

Задача № 1. Расчет цепи с последовательным и параллельным соединением нелинейного элемента и активного сопротивления

Задание для расчета:

- 1 В соответствии с вариантом задания, по вольт-амперной характеристике нелинейного элемента определить статическое и динамическое сопротивления для указанной в задании рабочей точки U_0 .
- 2 Для своего варианта задания на этом же графике построить вольт-амперную характеристику цепи с последовательным соединением нелинейного элемента и активного сопротивления R и определить статическое и динамическое сопротивления для указанной в задании рабочей точки U_0 .
- 3 Для своего варианта задания на этом же графике построить вольт-амперную характеристику цепи с параллельным соединением нелинейного элемента и активного сопротивления R и определить статическое и динамическое сопротивления для указанной в задании рабочей точки U_0 .

Пример расчета:

Исходные данные:

№ вар.	ВАХ №	U_0 (В)	R (Ом)
0	0	0.55	2

1. Определяем статическое и динамическое сопротивление нелинейного элемента.

На вольт-амперной характеристике 1 (рис. 1) находим положение рабочей точки P (в соответствии с заданием $U_0 = 0.55$ В). По вольт-амперной характеристике находим ток через нелинейный элемент $I_0 = 140$ мА при напряжении $U_0 = 0.55$ В.

Статическое сопротивление нелинейного элемента

$$R_{ст} = \frac{U_0}{I_0} = \frac{0.55}{140 \cdot 10^{-3}} = 3.9 \text{ Ом}$$

Для определения динамического (дифференциального) сопротивления необходимо в окрестности рабочей точки U_0 выбрать малое изменение ΔU_0 (например, ± 0.05 В) и по характеристике нелинейного элемента определить соответствующее изменение тока ΔI_0 .

В рассматриваемом примере

$$\Delta U = 0.6 - 0.5 = 0.1 \text{ В} \quad \Delta I_0 = 177 - 111 = 66 \text{ мА}$$

$$R_{дин} = \frac{\Delta U_0}{\Delta I_0} = \frac{0.1}{66 \cdot 10^{-3}} = 1.5 \text{ Ом}$$

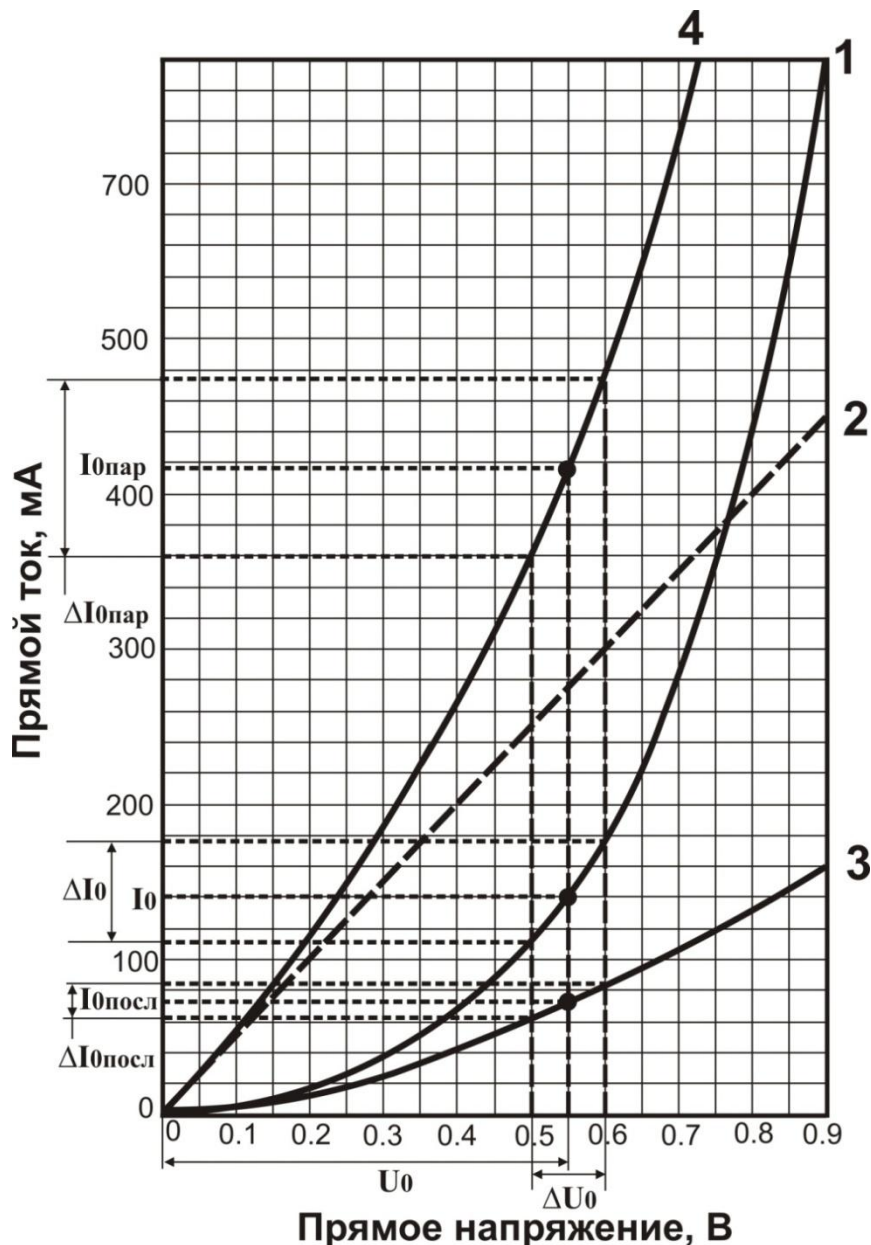


Рис. 1. Определение статического и динамического сопротивления.

