

Вариант 28

Задача №1

Рассчитать и построить ВАХ идеализированного кремниевого диода в пределах изменения напряжения от -5 до +0.7 В при $T=300\text{K}$ и обратном токе насыщения, равном I_0 .

Значение теплового потенциала $\varphi_T = \frac{kT}{q}$ при $T=300\text{K}$ принять равным 0.026 В.

Определить дифференциальное $r_{\text{диф}}$ и статическое сопротивление R_0 диода для заданного значения U_{np} .

Исходные данные: $I_0 = 0.6(\text{нА}); U_{\text{np}} = 0.3(\text{В})$.

Решение

Расчет ВАХ проведем в соответствии с выражением $I = I_0 \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right)$, в котором величина I_0 представляет тепловой ток р-п-перехода, называемый также током насыщения. Для комнатной температуры тепловой потенциал $\varphi_T = \frac{kT}{q} = 0.026(\text{В})$. Результаты расчета прямой ветви ($U > 0$) ВАХ представлены в табл. 1.1.

Табл. 1.1

$U_{\text{np}}, \text{В}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
$I_{\text{np}}, \text{А}$	0	$2.75 \cdot 10^{-8}$	$1.31 \cdot 10^{-6}$	$6.16 \cdot 10^{-5}$	$2.88 \cdot 10^{-3}$	0.13	6.31	295.59

Результаты расчета обратной ветви ($U < 0$) ВАХ представлены в табл. 1.2.

Табл. 1.2

$U_{\text{обр}}, \text{В}$	0	-0.05	-0.1	-0.2	-1	-5
$I_{\text{обр}}, \text{А}$	0	$-5.12 \cdot 10^{-10}$	$-5.87 \cdot 10^{-10}$	$-6 \cdot 10^{-10}$	$-6 \cdot 10^{-10}$	$-6 \cdot 10^{-10}$

График прямой ветви ($U > 0$) ВАХ изображен на рис. 1.1.

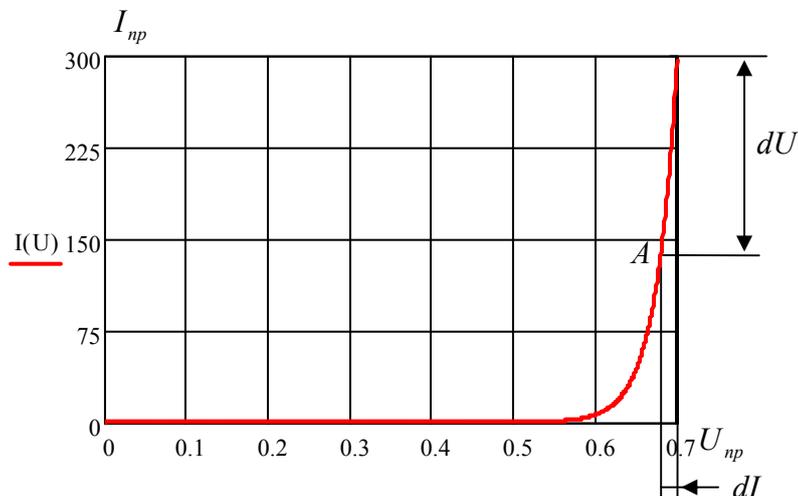


Рис. 1.1

График обратной ветви ($U < 0$) ВАХ изображен на рис. 1.2.

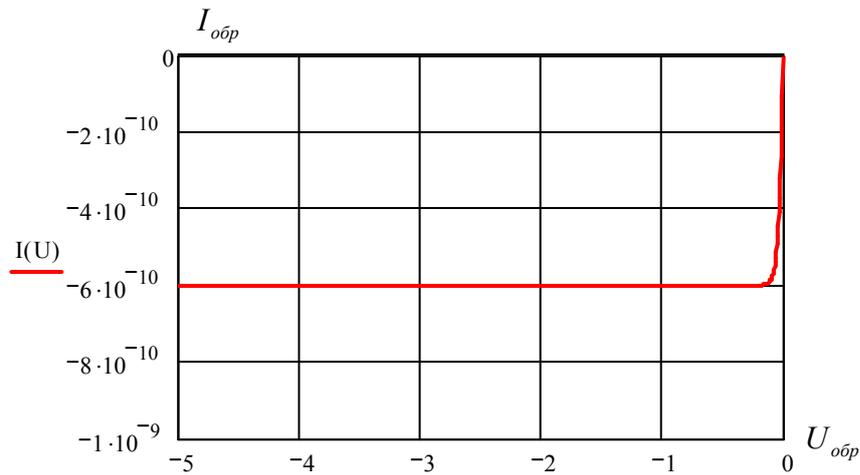


Рис. 1.2

Для определения дифференциального сопротивления диода $R_{\text{диф}} = \frac{dU}{dI}$, выбрав на прямой ветви вольт-амперной характеристики рабочую точку А ($U_A = 0.68(B)$; $I_A = 91(A)$) и задав небольшое приращение напряжения ΔU , получают приращение тока ΔI (рис. 1.1). Тогда

$$r_{\text{диф}} = \frac{dU}{dI} = \frac{0.7 - 0.68}{295.59 - 137} = 1.26 \cdot 10^{-4} (\text{Ом})$$

Изменение напряжения ΔU и соответствующее ему изменение тока ΔI можно найти, пользуясь расчетными значениями, сведенными в таблицу.

