

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа

**«Изучение статических характеристик р-п переходов»**

Утверждено на заседании каф. 405 31.08.06 (Протокол №1) как  
учебно-методическое руководство

Москва, 2006 г.

Для исследования *статических* характеристик р-п переходов в работе используются полупроводниковые (Ge, Si) диоды. В основе *идеализированной* модели диода для большого сигнала лежит модель р-п перехода, представленная эквивалентной схемой (см. рисунок 1.)

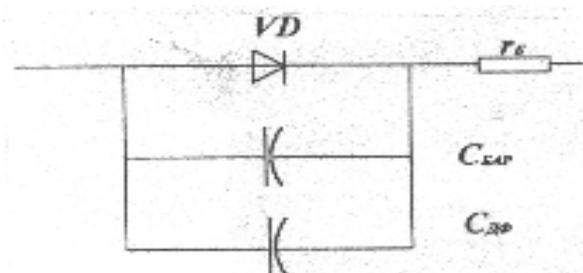


Рисунок 1.

На схеме диод VD моделируется вольт-амперной характеристикой (ВАХ), описываемой формулой:

$$I = I_0 [\exp(u/\varphi_T) - 1],$$

где  $I_0$  – тепловой ток;  $u$  – напряжение на переходе;  $\varphi_T = kT/q$  – тепловой потенциал;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура;  $q$  – заряд электрона;  $\varphi_T = 0,026$  В при  $T = 300$  К.

В *идеализированной* модели диода сопротивление  $r_B$  моделирует сопротивление области диода с низкой концентрацией примесей (базы), а также может учитывать сопротивление омических контактов между металлическими выводами диода и полупроводниковыми областями. Конденсатор  $C_{бар}$  моделирует барьерную емкость, а  $C_{дф}$  – диффузионную емкость р-п перехода. Дифференциальное сопротивление рассчитывается по формуле:

$$r_{диф} = \frac{du}{dI} = \frac{\varphi_T}{I} + r_B$$

Тепловой ток  $I_0$  и сопротивление базы  $r_B$  являются *статическими* параметрами, а барьерная  $C_{бар}$  и диффузная  $C_{дф}$  емкости – *динамическими* параметрами диода.

Идеализированная модель диода с р-п переходом может приводить к значительным ошибкам расчета ВАХ при больших прямых токах, так как не учитывает эффект модуляции сопротивления базы, который заключается в снижении  $r_B$  с ростом величины прямого тока из-за увеличения числа носителей заряда в базе за счет инжекции их из эмиттера.

В *модифицированной* модели диода для учета данного эффекта ВАХ диода VD задается формулой:

$$I = I_0^t [\exp(u/m \cdot \varphi_T) - 1],$$

где  $m$  – коэффициент, обычно имеющий диапазон значений в пределах 1...3 и в общем случае зависящий от диапазона изменения тока, в котором должно производиться моделирование. Параметр  $I_0^t$  не совпадает с тепловым током  $I_0$ . Сопротивление  $r_B$  (в схеме  $r_B = r_{B0}$ ) является формальным

параметром модели диода и не совпадает с сопротивлением базы (в частности возможно  $r_{B0} = 0$ ). Все три параметра  $I_0$ ,  $m$ ,  $r_{B0}$  определяются из условия наилучшего совпадения расчетной ВАХ с экспериментальной. Дифференциальное сопротивление рассчитывается по формуле:

$$r_{диф} = \frac{m \varphi_T}{I} + r_{B0}$$

тывается по формуле:

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### ИДЕАЛИЗИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ

1. Определить дифференциальное сопротивление р-п перехода при прямом токе  $I_I = 10$  мА.

Ручками управления "HORIZ. VOLTS/DIV" и "VERT. CURRENT/DIV" на характеристикографе установить масштабы: 0,1 В/дел, 2 мА/дел. С помощью ручек управления горизонтальным и вертикальным отклонением луча установить нулевую яркостную точку ВАХ, соответствующую нулевому напряжению на диоде, в левый нижний угол координатной сетки экрана.