2. Определяем статическое и динамическое сопротивление последовательного соединения нелинейного элемента и активного сопротивления R .

Активное сопротивление является линейным элементом цепи, поэтому его вольт-амперная характеристика представляет собой прямую линию 2, проходящую через начало координат и любую точку, напряжение и ток которой связаны Законом Ома, например

$$I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{0.8}{2} = 400\text{мА}$$

При последовательном соединении нелинейного элемента и активного сопротивления ток через каждый из этих элементов одинаков, а суммарное напряжение равно сумме напряжений на нелинейном элементе $U_{н.э.}$ и на активном сопротивлении U_R . Если для каждого тока сложить

$U_{н.э.}$ и U_R , получим совокупность точек вольт-амперной характеристики последовательного соединения нелинейного элемента и активного сопротивления 3.

Построив вольт-амперную характеристику последовательного соединения нелинейного элемента и активного сопротивления 3 (рис. 1) находим на ней положение рабочей точки Р (в соответствии с заданием $U_0 = 0.55$ В). По вольт-амперной характеристике 3 находим ток при данном напряжении $I_{0\text{посл}} = 77$ мА.

$$R_{ст\text{посл}} = \frac{U_0}{I_{0\text{посл}}} = \frac{0.55}{77 \cdot 10^{-3}} = 7.2 \text{ Ом}$$

Для определения динамического (дифференциального) сопротивления необходимо на вольт-амперной характеристике 3 в окрестности рабочей точки U_0 выбрать малое изменение ΔU_0 (например, ± 0.05 В) и по характеристике 3 определить соответствующее изменение $\Delta I_{0\text{посл}}$.

В рассматриваемом примере $\Delta U_0 = 0.6 - 0.5 = 0.1$ В $\Delta I_{0\text{посл}} = 87 - 66 = 21$ мА

$$R_{дин\text{посл}} = \frac{\Delta U_0}{\Delta I_{0\text{посл}}} = \frac{0.1}{21 \cdot 10^{-3}} = 4.7 \text{ Ом}$$

3. Определяем статическое и динамическое сопротивление параллельного соединения нелинейного элемента и активного сопротивления R.

При параллельном соединении нелинейного элемента и активного сопротивления, напряжение на них одинаково, а суммарный ток равен сумме токов через нелинейный элемент $I_{н.э.}$ и активное сопротивление I_R . Если для каждого напряжения сложить $I_{н.э.}$ и I_R , получим совокупность точек вольт-амперной характеристики параллельного соединения нелинейного элемента и активного сопротивления 4.

Построив вольт-амперную характеристику параллельного соединения нелинейного элемента и активного сопротивления 4 (рис. 1) находим на ней положение рабочей точки Р (в соответствии с заданием $U_0 = 0.55$ В). По вольт-амперной характеристике 4 находим ток при данном напряжении $I_{0\text{пар}} = 415$ мА.

$$R_{ст\text{пар}} = \frac{U_0}{I_{0\text{пар}}} = \frac{0.55}{415 \cdot 10^{-3}} = 1.3 \text{ Ом}$$

Для определения динамического (дифференциального) сопротивления необходимо на вольт-амперной характеристике 4 в окрестности рабочей точки U_0 выбрать малое изменение ΔU_0 (например, ± 0.05 В) и по характеристике 4 определить соответствующее изменение $\Delta I_{0\text{пар}}$.

В рассматриваемом примере $\Delta U = 0.6 - 0.5 = 0.1$ В $\Delta I_{0\text{пар}} = 475 - 360 = 115$ мА