Аналитическое выражение для дифференциального сопротивления (сопротивления переменному току) диода получим, взяв производную $\frac{dU}{dI}$ из выражения для ВАХ диода

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right); r_{\text{диф}} = \frac{kT}{q} \cdot \frac{1}{(I_0 + I)} \approx \frac{kT}{qI} = \frac{0.026}{137} = 1.9 \cdot 10^{-4} (\text{Ом}).$$

Статическое сопротивление диода (сопротивления постоянному току) в рабочей точке А определяется как отношение напряжения в рабочей точке к току:

$$R_0 = \frac{U}{I} = \frac{0.68}{137} = 4.96 \cdot 10^{-3} (\text{Ом}).$$

Условие $R_0 > r_{\text{диф}}$ - выполняется.

Задача №2

Стабилитрон подключен для стабилизации напряжения параллельно резистору R_H , как показано на рис. 1.3.

Известны параметры стабилитрона $U_{cm}; I_{cm \min}; I_{cm \max}$ и сопротивление нагрузки R_H . Определите величину сопротивления ограничительного резистора $R_{огр}$, если входное напряжение $U_{вх}$ изменяется от $U_{вх \min} = 20(B)$ до $U_{вх \max} = 30(B)$. Будет ли обеспечена стабилизация во всем диапазоне изменения входного напряжения $U_{вх}$?

Исходные данные: $I_{cm \min} = 1(мА); I_{cm \max} = 20(мА); R_H = 1.5(кОм); U_{cm} = 10(B)$.

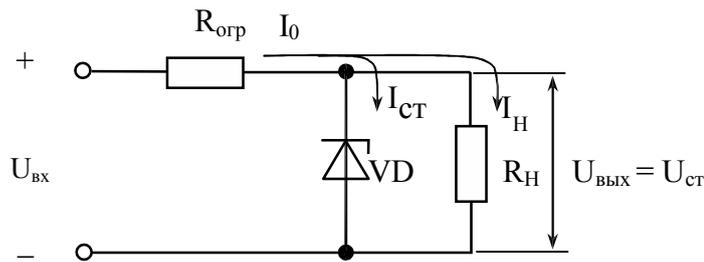


Рис. 1.3

Решение

Выберем средний ток стабилитрона из условия

$$I_{cm} = \frac{I_{cm \min} + I_{cm \max}}{2} = \frac{1 + 20}{2} = 10.5(мА)$$

Необходимая величина входного напряжения

$$U_{вх} = \frac{U_{вх \min} + U_{вх \max}}{2} = \frac{20 + 30}{2} = 25(B)$$

Ток нагрузки

$$I_H = \frac{U_{cm}}{R_H} = \frac{10}{1.5 \cdot 10^3} = 6.67 \cdot 10^{-3}(A).$$

При этом необходимая величина входного напряжения будет равна

$$U_{вх} = U_{cm} + R_{огр}(I_H + I_{cm}).$$

Отсюда можно найти необходимую величину ограничительного резистора:

$$R_{огр} = \frac{U_{вх} - U_{cm}}{I_H + I_{cm}} = \frac{25 - 10}{(6.67 + 10.5) \cdot 10^{-3}} = 874(Ом).$$

Границы допустимого диапазона изменения входного напряжения определяем, пользуясь выражениями

$$U_{вх \min} = U_{cm} + (I_{cm \min} + I_H) \cdot R_{огр} = 10 + (1 + 6.67) \cdot 10^{-3} \cdot 874 = 16.699(B).$$

$$U_{вх \max} = U_{cm} + (I_{cm \max} + I_H) \cdot R_{огр} = 10 + (20 + 6.67) \cdot 10^{-3} \cdot 874 = 33.301(B).$$

Сравним с заданным диапазоном изменения входного напряжения.

Вывод: стабилизация напряжения осуществляется во всем диапазоне изменения входного напряжения.

Задача №3

Пользуясь справочными данными, приведите семейство входных и выходных характеристик БТ с ОЭ. В качестве независимых переменных используйте входное и выходное напряжение. Тип транзистора выберите в соответствии с шифром. Поясните поведение входных и выходных характеристик транзистора.

По справочнику установите максимально допустимые параметры БТ: постоянный ток коллектора $I_{K \max}$; напряжение коллектор-эмиттер $U_{KЭ \max}$; мощность рассеиваемую коллектором транзистора $P_{K \max}$. На семейство выходных характеристик нанести границы области допустимых режимов работы.

