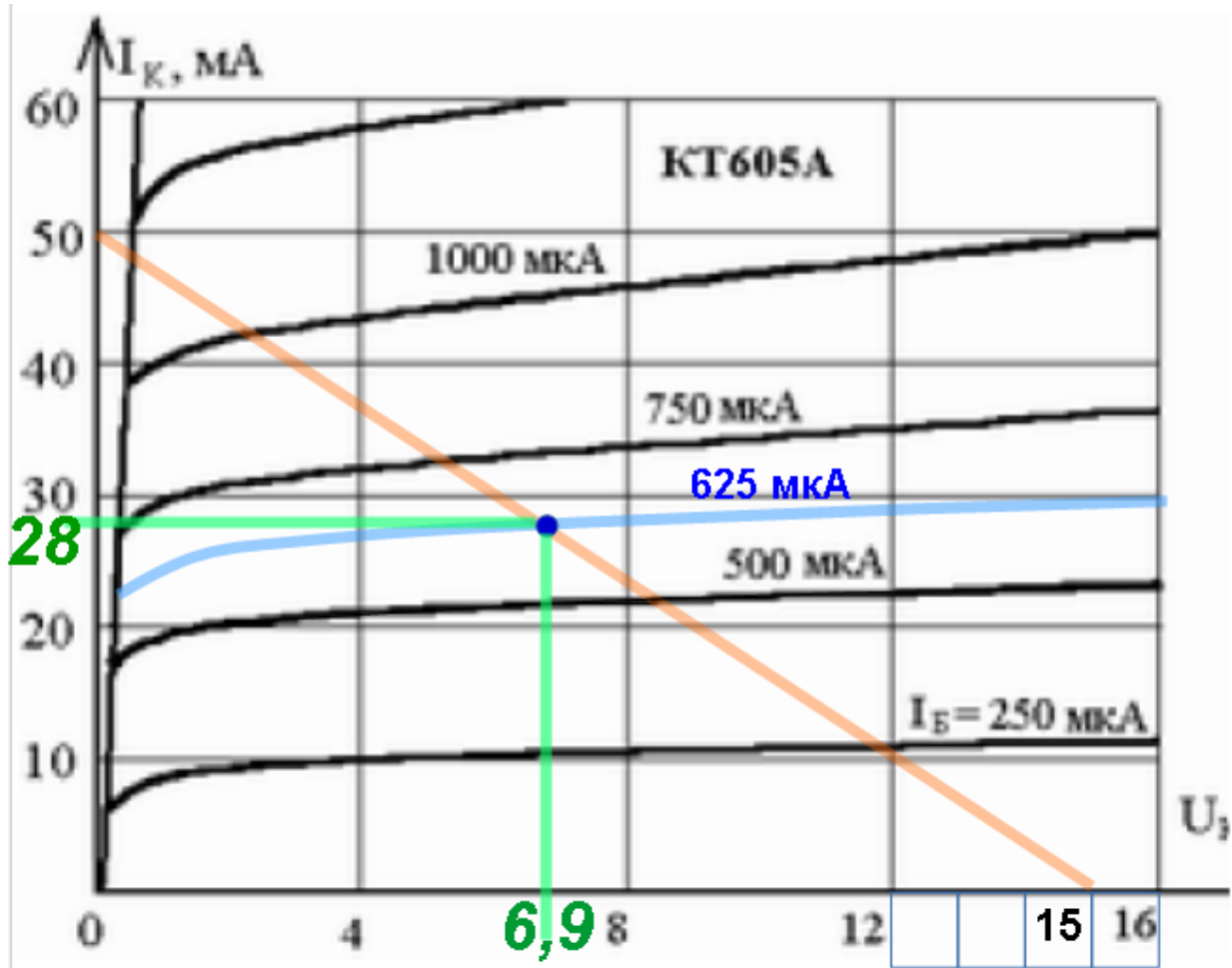
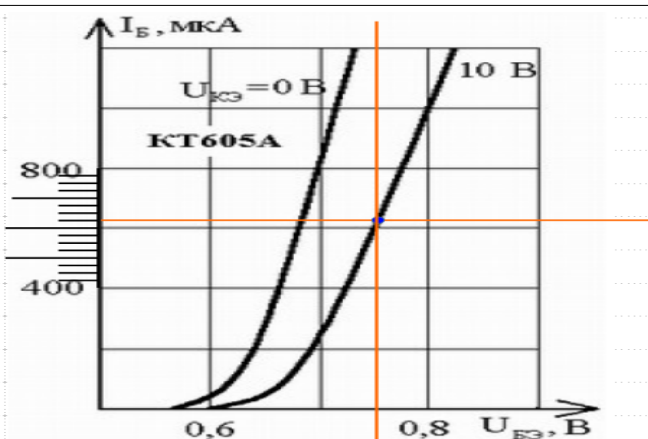


