

Задание к практическому занятию по дисциплине «Электроника»

Задача 1. Определить ток I , протекающий в выпрямительном диоде при прямом напряжении $U=0,1$ В и температуре $T=300$ К, если обратный ток насыщения $I_0=2 \cdot 10^{-7}$ А.

Задача 2. Германиевый диод имеет обратный ток насыщения $I_0=2 \cdot 10^{-6}$ А, а кремниевый с такими же размерами – $I_0=10^{-9}$ А. Вычислить и сравнить прямые напряжения на диодах при $T=293$ К, если через каждый диод протекает ток $I=100$ мА.

Задача 3. Германиевый диод, имеющий обратный ток насыщения $I_0=25 \cdot 10^{-6}$ А, работает при напряжении $U=0,1$ В и температуре $T=300$ К. Определить: а) сопротивление диода постоянному току R_0 ; б) дифференциальное сопротивление R_i .

Краткие теоретические сведения

Диод – электропреобразовательный прибор, содержащий, как правило, один электрический переход и два вывода для подключения к электрической цепи. В качестве выпрямляющего перехода в диодах может быть электронно–дырочный переход, гетеропереход или контакт между металлом и полупроводником (переход Шоттки).

Диоды классифицируются по различным признакам: по виду электрического перехода (плоскостные и точечные), по физическим процессам в переходе (туннельный, лавинно–пролетный и пр.), по методу изготовления переходов (сплавные, диффузионные, эпитаксиальные и т.д.), по характеру преобразования энергии сигнала (светодиод, фотодиод и др.), по исходному материалу изготовления (кремниевые, германиевые, арсенид–галлиевые, селеновые и др.). В зависимости от назначения и выполняемых функций их делят на выпрямительные, импульсные, варикапы, стабилизирующие, смесительные, детекторные, переключательные и др.

Следует обратить внимание на то, что в туннельных диодах используются вырожденные полупроводники, в обращенных – с критической концентрацией примесей.

Сила тока в переходе I и приложенное к переходу внешнее напряжение U связаны **уравнением вольт–амперной характеристики** электрического перехода:

$$I = f(U) = I_0 \left[\exp\left(\frac{U e}{kT}\right) - 1 \right], \text{ (A) или } U = \frac{kT}{e} \ln \left[\frac{I}{I_0} + 1 \right], \text{ (B).} \quad (1.1)$$

Здесь $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл – абсолютное значение заряда электрона, T – температура в градусах Кельвина, $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, I_0 – обратный ток (ток экстракции, насыщения) перехода.

Зависимость тока насыщения от приложенной температуры можно оценить следующими выражениями:

$$- \text{ для Ge-полупроводника } I_0 = kT^2 \exp\left(\frac{-\Delta W \cdot e}{kT}\right), \text{ (A).} \quad (1.2)$$

$$- \text{ для Si-полупроводника } I_0 = kT^{1,5} \exp\left(\frac{-\Delta W \cdot e}{2kT}\right), \text{ (A).} \quad (1.3)$$

Здесь ΔW – ширина запрещенной зоны используемых полупроводников:

$$\Delta W(\text{Ge}) = 0,782 - 3,9 \cdot 10^{-4} \cdot T(\text{эВ}); \quad (1.4)$$

$$\Delta W(\text{Si}) = 1,205 - 2,84 \cdot 10^{-4} \cdot T(\text{эВ}).$$

Сопротивление диода постоянному току называют **статическим сопротивлением**. Рассчитывается как отношение постоянного внешнего напряжения, приложенного к переходу, к току, протекающему в переходе:

$$R_0 = \frac{U}{I}, \text{ (Ом).} \quad (1.5)$$

Сопротивление диода переменному току называют **дифференциальным сопротивлением** R_i . Определяется следующим образом:

$$R_i = \frac{dU}{dI} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{kT}{eI_0} \exp\left(-\frac{eU}{kT}\right) = \frac{kT}{e} \frac{1}{I + I_0}, \text{ (Ом).} \quad (1.6)$$

Иногда, для расчетов, пользуются величиной, обратной дифференциальному сопротивлению, которую называют **крутизной** вольт-амперной характеристики:

$$S = \frac{dI}{dU} = \frac{\Delta I}{\Delta U} = \frac{1}{R_i}, \text{ (См).} \quad (1.7)$$

Если диод соединен последовательно с резистором R_n и источником постоянного напряжения смещения E , то по II закону Кирхгофа

$$\dot{A} = U_{\dot{a}} + U_R = U_{\dot{a}} + IR_i, \quad (1.8)$$

где U_d и U_R – напряжения на диоде и нагрузочном резисторе соответственно.

Стабилитрон – диод, предназначенный для стабилизации обратного напряжения, работающий в режиме электрического пробоя. Схема включения стабилитрона содержит последовательно включенный ограничительный резистор $R_{огр}$ и параллельно включенный нагрузочный резистор R_n (рис.6). По II закону Кирхгофа

$$\dot{A} = U_{ст} + R_{огр} (I_{ст} + I_n). \quad (1.9)$$

При изменении входного напряжения изменяются падение напряжения на ограничительном резисторе, ток через этот резистор и, следовательно, ток через стабилитрон. Напряжение на нагрузке остается практически неизменным. Пределы изменения входного напряжения, при которых возможна стабилизация, определяются из (9):

$$\dot{A}_{min} = U_{ст} + (I_{стmin} + I_n) R_{огр}, (B) \quad (1.10)$$

$$\dot{A}_{max} = U_{ст} + (I_{стmax} + I_n) R_{огр}, (B) \quad (1.11)$$

Одним из основных параметров стабилитрона является коэффициент стабилизации, который определяется как

$$k_{ст} = \frac{\Delta E}{E} \cdot \frac{U_{ст}}{\Delta U_{ст}}. \quad (1.12)$$

Здесь ΔE – нестабильность питающего напряжения, $\Delta U_{ст}$ – изменение напряжения на нагрузке, соответствующее ΔE , а напряжение стабилизации:

$$U_{ст} = \frac{U_{стmax} + U_{стmin}}{2}, (B). \quad (1.13)$$

Нагрузочную прямую можно построить, используя выражение (1.9).

При $U_{ст}=0$ ток определяется как $I_{ст}=E/R_{огр}$, а при $I_{ст}=0$ $U_{ст}=ER_n/(R_n+R_{огр})$.

Варикап – полупроводниковый диод, применяемый в качестве конденсатора, ёмкость которого может меняться под действием обратного напряжения. Основными параметрами варикапа, кроме номинальной ёмкости, являются добротность Q и коэффициент перекрытия по ёмкости

$$K = C_{max}/C_{min}, \quad (1.14)$$

где C_{max} – ёмкость, измеренная при минимальном напряжении (например, 5В), C_{min} – ёмкость, измеренная при максимальном напряжении.

Туннельный диод – полупроводниковый диод на основе перехода, образованного вырожденными полупроводниками (с высокой концентрацией примеси), в котором становится возможен туннельный эффект. На вольт–амперной характеристике туннельного диода имеется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением R_d . Основными параметрами являются: пиковый ток I_p и напряжение U_p , напряжение $U_{вп}$ и ток впадины $I_{вп}$, напряжение раствора $U_{рр}$ (при $I=I_p$, но $U > U_{вп}$).