Задайтесь положением рабочей точки и, пользуясь характеристиками, рассчитайте для нее значение h-параметров БТ. На основании полученных числовых значений параметров рассчитайте параметры Т-образной эквивалентной схемы транзистора и изобразите ее.

Исходные данные: КТ608А, $I_{K \max} = 800(\text{мА})$; $U_{KЭ \max} = 60(\text{В})$; $P_{K \max} = 0.5(\text{Вт})$

Решение

Статические ВАХ БТ позволяют определить дифференциальные параметры транзистора. Для описания свойств транзистора по переменному току используется система дифференциальных h-параметров, которая представляется следующими уравнениями:

$$dU_1 = h_{11}dI_1 + h_{12}dU_2$$

$$dI_2 = h_{21}dI_1 + h_{22}dU_2$$

Для нахождения h-параметров по статическим характеристикам дифференциалы заменим конечными приращениями и получим выражения, позволяющие определить физический смысл h-параметров

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} \right|_{U_2 = \text{const}} \quad \text{- входное сопротивление в режиме короткого замыкания на выходе;}$$

$$h_{12} = \left. \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \right|_{I_1 = \text{const}} \quad \text{- коэффициент обратной связи по напряжению в режиме холостого хода}$$

по ходу;

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} \right|_{U_2 = \text{const}} \quad \text{- коэффициент передачи по току в режиме короткого замыкания на выходе;}$$

$$h_{22} = \left. \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} \right|_{I_1 = \text{const}} \quad \text{- выходная проводимость в режиме холостого хода по входу.}$$

Зададим рабочую точку А: $U_{КЭ0} = 7(\text{В})$; $I_{К0} = 440(\text{мА})$.

Для расчета h-параметров используем семейства входных и выходных характеристик БТ. Для определения дифференциальных параметров $h_{11э}$ и $h_{12э}$ в заданной рабочей точке А ($U_{БЭ0}, I_{Б0}, U_{КЭ0}$) на линейном участке семейства входных характеристик выполним построения, как показано на рис. 1.4,а.

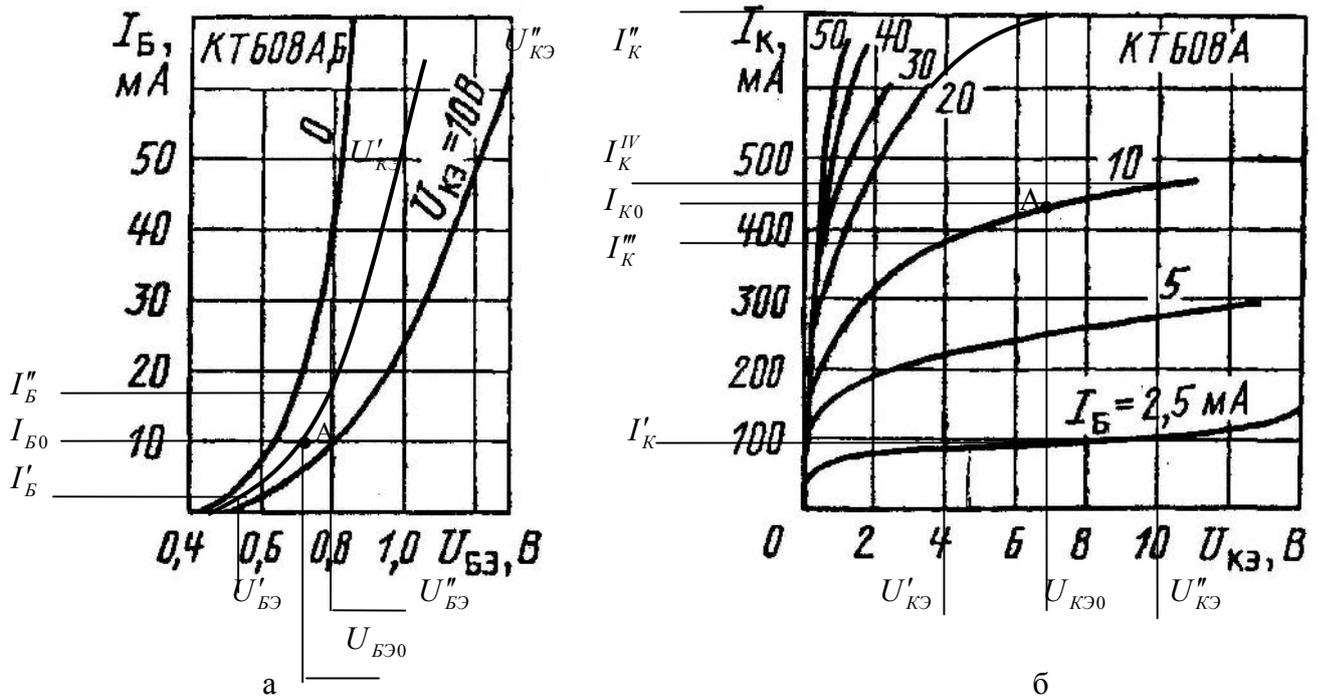


Рис. 1.4

Найденные приращения токов и напряжений позволяют определить искомые параметры:

$$h_{11\varepsilon} = \left. \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \right|_{U_{CE}=\text{const}} = \left. \frac{U_{BE}'' - U_{BE}'}{I_B'' - I_B'} \right|_{U_{CE}=\text{const}} = \frac{0.8 - 0.52}{(17 - 2) \cdot 10^{-3}} = 19(\text{Ом})$$

$$h_{12\varepsilon} = \left. \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} \right|_{I_B=\text{const}} = \left. \frac{U_{BE}'' - U_{BE0}}{U_{CE}'' - U_{CE0}} \right|_{I_B=\text{const}} = \frac{0.8 - 0.7}{10 - 4} = 17 \cdot 10^{-3}$$

Параметры $h_{21\varepsilon}$ и $h_{22\varepsilon}$ определяем по семейству выходных характеристик. В окрестности точки $A'(I_{K0}, U_{CE0}, I_{B0})$, соответствующей точке А на семействе входных характеристик, выполним построения как показано на рис. 1.4,б. Найденные приращения токов и напряжений позволяют определить искомые параметры:

$$h_{21\varepsilon} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \right|_{U_{BE}=\text{const}} = \left. \frac{I_K'' - I_K'}{I_B'' - I_B'} \right|_{U_{BE}=\text{const}} = \frac{(700 - 100) \cdot 10^{-3}}{(20 - 2.5) \cdot 10^{-3}} = 34$$

$$h_{22\varepsilon} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{CE}} \right|_{I_B=\text{const}} = \left. \frac{I_K^{IV} - I_K''}{U_{CE}'' - U_{CE0}} \right|_{I_B=\text{const}} = \frac{(460 - 380) \cdot 10^{-3}}{10 - 4} = 0.013(\text{См}).$$

Коэффициент обратной связи по напряжению $h_{12\varepsilon}$ имеет очень малую величину ($10^{-4} \dots 10^{-3}$), поэтому для его вычисления рассчитаем параметры Т-образной эквивалентной схемы БТ.(рис. 1.5)

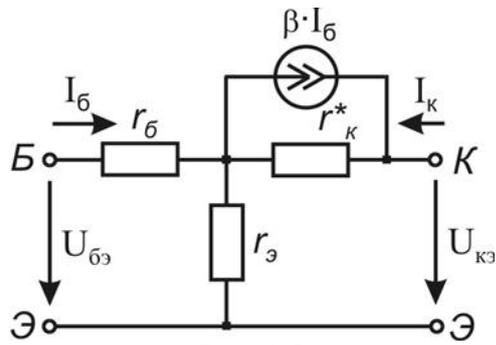


Рис. 1.5

Значение параметров эквивалентной схеме БТ находим с использованием известных h -параметров.

$$r_E = \frac{h_{12Э}}{h_{22Э}}, r_K^* = \frac{1}{h_{22Э}}, \beta = h_{21Э}, r_B = h_{11Э} - (1 + h_{21Э})r_E$$

Для начала вычислим дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода

$$r_E = \frac{\varphi_T}{I_{Э0}}, \text{ где } \varphi_T = \frac{kT}{q} - \text{тепловой потенциал, равный } 26 \text{ мВ при } T = 300 \text{ К}; I_{Э0} - \text{ток}$$

эмиттера БТ в рабочей точке (принимаяем $I_{Э0} \approx I_{K0}$).

$$r_E = \frac{0.026}{I_{Э0}} = \frac{0.026}{440 \cdot 10^{-3}} = 0.059 (\text{Ом})$$

Определяем r_K^* и β :

$$r_K^* = \frac{1}{h_{22Э}} = \frac{1}{0.013} = 77 (\text{Ом})$$

$$\beta = h_{21Э} = 34$$

$$r_B = h_{11Э} - (1 + h_{21Э})r_E = 19 - (1 + 34) \cdot 0.059 = 17 (\text{Ом})$$

Находим коэффициент обратной связи по напряжению

$$h_{12Э} = r_E \cdot h_{22Э} = 0.059 \cdot 0.013 = 7.67 \cdot 10^{-4}.$$

Область допустимых режимов на семействе выходных характеристик БТ, представленная на рис. 1.6 определяется его максимально допустимыми параметрами:

$$I_{K \max} = 800 (\text{мА}) - \text{постоянный ток коллектора};$$

$$U_{KЭ \max} = 60 (\text{В}) - \text{постоянное напряжение коллектор-эмиттер};$$

$$P_{K \max} = 0.5 (\text{Вт}) - \text{постоянная рассеиваемая мощность коллектора}.$$