Рисунок П.Б.2

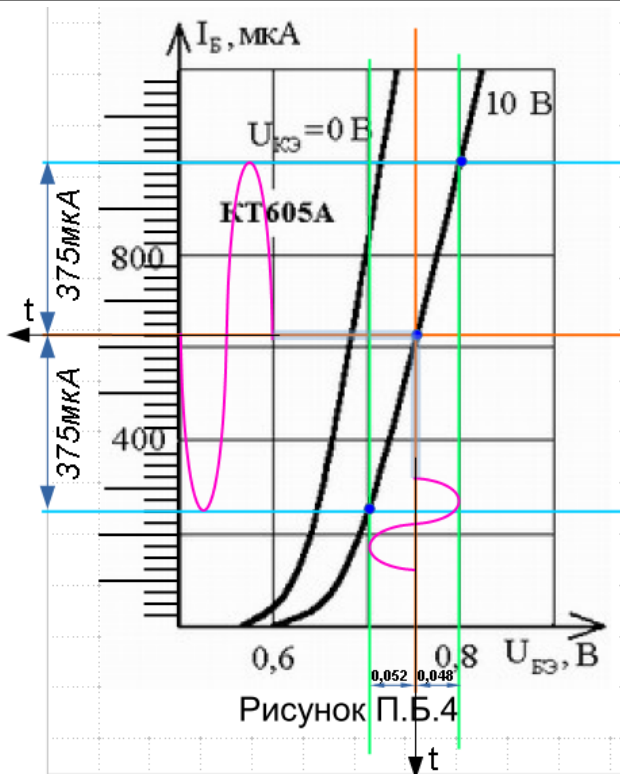
Соответственно, получились параметры режима по постоянному току:  $I_{K0} = 28 \text{ mA}$  и  $U_{KЭ0} = 6,9 \text{ B}$

Определим **рабочую точку (РТ)** на выходных характеристиках, как точку пересечения ординаты, соответствующей току  $I_{B0} = 625 \text{ мкА}$  и характеристики  $U_{KЭ} = 10 \text{ B}$  :

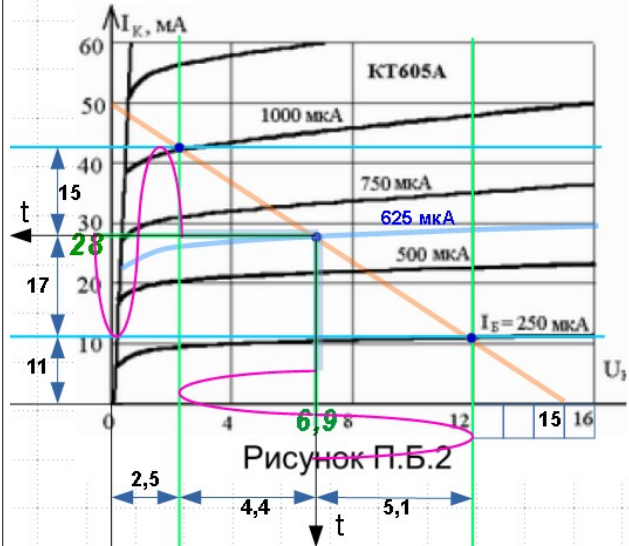
Хотя в рабочей точке на выходных характеристиках  $U_{KЭ0} = 6,9 \text{ B} < 10 \text{ B}$  , входные характеристики в активном режиме практически совпадают и можно воспользоваться характеристикой для  $U_{KЭ} = 10 \text{ B}$  . Определяем  $U_{БЭ0} = 0,752 \text{ B}$



Синусоидальный ток базы имеет амплитуду  $I_{БМ} = 375 \text{ мкА}$ . Определяем графически амплитуды токов и напряжений на электродах транзистора. Строим временные диаграммы переменного тока, напряжения коллектора и базы. Временные диаграммы строятся с учётом того, что напряжения на базе и коллекторе противофазные, и с соблюдением одинакового масштаба по оси времени.



