

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторной работе №1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ**

## Содержание

1. Задание на подготовку к выполнению лабораторной работы .....	3
2. Теоретическое введение .....	3
3. Задание на выполнение лабораторной работы .....	6
3.1 Расчетная часть работы.....	6
3.2 Экспериментальная часть работы.....	7
4. Рекомендации к выполнению исследований.....	7
4.1 Исследование прямой ветви ВАХ диодов.....	7
4.2 Исследование обратной ветви ВАХ диодов.....	8
4.3 Исследование обратной ветви ВАХ стабилитронов.....	9
4.4 Исследование прямой ветви ВАХ стабилитронов .....	9
5. Содержание отчета .....	10
Приложение А.....	10

# 1 Задание на подготовку к выполнению лабораторной работы

*Тема:* Исследование полупроводниковых устройств

*Цель работы:*

1. Изучить характерные свойства электронно-дырочного перехода, определяющие характеристики выпрямительного диода и стабилитрона (лекция №2).
2. Приобрести навыки работы с измерительными приборами, а также по обработке и оформлению полученных результатов.

Выполнению данной работы должна предшествовать предварительная подготовка, состоящая в следующем:

1. Изучение темы и цели лабораторной работы.
2. При изучении теоретического материала в объеме материала лекций и теоретического введения обратить внимание на следующие основные вопросы:
  - физические процессы, определяющие одностороннюю проводимость электронно-дырочного перехода;
  - энергетическую диаграмму  $p-n$  перехода;
  - типы пробоя электронно-дырочного перехода и его вольтамперная характеристика (ВАХ);
  - основные параметры, характеризующие выпрямительные диоды и стабилитроны.
3. Оформление заготовки для отчета (см. раздел 6).
4. Выполнение указаний разделов 4 и 5.

*Номер варианта для выполнения лабораторной работы должен выбираться по двум последним цифрам номера пароля. Варианты приведены в Приложении А.*

## 2 Теоретическое введение

Электронно-дырочный переход ( $p-n$  переход) – это контакт двух проводников с различным типом проводимости. Изготавливается он обычно из одного кристалла полупроводника, в котором формируются области с повышенной концентрацией акцепторной примеси ( $p$ -область) и донорной примеси ( $n$ -область).

В зависимости от технологии изготовления существуют различные типы  $p-n$  переходов, например - резкий или плавный  $p-n$  переходы. В резком переходе область изменения концентрации примеси значительно меньше толщины области пространственного заряда, который образуется за счет диффузии электронов и дырок, а в плавном переходе - наоборот.

Если переход находится в равновесии (внешнее электрическое поле отсутствует), то его состояние определяется двумя конкурирующими процессами:

- 1) диффузией основных носителей - дырок из  $p$ -области в  $n$ -область и диффузией электронов в обратном направлении;
- 2) дрейфом неосновных носителей под действием поля перехода.

В условиях равновесия полный ток через переход (дрейфовый плюс диффузионный) носителей каждого знака равен нулю .

Если приложить к переходу разность потенциалов  $U$ , то величину полного тока через переход можно попытаться определять по следующей приближённой формуле:

$$I \approx I_0 \left( e^{\pm \frac{qU}{kT}} - 1 \right), \quad (2.1)$$

где:  $I_0$  – ток насыщения ( $I_{\text{обр max}}$ ); [ А ]

$q$  – заряд электрона; [ К ]

$k$  – постоянная Больцмана; [ Дж/К ]

$T$  – абсолютная температура;

$U$  – приложенное к переходу внешнее напряжение, причем «+» (плюс) – соответствует прямому напряжению, «-» (минус) – соответствует обратному напряжению; [ В ].

Вольт – амперная характеристика диода представлена на рисунке 2.1.

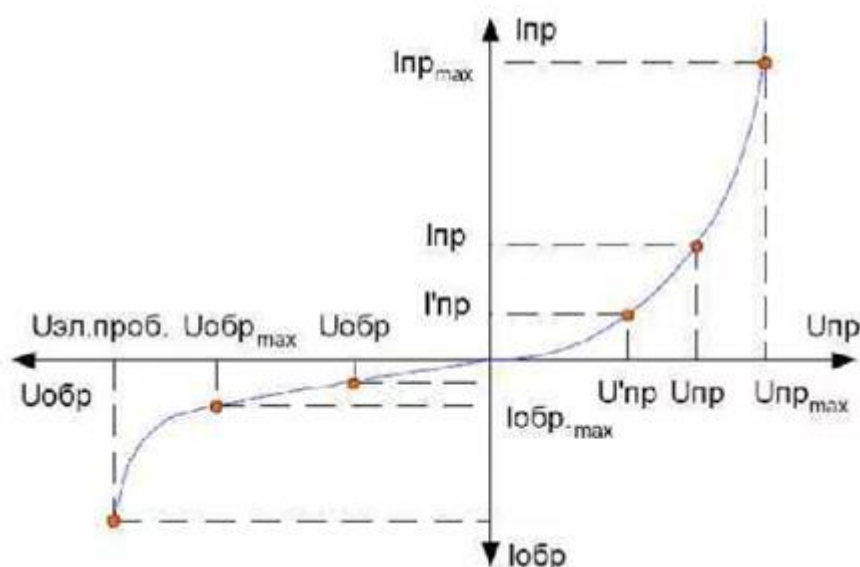


Рисунок 2.1 - Вольт – амперная характеристика диода

ВАХ диода можно описать математической формулой (2.2.).

$$U_{np} = \varphi_T \cdot \ln \left( \frac{I_{np} + I_o}{I_o} \right), \quad (2.2)$$

где  $\varphi_T = 25$  мВ;  
 $I_o = 2,48 \cdot 10^{-11}$  А.