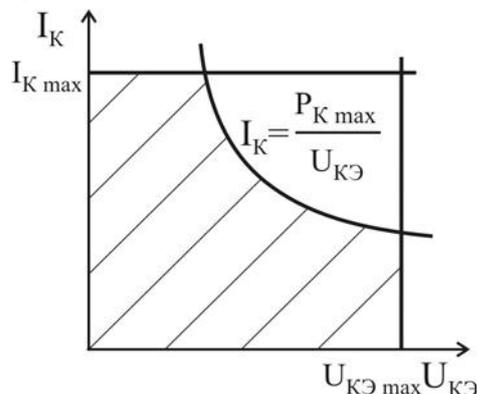


Рис. 1.6

Задача № 4

Рассчитайте модуль $|h_{21э}|$ и фазу $\varphi_{h_{21э}}$ коэффициента передачи по току БТ в схеме с ОЭ на частоте f . В качестве исходных данных используйте заданные в таблице значения предельной частоты коэффициента передачи по току в схеме с ОБ $f_{h_{21б}}$, статический коэффициент передачи по току в схеме с ОБ α и частоты f .

Исходные данные:

$$f_{h_{21б}} = 15(\text{МГц}); f = 60(\text{кГц}); \alpha = 0.976$$

Решение

На высоких частотах возникает фазовый сдвиг между входным и выходным токами БТ, обусловленный конечным временем пролета носителей от эмиттера к коллектору и наличием емкостей переходов БТ. Это приводит к комплексному характеру коэффициентов передачи по току и их частотной зависимости

$$\dot{h}_{21б}(f) = |h_{21б}(f)|e^{j\varphi_{h_{21б}}(f)} \text{ и } \dot{h}_{21э}(f) = |h_{21э}(f)|e^{j\varphi_{h_{21э}}(f)}$$

Частотные зависимости модуля и фазы коэффициентов передачи по току характеризуются выражениями:

$$|h_{21б}(f)| = \frac{\alpha}{\sqrt{1 + (f / f_{h_{21б}})^2}}; \varphi_{h_{21б}} = \text{arctg}(f / f_{h_{21б}});$$

$$|h_{21э}(f)| = \frac{\alpha}{\sqrt{1 + (f / f_{h_{21э}})^2}}; \varphi_{h_{21э}} = \text{arctg}(f / f_{h_{21э}}),$$

где α, β - статические коэффициенты передачи по току БТ для включения с ОБ и ОЭ, соответственно; $f_{h_{21б}}(f), f_{h_{21э}}(f)$ - предельные частоты коэффициентов передачи по току для схемы с ОБ и ОЭ, соответственно.

Причем связь между этими частотами определяется выражением

$$f_{h_{21э}} = f_{h_{21б}} / (1 + \beta).$$

Определим статический коэффициент передачи по току для включения с ОЭ:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0.976}{1 - 0.976} = 40.667$$

Тогда предельная частота коэффициента передачи по току для включения с ОЭ

$$f_{h_{21э}} = \frac{f_{h_{21б}}}{(1 + \beta)} = \frac{15 \cdot 10^6}{1 + 40.667} = 3.6 \cdot 10^5$$

Модуль коэффициента передачи по току в схеме с ОЭ будет равен:

$$|h_{21э}| = \frac{\alpha}{\sqrt{1 + (f / f_{h_{21э}})^2}} = \frac{0.976}{\sqrt{1 + \left(\frac{60 \cdot 10^3}{3.6 \cdot 10^5}\right)^2}} \approx 0.904$$

Фаза коэффициента передачи по току в схеме с ОЭ:

$$\varphi_{h_{21э}} = \text{arctg}(f / f_{h_{21э}}) = \text{arctg}\left(\frac{60 \cdot 10^3}{3.6 \cdot 10^5}\right) = 9.462^\circ$$

Задача № 5

Усилительный каскад выполнен на ПТ 2П302Б в схеме с ОИ (рис. 1.7).

Рабочая точка ПТ задается напряжением источника питания $U_{ИП} = 10(B)$ и параметрами приведенными в таблице.

1. Нарисуйте принципиальную схему усилителя.
2. На семействе статических ВАХ транзистора постройте нагрузочную прямую и определите положение рабочей точки.
3. Для найденной рабочей точки определите сопротивление резистора в цепи истока $R_{И}$ и малосигнальные параметры S , R_i и μ .
4. Графоаналитическим методом определите параметры режима усиления K_U и $P_{вых}$ при амплитуде входного сигнала $U_{злт} = 0.25(B)$.