#### Выходные характеристики:



После построения временных диаграмм необходимо оценить, имеются ли заметные искажения в выходной цепи транзистора или нет.

Из временных диаграмм видно, что под действием переменного входного тока, рабочая точка на выходных характеристиках двигается вдоль линии нагрузки.

Если рабочая точка какую-либо часть периода входного тока попадает в область насыщения или отсечки сигнала, необходимо уменьшить амплитуду входного сигнала до величины, при которой рабочая точка не будет выходить за пределы активной области работы прибора.

Дальнейшие расчёты производятся только для активного режима работы прибора, называемого иногда линейным или неискажающим.

При нахождении из графиков величин  $I_{КМ}$ ,  $U_{КМ}$ ,  $U_{БМ}$  следует обратить внимание, что амплитудные значения для положительных и отрицательных полувольт сигнала могут быть неодинаковыми, а значит усиление большего сигнала и в активном режиме сопровождается некоторыми искажениями.

Для дальнейших расчётов значения амплитуд определяются как среднее за период.

По выходным статическим характеристикам находим положительные и отрицательные амплитуды токов и напряжений:  $I_{КМ}^+ = 15 \text{ мА}$ ,  $I_{КМ}^- = 17 \text{ мА}$ ,  $U_{КМ}^+ = 5,1 \text{ В}$ ,  $U_{КМ}^- = 4,4 \text{ В}$

Средние:  $I_{КМ} = \frac{(15+17)}{2} = 16 \text{ мА}$ ,  $U_{КМ} = \frac{(5,1+4,4)}{2} = 4,75 \text{ В}$

По входным характеристикам находим:  $U_{БМ}^+ = 0,048 В$  ,  $U_{БМ}^- = 0.052 В$  .

Среднее  $U_{БМ} = \frac{(0,048 + 0,052)}{2} = 0,05 В$

Теперь определяем:

$$K_I = \frac{I_{KM}}{I_{БМ}} = \frac{16}{0,375} \approx 43 \text{ , } K_U = \frac{U_{KM}}{U_{БМ}} = \frac{4,75}{0,05} \approx 89$$

Затем определяем:

$$K_P = K_I \cdot K_U = 43 \cdot 89 = 3827$$

Находим  $R_{BX} = \frac{U_{BX}}{I_{БМ}} = \frac{0,05}{375 \cdot 10^{-6}} \approx 133 Ом$

Определяем полезную мощность:

$$P_{П} = \frac{U_{KM} \cdot I_{KM}}{2} = \frac{16 \cdot 10^{-3} \cdot 4,75}{2} = 38 мВт$$

Мощность рассеиваемую на коллекторе:

$$P_{K0} = U_{KЭ0} \cdot I_{K0} = 6,9 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 193,2 мВт$$

Потребляемую мощность:

$$P_{ПОТР} = E_{KЭ} \cdot I_{K0} = 15 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 420 мВт$$