Зарисовать на миллиметровке ВАХ в диапазоне токов от 0 до 20 мА. Центральная горизонтальная шкала экрана с мелкими делениями соответствует току  $I_I = 10$  мА. По ней произведите отсчет напряжения  $U_I$ . Ручкой управления вертикальным отклонением луча сместить изображение вверх на два деления (4 мА), зарисовать на той же миллиметровке смещенную ВАХ, и по центральной горизонтальной линии измерить изменение напряжения  $\Delta U$ . Рассчитать дифференциальное сопротивление р-п перехода:

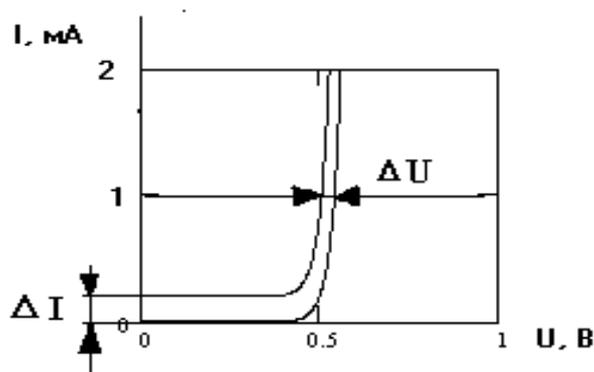


Рисунок 2.

$$r_{дифI} = \Delta U / \Delta I.$$

Полученное значение  $r_{дифI}$  приблизительно равно  $r_{B0}$  идеализированной модели диода при большом прямом токе (соотношением  $\varphi_T / I_I$  можно пренебречь).

2. Определить по методике, аналогичной описанной в п.1, дифференциальное сопротивление диода  $r_{\text{диф}2}$  при прямом токе  $I_2 = 1$  мА. Для этого установить масштаб 0,1 В/дел., 0,2 мА/дел. Найти сопротивление базы  $r_{\text{б}2} = r_{\text{диф}2} - (\varphi_T / I_2)$ , где  $\varphi_T = 0,026$  В - тепловой потенциал, и сравните его со значением  $r_{\text{б}1}$ , полученным в п.1. Большое их отличие говорит о влиянии в данном диоде эффекта модуляции сопротивления базы.

3. Измерить прямое напряжение  $U_{\text{пр}}$  при прямом токе  $I_{\text{пр}} = 10$  мкА (для этого рекомендуется установить масштаб: 0,1 В/дел., 2 мкА/дел). Произвести отсчет напряжения  $U_{\text{пр}}$  по центральной горизонтальной линии (нулевая точка ВАХ должна быть в левом нижнем углу координатной сетки). Рассчитать параметр модели  $I_0$  (тепловой ток) по формуле:

$$I_0 = \frac{I_{\text{пр}}}{\exp(U_{\text{пр}} / \varphi_T)}.$$

#### МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ

4. Найти параметры  $m$  и  $r_{\text{б}0}$  модифицированной модели по формулам

$$m = \frac{I_2 (r_{\text{диф}2} - r_{\text{диф}1})}{\varphi_T \left( 1 - \frac{I_2}{I_1} \right)}; \quad r_{\text{б}0} = r_{\text{диф}2} - \left( m \frac{\varphi_T}{I_2} \right).$$

5. Рассчитать параметр модифицированной модели  $I_0^I$  по формуле

$$I_0^I = \frac{I_2}{\exp[(U_2 - r_{\text{б}0} I_2) / m \varphi_T]}.$$

Сравните  $I_0^I$  с  $I_0$ , определенным в п.2.

6. Зарисовать на одном графике экспериментальную ВАХ, рассчитанные вольт-амперные характеристики  $I=f(U)$  идеализированной и модифицированной модели диода.

При этом необходимо отметить, что напряжение на переходе  $u = U - I \cdot r_{\text{б}}$ , где  $U$  - напряжение на диоде;  $I$  - ток через диод.

Поэтому расчет ВАХ необходимо производить, заменяя  $u$  в модели перехода на  $U - I \cdot r_{\text{б}}$ . Для упрощения расчетов рекомендуется произвести преобразования функции  $I=f(U)$  на функцию  $U=f(I)$ . Расчеты производить для  $I=0,1; 1; 3; 5; 10; 20$  мА.