Исходные данные:

$$R_C = 0.4(кОм); U_{зл0} = -1.8(B).$$

Решение

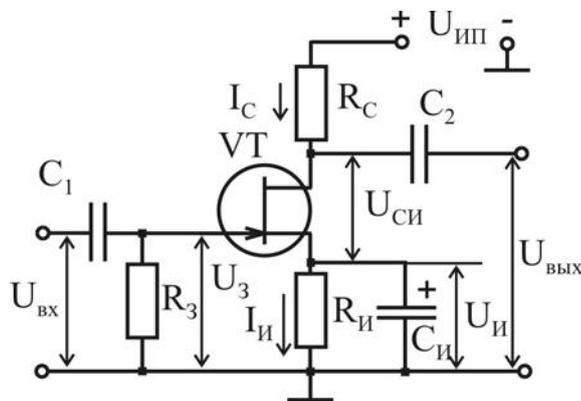


Рис. 1.7

Усилительный каскад на ПТ, выполнен по схеме с общим истоком (ОИ). Напряжение смещения задается автоматически за счет включения в цепь истока резистора $R_{И}$, падение напряжения на котором определяет напряжение $U_{зл} = U_3 - U_{И} = -I_C R_{И}$.

Уравнение нагрузочной прямой описывается выражением:

$$U_{ИП} = U_{СИ} + I_C(R_C + R_{И}) = U_{СИ} + I_C R_C + |U_{зл}|, \text{ тогда}$$

$$I_C = (U_{ИП} - U_{СИ} - |U_{зл}|) / R_C$$

Нагрузочная прямая на семействе выходных характеристик ПТ проводится через две точки, лежащие на осях координат: точку $U_{ИП} = 10(B)$ на оси напряжений и точку

$$I_C = \frac{(U_{ИП} - |U_{зл}|)}{R_C} \text{ на оси токов, как показано на рис. 1.8.}$$

$$I_C = \frac{(10 - |-1.8|)}{0.4 \cdot 10^3} = 0.021(A).$$

КП302Б

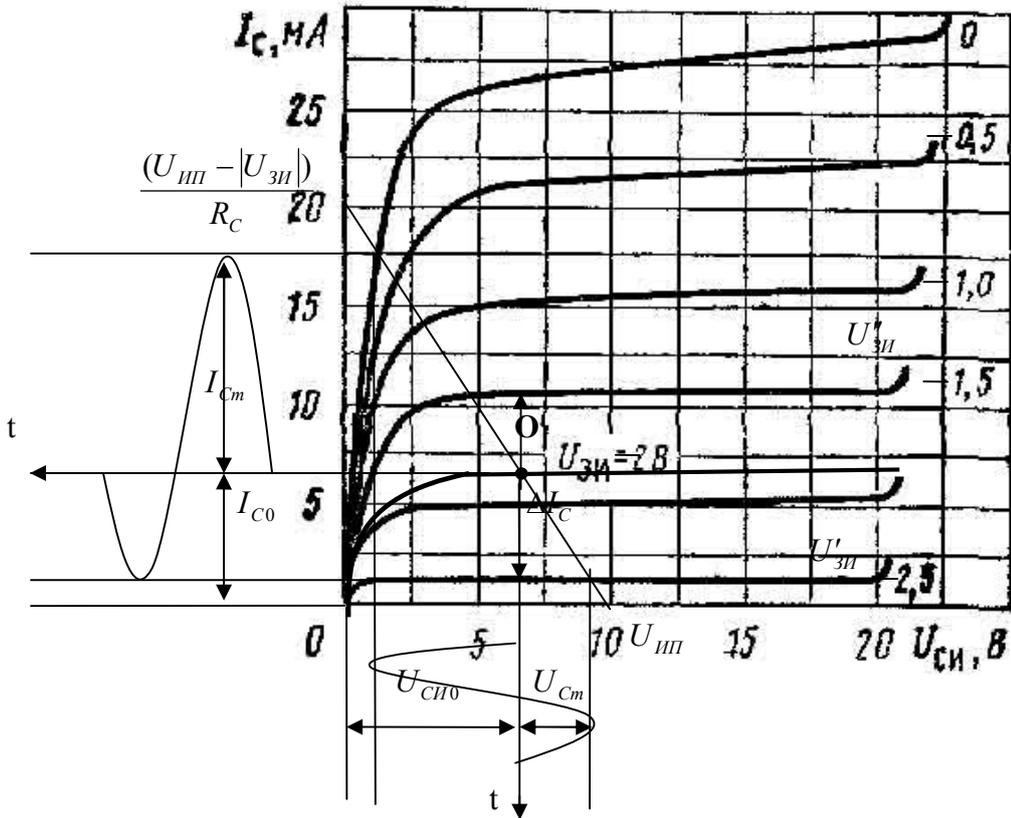


Рис 1.8

Точка пересечения нагрузочной прямой с характеристикой, соответствующей заданному значению $U_{зп} = U_{зп0} = -1.8(B)$, дает положение рабочей точки "O", которой соответствует ток стока $I_c = I_{c0} = 6(мА)$ и напряжение $U_{сн} = U_{сн0} = 6(B)$.