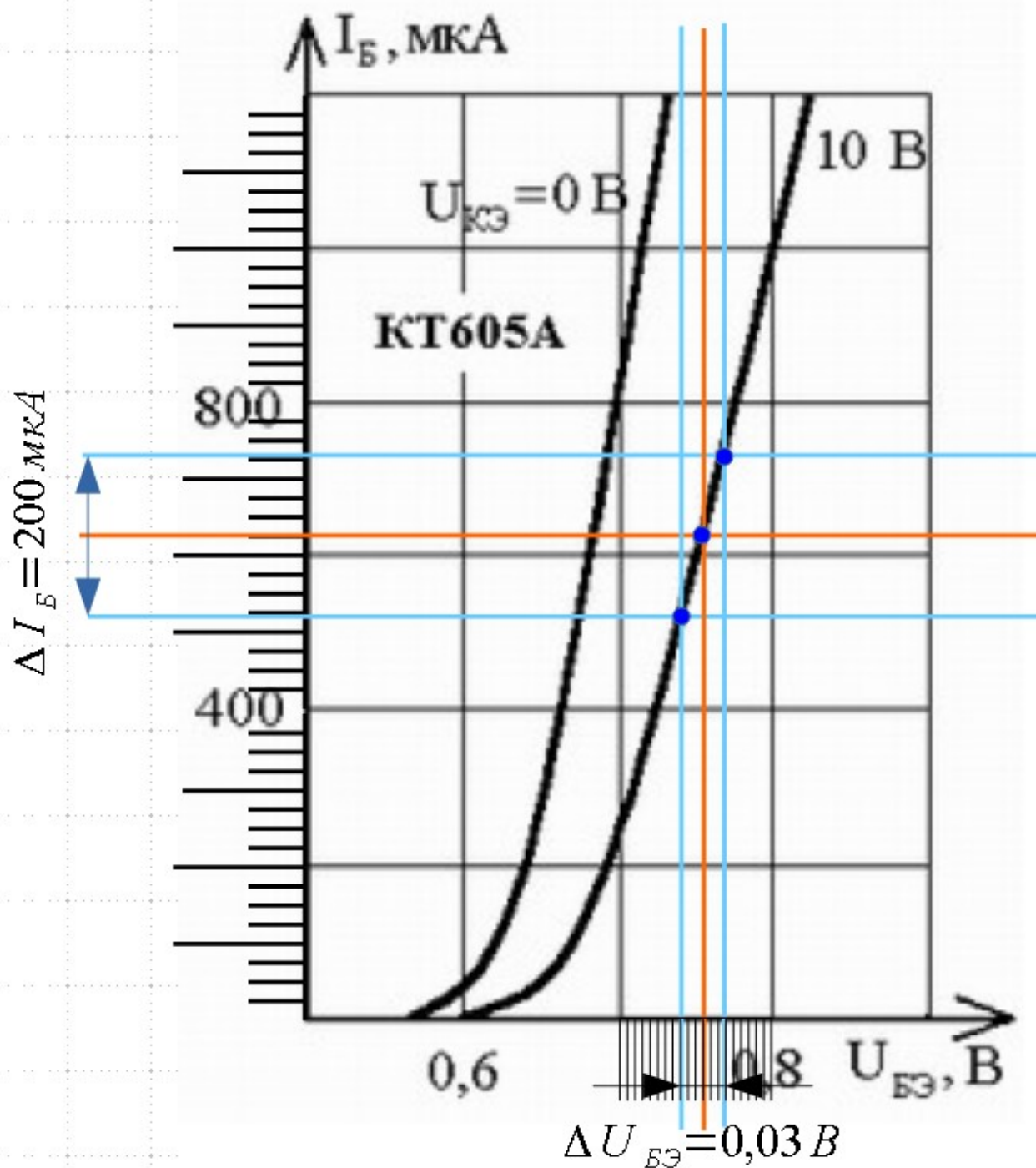
Определяем коэффициент полезного действия каскада:

$$\eta = \frac{P_{П}}{P_{ПОТР}} \cdot 100\% = \frac{38}{420} \cdot 100\% \approx 9,05\%$$

#### 4.4

Находим h-параметры в рабочей точке. Параметр  $h_{11Э}$  определяется следующим образом: на входных характеристиках задаётся приращение тока базы:

$$\Delta I_B = \pm 100 = 200 мкА \text{ относительно рабочей точки } I_{Б0} = 625 мкА$$

