**Задание №3**

**Текст задания**

1. Провести расчет основных параметров транзистора: αN, αI, Iэ0, Iк0.

2. Рассчитать входную ВАХ при обратном смещении на коллекторном переходе и выходные ВАХ при Iэ = 0; 2 мА; 10 мА.

Данные к расчету

Тип транзистора p-n-p, материал – кремний.

$$Концентрация атомов примеси в эмиттере N\_{аэ}=10^{18} см^{-3};$$

$$Концентрация атомов примеси в базе N\_{dб}=N\_{ж}·10^{15}=4·10^{15} см^{-3};$$

$$Концентрация атомов примеси в коллекторе N\_{ак}=10^{17} см^{-3};$$

$$Протяженность \left(длина\right)базы W\_{б}=10 мкм;$$

$$Площади p-n переходов S=10000 мкм^{2}=10^{-14} м^{2};$$

$$Время жизни дырок в базе τ\_{рб}=100 мкс;$$

$$Время жизни электронов в эмиттере τ\_{nэ}=10^{-9};$$

$$Время жизни электронов в коллекторе τ\_{nк}=5·10^{-8};$$

**Решение**

Коэффициент диффузии электронов в кремнии:
$$D\_{n}=0,0036\frac{м^{2}}{с};$$

Коэффициент диффузии дырок в кремнии:
$$D\_{p}=0,0013\frac{м^{2}}{с};$$

Концентрация собственных носителей в кремнии:
$$n\_{i}=1,5·10^{16} м^{-3};$$

Относительная диэлектрическая проницаемость кремния:

$$ε\_{Si}=12;$$

Электрическая постоянная:
$$ε\_{0}=8,85·10^{-12}\frac{Ф}{м};$$

Заряд электрона:
$$q=1,6·10^{-19} Кл$$

Диффузионная длина электронов в эмиттере:
$$L\_{nЭ}=\sqrt{D\_{n}·τ\_{nэ}}=\sqrt{0,0036·10^{-9}}=1,90·10^{-6} м;$$

Диффузионная длина дырок в базе:
$$L\_{pБ}=\sqrt{D\_{p}·τ\_{pБ}}=\sqrt{0,0013·10^{-4}}=3,61·10^{-4}=361·10^{-6} м;$$

Диффузионная длина электронов в коллекторе:
$$L\_{nК}=\sqrt{D\_{n}·τ\_{nК}}=\sqrt{0,0036·5·10^{-8}}=13,42·10^{-6} м;$$

Коэффициент передачи тока эмиттера является важнейшим параметром транзистора. В p-n-p-транзисторе:

$$α\_{N}=\frac{dI\_{к}}{dI\_{э}}=\left(1+\frac{D\_{nЭ}·n\_{p0Э}·L\_{рБ}}{D\_{pБ}·p\_{n0Б}·L\_{рЭ}}·th\left(\frac{W}{L\_{рБ}}\right)\right)^{-1}·\left(ch\left(\frac{W}{L\_{pБ}}\right)\right)^{-1}≈\left(1+\frac{D\_{nЭ}·N\_{dБ}·W}{D\_{pБ}·N\_{aЭ}·L\_{nЭ}}\right)=$$

$$=\left(1+\frac{0,0036·4·10^{15}·10}{0,0013·10^{18}·1,90}\right)=1,06;$$

$$α\_{I}=\frac{dI\_{э}}{dI\_{к}}=\left(1+\frac{D\_{nК}·n\_{p0К}·L\_{рБ}}{D\_{pБ}·p\_{n0Б}·L\_{рК}}·th\left(\frac{W}{L\_{рБ}}\right)\right)^{-1}·\left(ch\left(\frac{W}{L\_{pБ}}\right)\right)^{-1}≈\left(1+\frac{D\_{nК}·N\_{dБ}·W}{D\_{pБ}·N\_{aК}·L\_{nК}}\right)=$$

$$=\left(1+\frac{0,0036·4·10^{15}·10}{0,0013·10^{17}·13,42}\right)=1,08;$$

Плотность электронов в эмиттере:
$$n\_{э}=n\_{p0э}=\frac{n\_{i}^{2}}{N\_{аэ}}=\frac{2,25·10^{32}}{10^{18}·10^{6}}=2,25·10^{8} м^{-3};$$

Плотность электронов в коллекторе:
$$n\_{к}=n\_{p0к}=\frac{n\_{i}^{2}}{N\_{ак}}=\frac{2,25·10^{32}}{10^{17}·10^{6}}=2,25·10^{9} м^{-3};$$

Плотность дырок в базе:
$$p\_{б}=p\_{n0б}=\frac{n\_{i}^{2}}{N\_{дб}}=\frac{2,25·10^{32}}{4·10^{15}·10^{6}}=5,625·10^{10} м^{-3};$$

Ток насыщения эмиттера:

$$I\_{Э0}=S·\left(\frac{qD\_{p}p\_{n0}}{L\_{p}}+\frac{qD\_{n}n\_{p0}}{L\_{n}}\right)=$$

$$=10^{-14}·1,6·10^{-19}·\left(\frac{0,0013·5,625·10^{10}}{361·10^{-6}}+\frac{0,0036·2,25·10^{8}}{1,90·10^{-6}}\right)=1,01·10^{-21} А;$$

Ток насыщения коллектора:

$$I\_{к0}=S·\left(\frac{qD\_{p}p\_{n0}}{L\_{p}}+\frac{qD\_{n}n\_{p0}}{L\_{n}}\right)=$$

$$=10^{-14}·1,6·10^{-19}·\left(\frac{0,0013·5,625·10^{10}}{361·10^{-6}}+\frac{0,0036·2,25·10^{9}}{1,90·10^{-6}}\right)=7,15·10^{-21} А;$$

Уравнения входной и выходной характеристик транзистора:



Прямая ВАХ при обратном смещении 10 В:


Рисунок 1. Входная ВАХ транзистора


Рисунок 2. Выходные ВАХ транзистора при токах базы 0,2,10 мА

**Задание 4.**

**Текст задания**

**Пользуясь параметрами транзистора, рассчитанными** в задании №3 рассчитать входную ВАХ транзистора с ОЭ при обратном смещении на коллекторном перехода и выходные ВАХ при Iб = 0; 10 мкА; 50 мкА;

**Решение**

Уравнения входной и выходной характеристик транзистора:




Рисунок 2. Выходные ВАХ транзистора при токах базы 0,2,10 мА