Сопротивление резистора в цепи истока находим из формулы:

$$R_{II} = U_{зп} / I_c = \frac{1.8}{6 \cdot 10^{-3}} = 300(Ом).$$

Малосигнальные параметры S , R_i и μ определяются выражениями

$$S = \left. \frac{dI_c}{dU_{зп}} \right|_{U_{сн}=\text{const}} = \frac{\Delta I_c}{U_{зп}'' - U_{зп}'} = \frac{(12 - 2) \cdot 10^{-3}}{2.5 - 1.5} = 0.02;$$

$$R_i = \left. \frac{dU_{сн}}{dI_c} \right|_{U_{зп}=\text{const}} = \frac{8.75 - 1.25}{(17.5 - 1.25) \cdot 10^{-3}} = 462(Ом);$$

$$\mu = \left. \frac{dU_{сн}}{dU_{зп}} \right|_{I_c=\text{const}} = S \cdot R_i = 0.02 \cdot 462 = 9.23.$$

Коэффициент усиления по напряжению и выходная мощность находим из выражений:

$$K_u = \frac{U_{сум}}{U_{зп}} = \frac{8.75 - 6}{0.25} = 11;$$

$$P_{вых} = 0.5 U_{сум} \cdot I_{cm} = 0.5 \cdot (8.75 - 6) \cdot (17.5 - 6) \cdot 10^{-3} = 16(мВт)$$

Задача № 6

Электронно-лучевая трубка с электростатическим отклонением луча имеет длину отклоняющих пластин L_1 , расстояние между пластинами d , расстояние от экрана до ближайшего к нему края пластины L_2 . Напряжение на втором аноде равно U_{a2} , а постоянное напряжение между отклоняющими пластинами равно $U_{откл}$. Необходимо определить:

- а) чувствительность ЭЛТ;
- б) отклонение электронного луча на экране от оси трубки;
- в) угол отклонения луча в точке выхода его из поля пластин.

Исходные данные:

$$U_{a2} = 2.5(\text{кВ}); U_{откл} = 45(\text{В}); L_1 = 26(\text{мм}); L_2 = 140(\text{мм}); d = 9.5(\text{мм}).$$

Решение

Конструкция электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) с электростатическим отклонением луча, показанная на рис. 1.9.

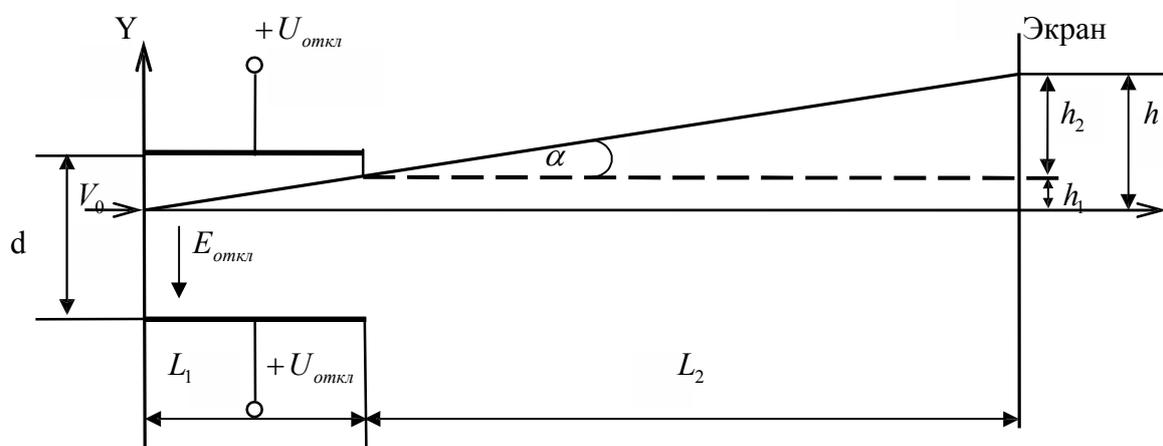


Рис 1.9

Полное отклонение пятна на экране определяется выражением:

$$h = h_1 + h_2 = \frac{U_{откл}}{4U_{a2} \cdot d} L_1^2 + L_2 \operatorname{tg} \alpha$$

$$h = \frac{U_{откл} \cdot L_1}{2U_{a2} \cdot d} \left(\frac{L_1}{2} + L_2 \right) = \frac{45 \cdot 26}{2 \cdot 2.5 \cdot 10^3 \cdot 9.5 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{26 \cdot 10^{-3}}{2} + 140 \cdot 10^{-3} \right) = 3.769 \cdot 10^{-3} (\text{м})$$

Основным параметром электростатической отклоняющей системы является чувствительность к отклонению, показывающая, на сколько миллиметров отклонится луч на экране при изменении напряжения на 1 В.

$$h' = \frac{h}{U_{откл}} = \frac{3.769 \cdot 10^{-3}}{45} = 8.375 \cdot 10^{-5} (\text{м})$$

Угол отклонения луча в точке выхода его из поля пластин определяется выражением

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_{откл} \cdot L_1}{2U_{a2} \cdot d} \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{U_{откл} \cdot L_1}{2U_{a2} \cdot d} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{45 \cdot 26 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2.5 \cdot 10^3 \cdot 9.5 \cdot 10^{-3}} \right) = 1.411^\circ$$

Задача № 7

Фотодиод включен последовательно с источником питания и резистором R . Обратный ток насыщения затемненного фотодиода (темновой ток) равен I_0 .