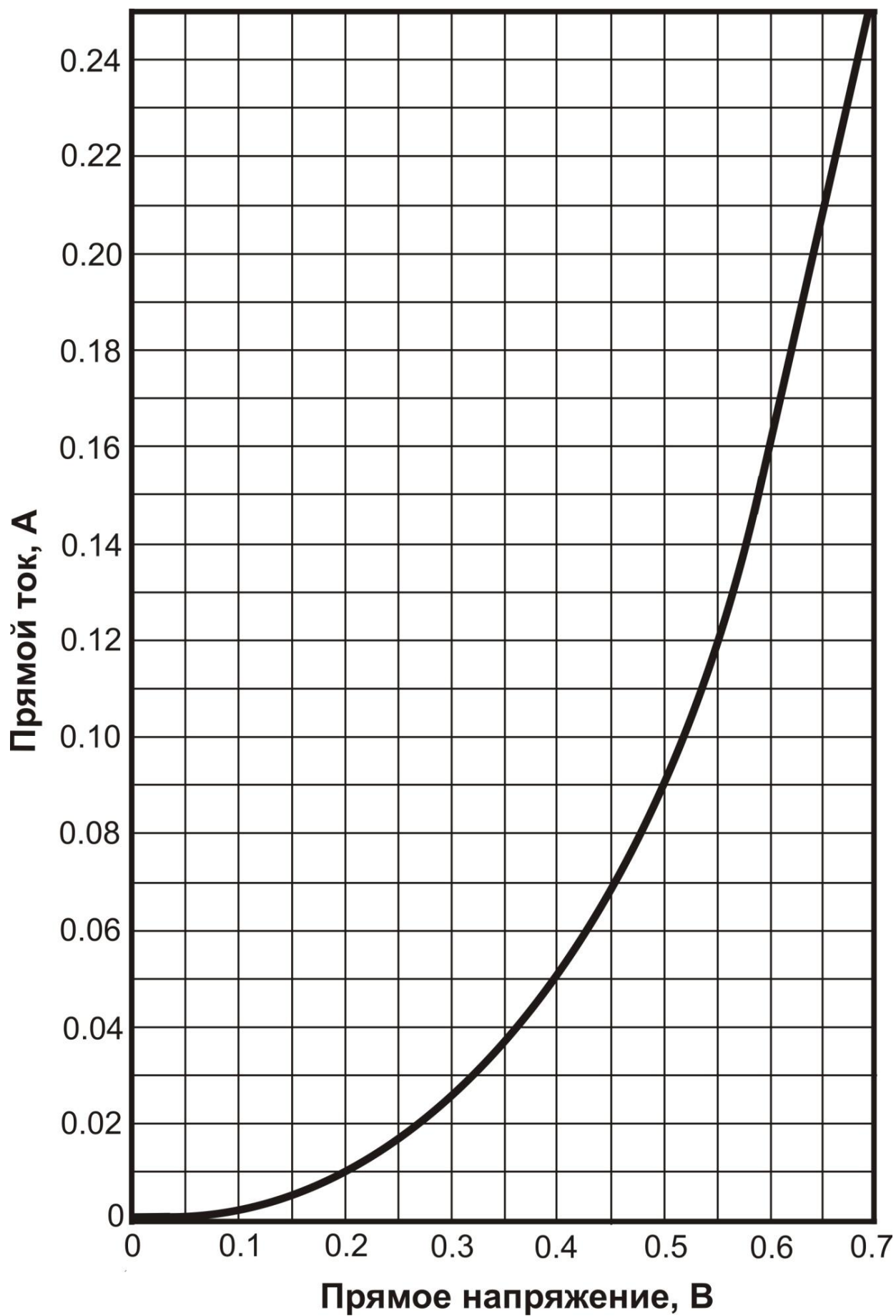
$$R_{\text{дин,пар}} = \frac{\Delta U_0}{\Delta I_{\text{опар}}} = \frac{0.1}{115 \cdot 10^{-3}} = 0.87 \text{ Ом}$$

Варианты задания для расчета

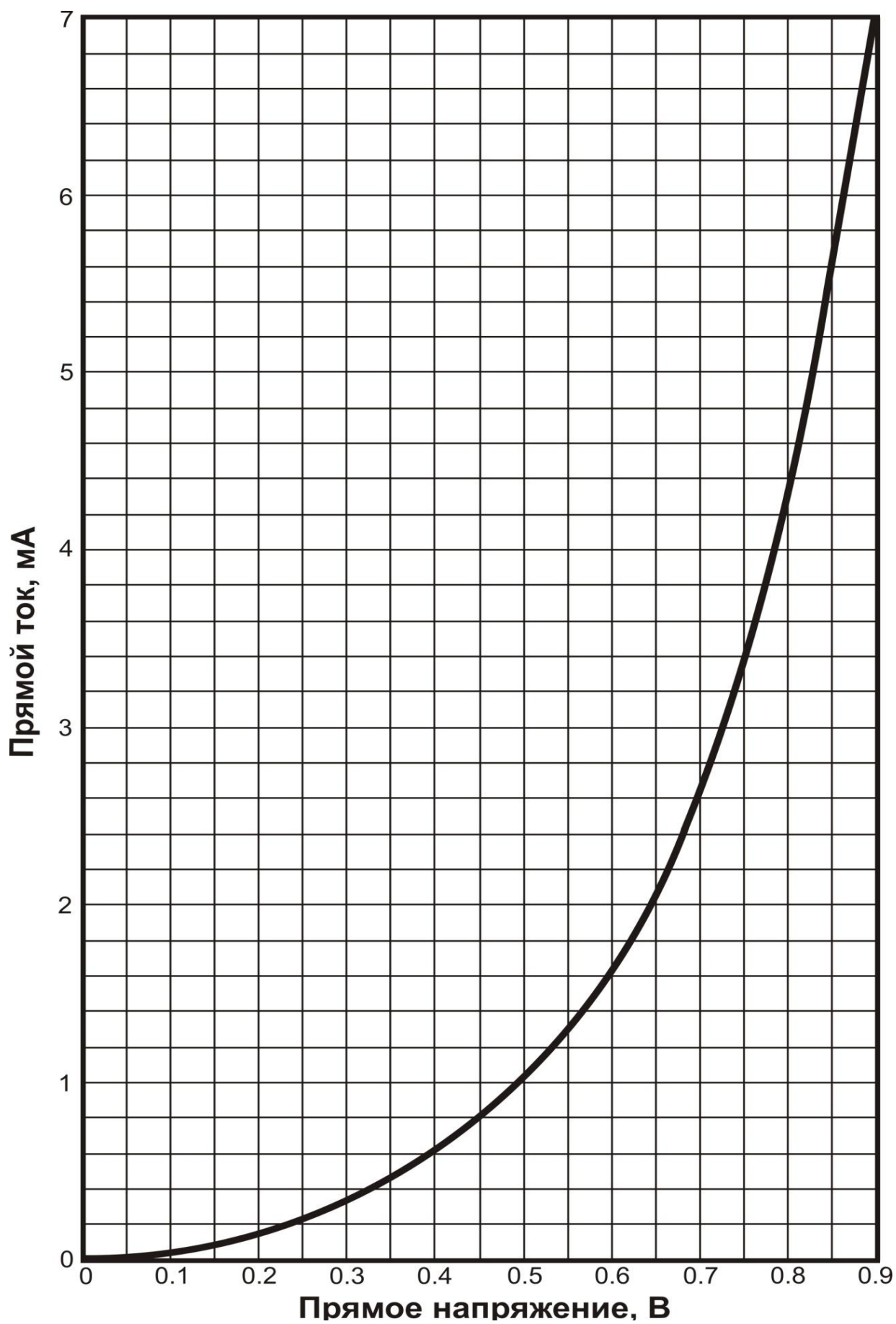
Номер варианта задания следует выбирать по первой букве фамилии