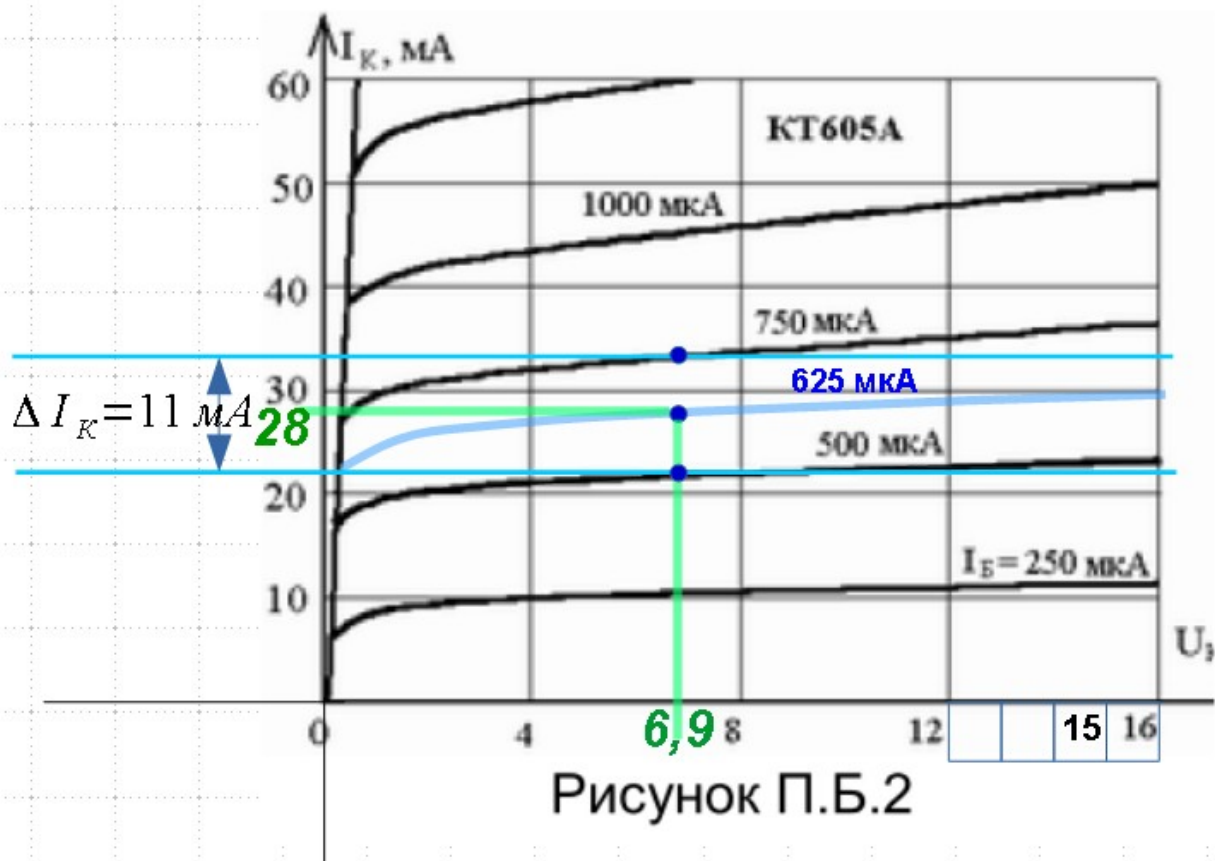


Далее с помощью измерений на графике находим соответствующее приращение база-эмиттер которое составит  $\Delta U_{BE} = 0,03 V$ .

Тогда входное сопротивление: 
$$h_{11Э} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{0,03}{0,2} \cdot 10^{-3} = 150 \text{ Ом}$$

По выходным характеристикам находим параметры  $h_{21Э}$  и  $h_{22Э}$

Задаём приращение тока базы относительно рабочей точки  $\Delta I_B = \pm 125 = 250 \mu A$



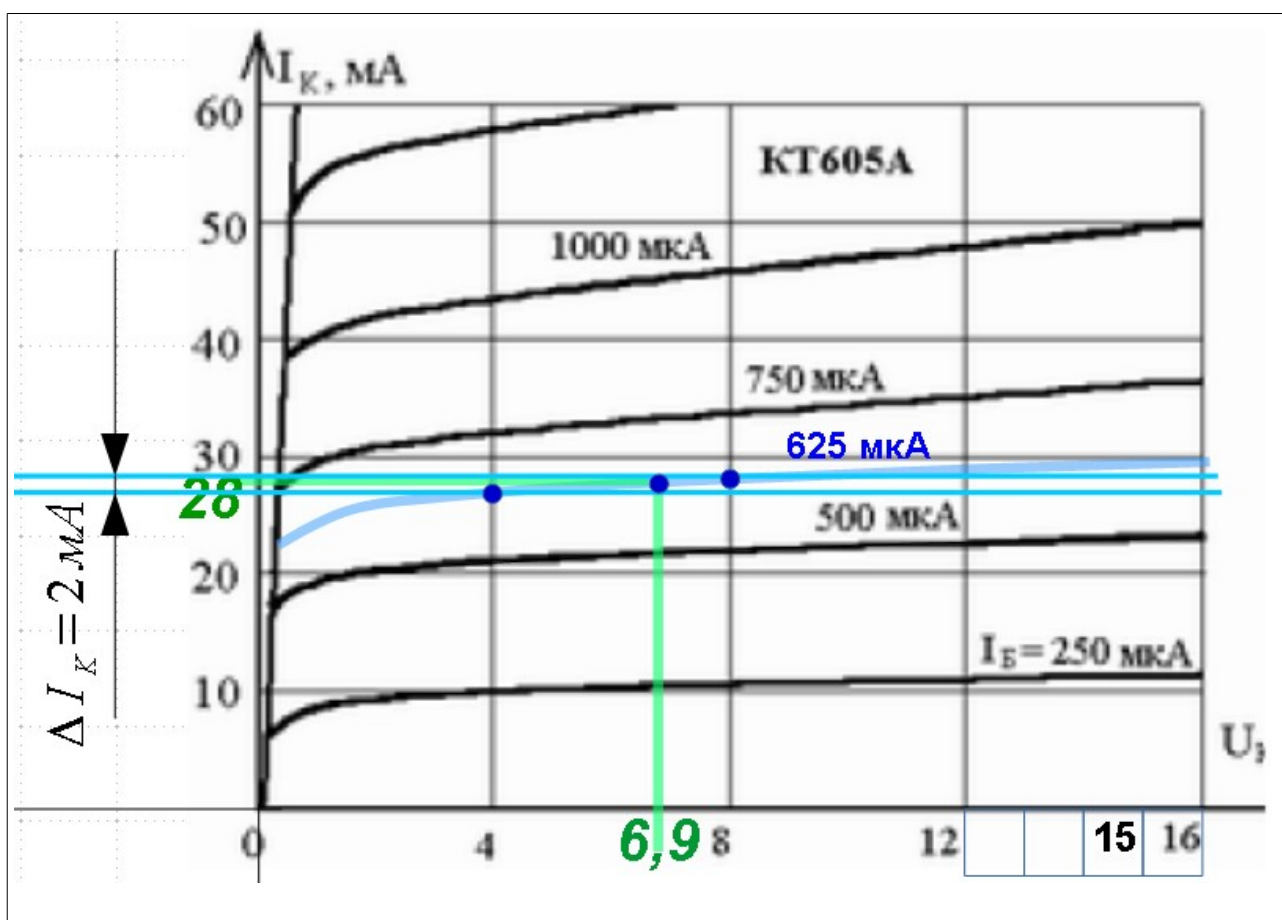
По графику получаем соответствующее приращение тока коллектора, которое составляет  $\Delta I_K = 33 - 22 = 11 \text{ мкА}$