Фототок диода в фотогальваническом режиме при коротком замыкании перехода составляет $I_{\phi 1}$ при потоке световой энергии Φ_1 ; $I_{\phi 2}$ при потоке световой энергии при потоке световой энергии Φ_2 ; $I_{\phi 3} = 0$ при потоке световой энергии $\Phi_3 = 0$.

Определите напряжение холостого хода U_{xx} для Φ_1, Φ_2 и Φ_3 , а также значения Φ_1 и Φ_2 (лм), считая токовую чувствительность при монохроматическом световом потоке равной $S_I = 1.5 \cdot 10^{-2} (\text{мкА} / \text{лм})$.

Рассчитать и построить семейство ВАХ идеализированного фотодиода для световых потоков Φ_1, Φ_2 и Φ_3 в диапазоне напряжений U от U_{xx} до -10 В (при расчетах считать, что фототок не зависит от напряжения на запертом переходе; $T=300$ К).

Описать принцип работы, характеристики и параметры фотодиода.

Исходные данные:

$$I_0 = 1 (\text{мкА}); R = 40 (\text{кОм}); I_{\phi 1} = 30 (\text{мкА}); I_{\phi 2} = 90 (\text{мкА}).$$

Решение

Фотодиоды работает с внешним источником электрической энергии (фотодиодный или фотопреобразовательный режим) (рис. 1.9).

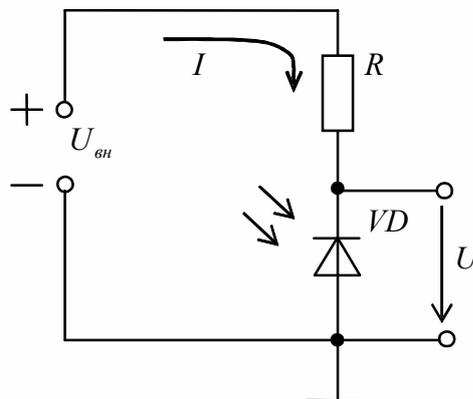


Рис 1.9

Ток, протекающий через фотодиод, можно представить в виде:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right) - I_{\phi}$$

где I_{ϕ} - фототок; I_0 - тепловой ток р-п-перехода; U – напряжение на диоде.

При разомкнутой внешней цепи $R_H = \infty, I = 0$ легко выразить напряжение холостого хода или фото-ЭДС:

$$U_{xx} = \frac{kT}{q} \ln \left(1 + \frac{I_{\phi}}{I_0} \right)$$

$$U_{xx1} = \frac{kT}{q} \ln \left(1 + \frac{I_{\phi 1}}{I_0} \right) = 0.026 \cdot \ln \left(1 + \frac{30}{1} \right) = 0.089 (\text{В});$$

$$U_{xx2} = \frac{kT}{q} \ln\left(1 + \frac{I_{\Phi}}{I_0}\right) = 0.026 \cdot \ln\left(1 + \frac{90}{1}\right) = 0.117(B);$$

$$U_{xx3} = \frac{kT}{q} \ln\left(1 + \frac{I_{\Phi}}{I_0}\right) = 0.026 \cdot \ln\left(1 + \frac{0}{5}\right) = 0(B).$$

Статическая интегральная токовая чувствительность при монохроматическом световом потоке определяется отношением $S_I = I_{\Phi} / \Phi$ (мкА/лм). По условию $S_I = 1.5 \cdot 10^{-2}$ (мкА/лм).

Получаем

$$\Phi_1 = \frac{I_{\Phi 1}}{S_I} = \frac{30}{1.5 \cdot 10^{-2}} = 2000(\text{лм});$$

$$\Phi_2 = \frac{I_{\Phi 2}}{S_I} = \frac{90}{1.5 \cdot 10^{-2}} = 6000(\text{лм});$$

$$\Phi_3 = \frac{I_{\Phi 3}}{S_I} = \frac{0}{1.5 \cdot 10^{-2}} = 0(\text{лм}).$$

Построим семейство ВАХ идеализированного фотодиода для световых потоков Φ_1, Φ_2 и Φ_3 :

$$I_1(U) = I_0 \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right) - I_{\Phi 1};$$

$$I_2(U) = I_0 \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right) - I_{\Phi 2};$$

$$I_3(U) = I_0 \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right) - I_{\Phi 3}$$