1-я буква фамилии	№ вар.	№ вольт-амперной характеристики	U_0 (В)	R (Ом)
А	1	1	0.35	3.5
Б	2	2	0.5	175
В	3	3	0.45	15
Г	4	4	0.7	0.2
Д	5	1	0.4	4
Е	6	2	0.55	200
Ё	7	3	0.5	20
Ж	8	4	0.7	0.25
З	9	1	0.45	4.5
И	10	2	0.6	225
К	11	3	0.55	25
Л	12	4	0.75	0.3
М	13	1	0.45	5
Н	14	2	0.65	250
О	15	3	0.6	30
П	16	4	0.75	0.35
Р	17	1	0.5	5.5
С	18	2	0.65	275
Т	19	3	0.65	35
У	20	4	0.8	0.4
Ф	21	1	0.5	6
Х	22	2	0.70	300
Ц	23	3	0.7	40
Ч	24	4	0.8	0.45
Ш	25	1	0.55	6.5
Щ	26	2	0.70	325
Ы	27	3	0.75	45
Э	28	1	0.55	7
Ю	29	2	0.75	350
Я	30	3	0.75	50

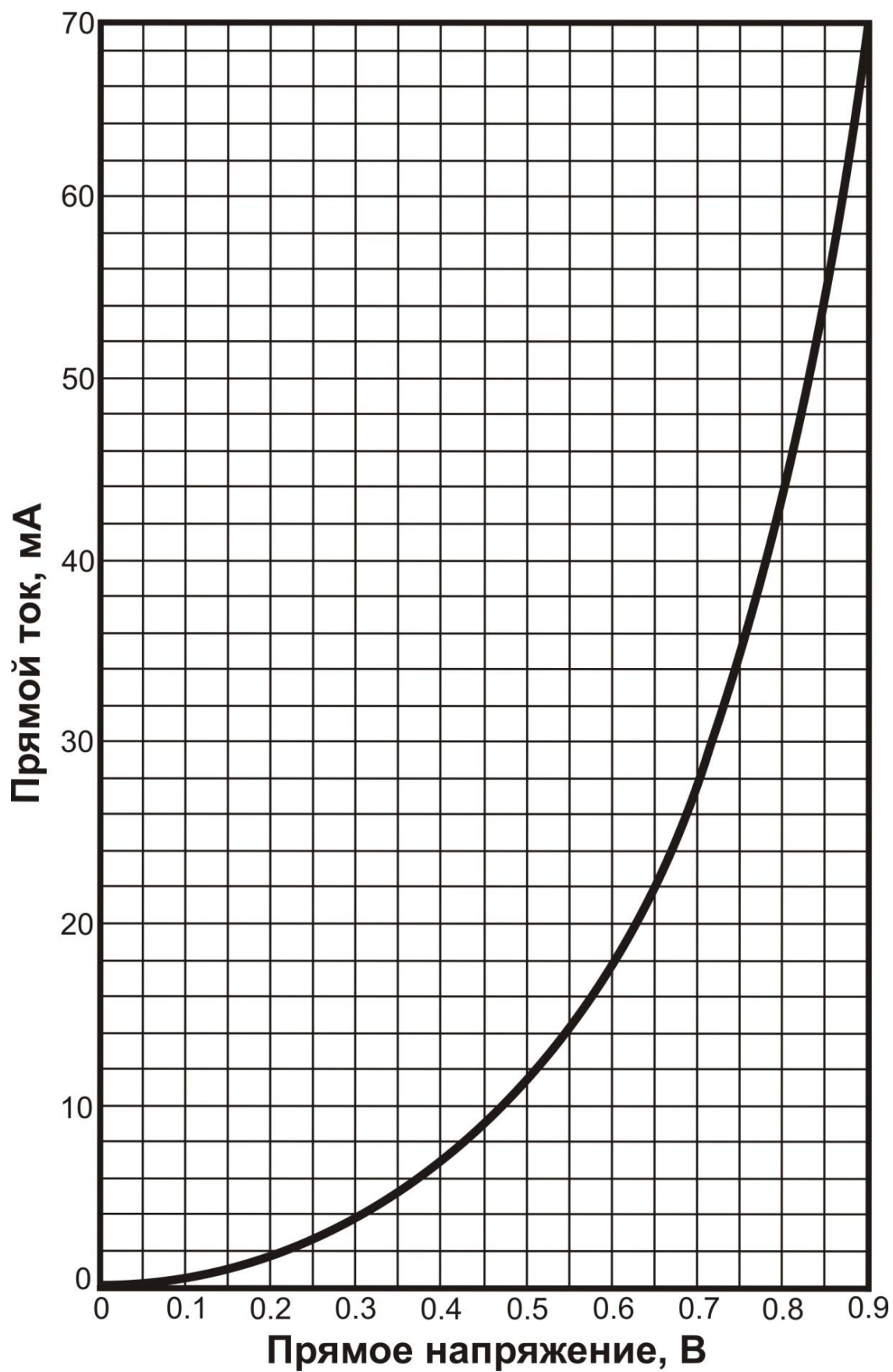
Вольт-амперная характеристика нелинейного элемента 1