Коэффициент передачи тока базы составит:

$$h_{21Э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{11 \cdot 10^{-3}}{(750 - 500) \cdot 10^{-6}} = \frac{11 \cdot 10^{-3}}{250 \cdot 10^{-6}} = 44$$

Определим выходную проводимость  $h_{22Э}$ . Около рабочей точки задаём приращение напряжения коллектор-эмиттер  $\Delta U_{КЭ} = 4 \text{ В}$ . Соответствующее приращение тока коллектора составляет  $\Delta I_K = 2 \text{ мА}$  и выходная проводимость равна:

$$h_{22Э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{КЭ}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Сим}$$



Параметр  $h_{12Э}$  по характеристикам обычно не определяется, так как входные характеристики для рабочего режима практически сливаются и определение параметра даёт очень большую погрешность.

**ОТВЕТ: Все пункты задачи решены.**

**1) Построена линия нагрузки.**

**2) Построены на характеристиках временные диаграммы токов и напряжений. проведена оценка искажений формы сигнала (форма приближена к сигналу, есть отличие в положительной и отрицательной составляющих амплитуды)**

Определена величина амплитуд напряжений на коллекторе и базе:

$$U_{KM} = 4,75 \text{ В}$$

$$U_{BM} = 0,05 \text{ В}$$

Определёна амплитуда тока коллектора:

$$I_{KM} = 16 \text{ мА}$$

**3) Для линейного режима расчинаны**

Коэффициент усиления по току:

$$K_I = 43$$

Коэффициент усиления по напряжению:

$$K_U = 89$$

Коэффициент усиления по мощности:

$$K_P = 3827$$

Входное сопротивление усилителя:

$$R_{BX} = 133 \text{ Ом}$$

**Найдены**

Полезная мощность в нагрузке

$$P_{\Pi} = 38 \text{ мВт}$$

Мощность рассеиваемая в коллекторе

$$P_{K0} = 193,2 \text{ мВт}$$

Потребляемая мощность

$$P_{ПОТР} = 420 \text{ мВт}$$

Коэффициент полезного действия

$$\eta = 9,05 \%$$

**4) Определены h-параметры в рабочей точке:**

$$h_{11Э} = 150 \text{ Ом}$$

$$h_{21Э} = 44$$

$$h_{22Э} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ сим}$$

$$h_{12Э} \text{ — не определён (высокая погрешность)}$$

*С уважением, студент Болотин Павел.*

*11 февраля 2020г.*