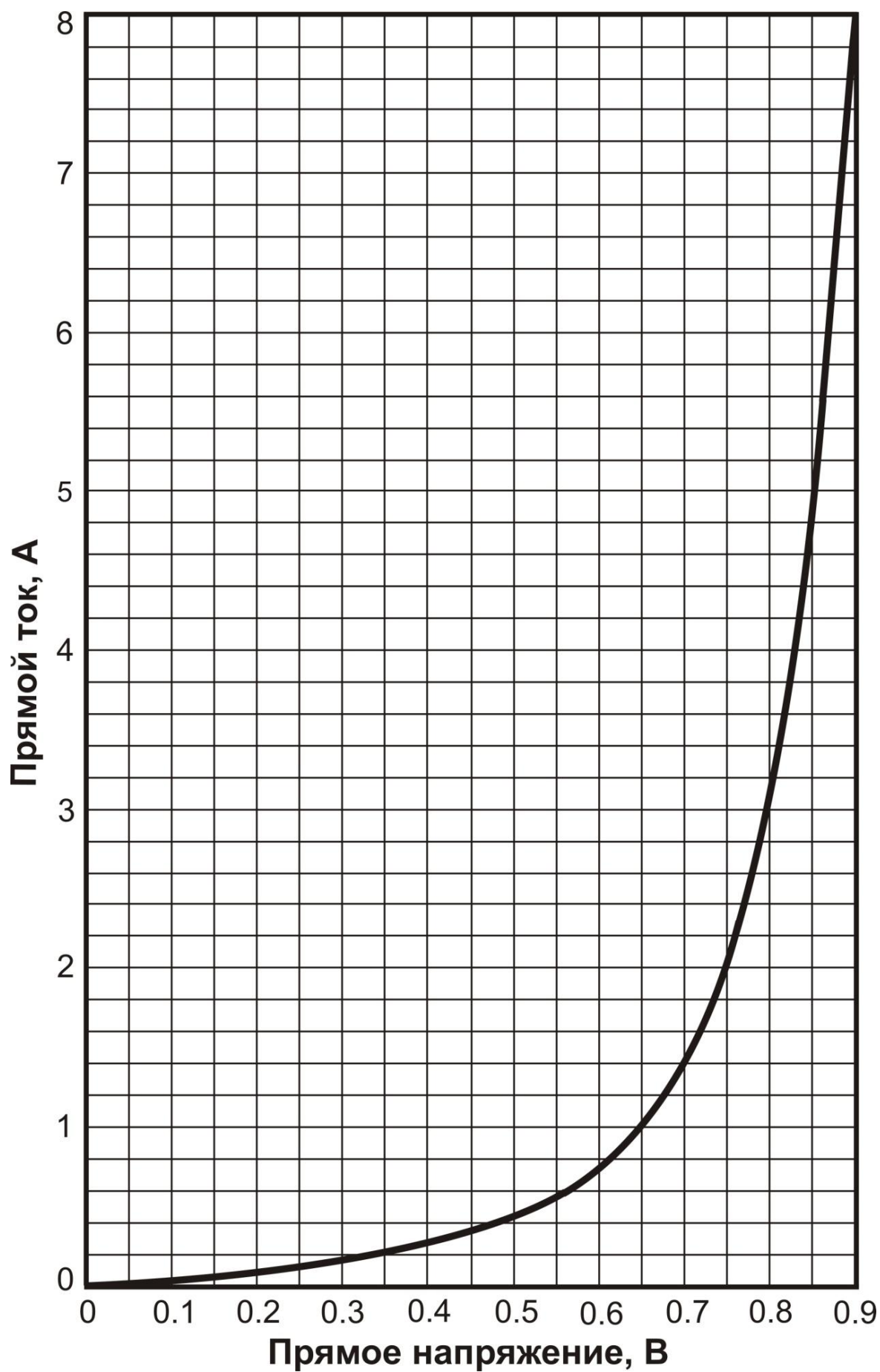
Вольт-амперная характеристика нелинейного элемента 2



Вольт-амперная характеристика нелинейного элемента 3



Вольт-амперная характеристика нелинейного элемента 4



КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ОДНОКАСКАДНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Задание для расчета:

- 1 По статическим входным и выходным характеристикам биполярного транзистора (БПТ) определить статические h -параметры БПТ h_{11} и h_{21} .
- 2 Рассчитать параметры транзисторного усилителя по схеме с общим эмиттером (ОЭ).
- 3 Рассчитать параметры транзисторного усилителя по схеме с общим коллектором (ОК).

Пример расчета:

- 1 По данным таблицы 2 строим семейство статических выходных характеристик транзистора.

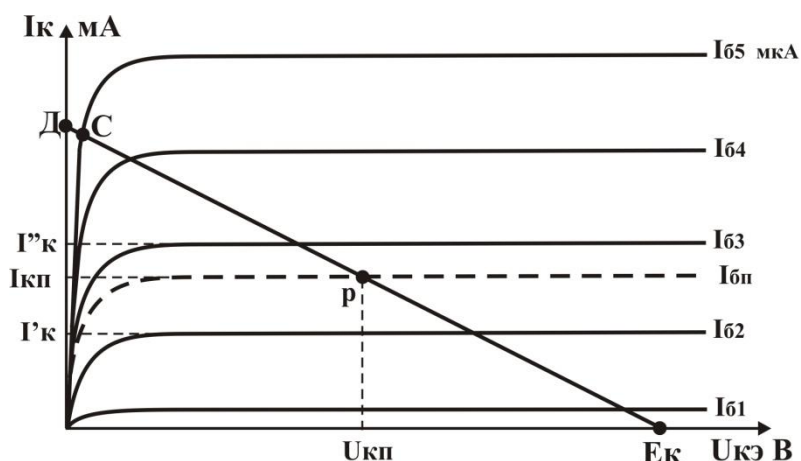


Рисунок 1 - Семейство статических выходных характеристик транзистора $I_k=f(U_{кэ}) \mid I_b=const$

- 2 Для своего варианта задания, на семействе статических выходных характеристик (рисунок 1) строим динамическую коллекторную характеристику по постоянному току (ДЕ) в соответствии с уравнением коллекторной цепи

$$E_K = I_K R_K + U_{KЭ} \quad (1)$$

Для построения используем две крайние точки:

точка E - $I_K = 0$ (транзистор полностью закрыт), следовательно, согласно выражению (1) напряжение на коллекторе БПТ равно напряжению питания ($U_{KЭ} = E_K$);

точка Д - $U_{KЭ} = 0$ (транзистор полностью открыт), следовательно, согласно выражению (1) ток коллектора БПТ равен напряжению питания, деленному на сопротивление в цепи коллектора ($I_K = E_K / R_K$)

3 Определяем оптимальное положение точки покоя Р, которая должна находиться приблизительно на середине прямой СЕ (СР ≈ РЕ).

4 Определяем значения токов и напряжения покоя: (для примера, $I_{6П} = 70 \text{ мкА}$, $I_{КП} = 3 \text{ мА}$ и $U_{КП} = 4 \text{ В}$). Если точка Р не находится ни на одной из выходных характеристик, следует провести дополнительную кривую, проходящую через точку Р, и методом аппроксимации приблизительно определить соответствующий ей ток базы покоя $I_{6П}$.

5 Учитывая, что в таблице 2 ток коллектора в мА (10^{-3} А), а ток базы – в мкА (10^{-6} А), рассчитываем коэффициент передачи тока базы по двум ближайшим к точке Р значениям изменения I_6 и I_K

$$h_{21Э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_6} = \frac{(I'_K - I''_K)}{(I_{63} - I_{62})} = \frac{(3,4 - 1,8)10^{-3}}{(80 - 40)10^{-6}} = 40 \quad (2)$$

6 По данным таблицы 1 строим семейство статических выходных характеристик транзистора (рисунок 2).

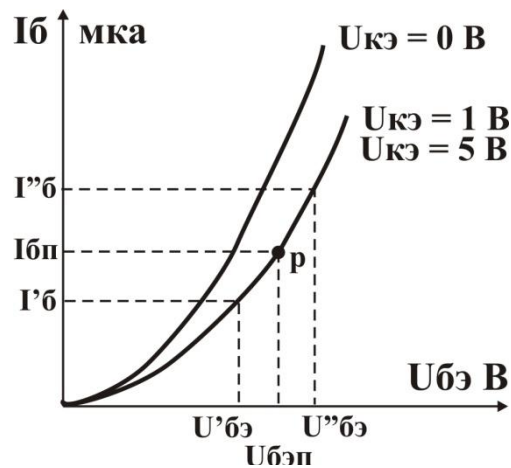


Рисунок 2 - Семейство статических входных характеристик транзистора $I_6=f(U_{6э}) \mid U_{кэ} - \text{const}$

7 Используя ранее найденное значение тока базы покоя $I_{6П} =$ определяем положение точки покоя Р на входной характеристике транзистора при $U_{кэ} = 5 \text{ В}$ и $I_6 = I_{6П}$.

8 Относительно $U_{6эП}$ выбираем конечные приращения влево и вправо (порядка 10-30% $U_{6эП}$) и определяем соответствующие им значения I'_6 и I''_6 . Учитывая размерность величин, входящих в выражение (3) ($U_{6э} - \text{В}$, $I_6 - \text{мкА}$ (10^{-6} А)) рассчитываем входное сопротивление транзистора:

$$h_{11Э} = \frac{\Delta U_{6э}}{\Delta I_6} = \frac{(U''_{6э} - U'_{6э})}{(I''_6 - I'_6)} = \frac{(0,130 - 0,105)}{(100 - 50)10^{-6}} = 500 \text{ Ом} = 0,5 \text{ кОм} \quad (3)$$

РАСЧЕТ ОДНОКАСКАДНОГО УСИЛИТЕЛЯ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ (ОЭ)

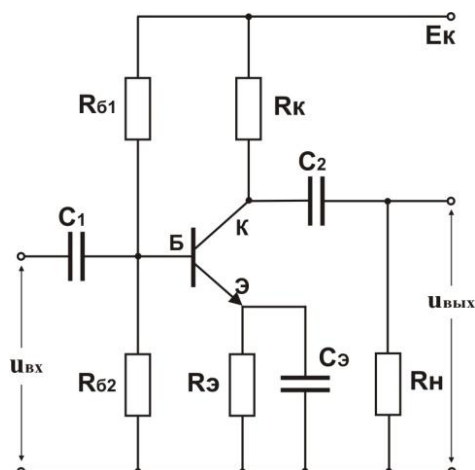


Рисунок 3 – Схема усилителя с общим эмиттером

Исходные данные для расчета:

коэффициент передачи тока $h_{21Э} = 40$;

входное сопротивление транзистора $h_{11Э} = 0,5$ кОм;

сопротивление резистора $R_к = 2$ кОм;

сопротивление нагрузки $R_н = 4$ кОм;

сопротивление резистора $R_{62} = 7,5$ кОм;

напряжение питания $E_к = 8$ В

- входное сопротивление усилителя

$$R_6 = \frac{R_{61} \cdot R_{62}}{R_{61} + R_{62}} \approx R_{62} = 7,5 \text{ кОм (т.к. } R_{61} \gg R_{62})$$

$$R_{BX} = \frac{R_6 \cdot h_{11Э}}{R_6 + h_{11Э}} = \frac{7,5 \cdot 0,5}{7,5 + 0,5} = 0,47 \text{ кОм}$$

- коэффициент усиления по напряжению

$$R_{KH} = \frac{R_к R_н}{R_к + R_н} = \frac{2 \cdot 4}{2 + 4} = 1,33 \text{ кОм}$$

$$K_U = - h_{21Э} \frac{R_{KH}}{h_{11Э}} = - 40 \frac{R_{KH}}{0,5} = - 107$$

- коэффициент усиления по току

$$K_U = - h_{21Э} \frac{R_н}{R_к + R_н} = - 40 \frac{4}{2+4} = - 26,7$$

- выходное сопротивление усилителя $R_{ВЫХ} \approx R_к = 2$ кОм

РАСЧЕТ ОДНОКАСКАДНОГО УСИЛИТЕЛЯ С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ (ОК)

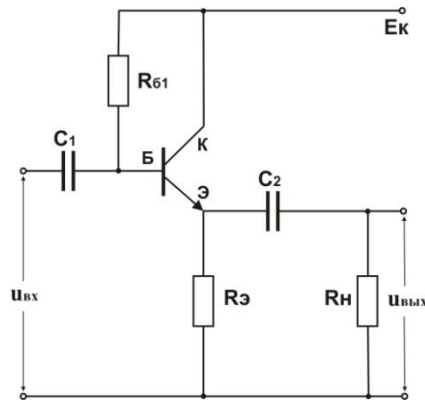


Рисунок 4 – Схема усилителя с общим коллектором

Исходные данные для расчета:

коэффициент передачи тока $h_{21э} = 40$;

входное сопротивление транзистора $h_{11э} = 0,5$ кОм;

сопротивление резистора $R_э = 2$ кОм;

сопротивление нагрузки $R_н = 4$ кОм;

ток коллектора в состоянии покоя $I_{КП} = 3$ мА (определяется по семейству статических выходных характеристик транзистора, Рис 1);

сопротивление источника сигнала $R_{ГС} = 10$ кОм;

напряжение питания $E_к = 8$ В.

- входное сопротивление

$$R_{ЭН} = \frac{R_э R_н}{R_э + R_н} = \frac{2 \cdot 4}{2 + 4} = 1,33 \text{ кОм}$$

$$R_б = h_{21э} \frac{E_к - I_{КП} \cdot R_э}{I_{КП}} = 40 \frac{8 - 3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^{-3}} = 26,7 \text{ кОм}$$

$$R_{ВХ(ОК)} = \frac{R_б \cdot R_{ЭН} \cdot h_{21э}}{R_б + R_{ЭН} \cdot h_{21э}} = \frac{26,7 \cdot 1,33 \cdot 40}{26,7 + 1,33 \cdot 40} = 17,8 \text{ кОм}$$

- коэффициент передачи по напряжению

$$K_{U(ОК)} = \frac{R_{ЭН} \cdot h_{21э}}{h_{11э} + R_{ЭН} \cdot h_{21э}} = \frac{1,33 \cdot 40}{0,5 + 1,33 \cdot 40} = 0,99$$

- коэффициент усиления по току

$$K_{I(ОК)} = K_{U(ОК)} \frac{R_{ВХ(ОК)}}{R_н} = 0,99 \frac{17,8}{4} = 4,4$$

- выходное сопротивление усилителя

$$R_{\text{ВЫХ(ОК)}} = \frac{R_3 \cdot R_6 \cdot R_{\text{CF}}}{R_6 \cdot R_{\text{CF}} + R_3 \cdot h_{213}(R_6 + R_{\text{CF}})} = \frac{2 \cdot 26,7 \cdot 10}{26,7 \cdot 10 + 2 \cdot 40(26,7 + 10)} = 0,167 \text{ кОм}$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

- 1 Таблицы с данными статических входных и выходных характеристик БПТ.
- 2 Графики статических выходных и входных характеристик транзистора с дополнительными построениями, необходимыми для выбора рабочей точки и определения h-параметров.
- 3 Расчетные выражения с подстановкой числовых значений и результаты расчета h-параметров транзистора.
- 4 Схемы усилителей с ОЭ и ОК.
- 5 Расчетные выражения с подстановкой числовых значений и результаты расчета усилителей с ОЭ и ОК.

Таблица 1 Статические входные характеристики транзистора по схеме с ОЭ $I_6=f(U_{63}) \mid U_{к3} \text{const}$, мкА

№ ₂	U _{к3} = 0 В		№ ₂	U _{к3} = 1 В		№ ₂	U _{к3} = 5 В	
	U ₆₃ , В	I ₆ , мкА		U ₆ , В	I ₆ , мкА		U ₆ , В	I ₆ , мкА
1	0	0	1	0	0	1	0	0
2	0.01	10	2	0.06	10	2	0.06	10
3	0.02	30	3	0.09	30	3	0.09	30
4	0.03	50	4	0.105	50	4	0.105	50
5	0.04	75	5	0.120	75	5	0.120	75
6	0.048	100	6	0.130	100	6	0.130	100
7	0.06	150	7	0.148	150	7	0.148	150
8	0.07	200	8	0.160	200	8	0.160	200

Таблица 2 Статические выходные характеристики транзистора по схеме с ОЭ $I_к=f(U_{к3}) \mid I_6 \text{const}$, мА

U _{к3} , В	I ₆ , мкА					
	0	40	80	120	160	200
0	0	0	0	0	0	0
0,5	0.1	1.5	2.9	4.6	6.4	8.1
1,0	0.1	1.6	3.1	4.8	6.7	8.5
2,0	0.1	1.65	3.3	5.1	7.0	8.8
4,0	0.1	1.7	3.5	5.5	7.5	9.3
6,0	0.1	1.8	3.7	5.8	8.0	9.8
8,0	0.1	1.9	3.9	6.1	8.5	> 10
10,0	0.1	2.0	4.1	6.4	9.0	> 10

Таблица 3 Варианты исходных данных для определения h-параметров расчета усилителей ОЭ и ОК

(Вариант следует выбирать по первой букве фамилии)

Буква	№ варианта	Усилитель с ОЭ			Усилитель с ОК		
		R_k , кОм	R_n , кОм	E_k , В	R_3 , кОм	R_n , кОм	E_k , В
А	1	1	1	6	1	1	6
Б	2	2	1	7	2	1	7
В	3	1	3	8	1	3	8
Г	4	2	2	9	2	2	9
Д	5	1	2	10	1	2	10
Е	6	2	1	6	2	1	6
Ж	7	1	3	7	1	3	7
З	8	2	2	8	2	2	8
И	9	1	2	9	1	2	9
Й	10	2	1	10	2	1	10
К	11	1	3	6	1	3	6
Л	12	2	2	7	2	2	7
М	13	1	2	8	1	2	8
Н	14	2	3	9	2	3	9
О	15	1	1	10	1	1	10
П	16	2	3	6	2	3	6
Р	17	1	2	7	1	2	7
С	18	2	3	8	2	3	8
Т	19	1	1	9	1	1	9
У	20	2	2	10	2	2	10
Ф	21	1	2	6	1	2	6
Х	22	2	3	7	2	3	7
Ц	23	1	1	8	1	1	8
Ч	24	2	1	9	2	1	9
Ш	25	1	3	10	1	3	10
Щ	26	2	2	6	2	2	6
Ы	27	1	1	7	1	1	7
Э	28	2	1	8	2	1	8
Ю	29	1	3	9	1	3	9
Я	30	2	3	10	2	3	10

Вопросы можно задать по почте vvrom@mail.ru

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Миловзоров, О.В. Электроника : учебник для вузов / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. – М. : Высшая школа, 2008. – 288 с