ВАХ стабилитрона представлена на рисунке 2.2.

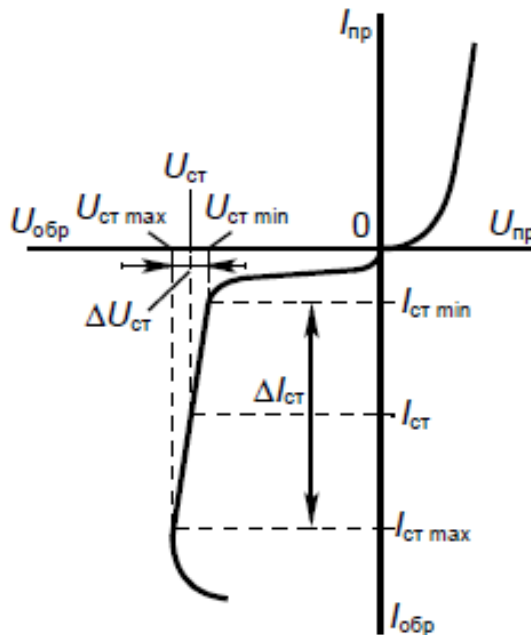


Рисунок 2.2 - Вольт – амперная характеристика стабилитрона

Ток стабилитрона определяется по формуле (2.3).

$$I_{cm} = 0,5 \cdot (I_{cm\min} + I_{cm\max}). \quad (2.3)$$

Обратную ветвь ВАХ стабилитрона можно описать формулой (2.4).

$$U_{обр} = U_{ст} \cdot M \sqrt{1 - \frac{I_l}{I_{обр}}}, \quad (2.4)$$

где  $I_l = -10^{-4}$  А – обратный (дрейфовый) ток в обедненной зоне;  
 $U_{ст}$  - номинальное напряжение стабилизации;  
 $M$  – коэффициент лавинного размножения ( $M=5$ ).

### 3 Задание на выполнение лабораторной работы

#### 3.1 Расчётная часть работы

1. Выбрать диод, в соответствии с вариантом и записать значения следующих параметров диода:

- предельно-допустимый постоянный прямой ток  $I_{np\max}$  ;
- предельно-допустимое обратное напряжение  $U_{обр\max}$  .

Значения  $I_{np\max}$  и  $U_{обр\max}$  найти для соответствующего варианта, используя ресурсы Internet и записать в отчет.

$$I_{np\max} =$$

$$U_{обр\max} =$$

2. Построить прямую ветвь ВАХ диода. Для построения прямой ветви ВАХ использовать формулу 2.2.

3. Задать 6 значений прямого тока, которые вычисляются по выражениям во 2-м столбце таблицы 3.1. Полученные значения являются рекомендуемыми, их допускается округлять до ближайшего «удобного» числа.

Таблица 3.1 - Прямая ветвь ВАХ диода типа ...

№	$I_{np}$ , mA		$U_{np}$ , В
	формула	Рассчитанное значение	
1	2	3	4
1.	$0.05 \cdot I_{np\max}$		
2.	$0.1 \cdot I_{np\max}$		
3.	$0.3 \cdot I_{np\max}$		
4.	$0.5 \cdot I_{np\max}$		
5.	$0.7 \cdot I_{np\max}$		
6.	$0.95 \cdot I_{np\max}$		

4. Выбрать стабилитрон, в соответствии с вариантом и записать значения следующих параметров стабилитрона:

- минимальный ток стабилизации  $I_{cm\min}$  ;
- максимальный ток стабилизации  $I_{cm\max}$  ;
- номинальное напряжение стабилизации  $U_{cm}$  .

Значения  $I_{cm\min}$ ,  $I_{cm\max}$  и  $U_{cm}$  найти для соответствующего варианта, используя ресурсы Internet.

5. Построить обратную ветвь ВАХ стабилитрона. Для построения обратной ветви ВАХ использовать формулу 2.4.

6. Задать 5 значений обратного тока, которые вычисляются по выражениям во 2-м столбце таблицы 3.2. Полученные значения являются рекомендуемыми, их допускается округлять до ближайшего «удобного» числа.

Таблица 3.2 - Обратная ВАХ стабилизатора типа ...

№	$I_{обр}, \text{mA}$		$U_{обр}, \text{В}$
	формула	Рассчитанное значение	
1	2	3	4
1.	$0.5 \cdot I_{ст \min}$		
2.	$I_{ст \min}$		
3.	$0.2 \cdot I_{ст \max}$		
4.	$0.5 \cdot I_{ст \max}$		
5.	$0.95 \cdot I_{ст \max}$		

### 3.2 Экспериментальная часть работы

Для проверки рассчитанных значений выполнить измерения, используя виртуальный универсальный лабораторный стенд. Основные сведения работы на виртуальном стенде приведены в Приложении Б.

1. С помощью измерительных схем рисунков А.1 и А.2, приведенных в приложении Б, исследовать *прямую и обратную ветви ВАХ* выпрямительного диода определенной марки. Построить их графики в одних осях с ВАХ, рассчитанной в п.3.1. Найти  $I_0$  по обратной ветви ВАХ диода, построенной по измерениям.

2. С помощью измерительных схем рисунков А.3 и А.4 исследовать *прямую и обратную ветви ВАХ* стабилизатора определенной марки, выбранной из Приложения. Построить их графики в одних осях с ВАХ стабилизатора, рассчитанной в п.3.1.

## 4 Рекомендации к выполнению исследований

### 4.1 Исследование прямой ветви ВАХ диода

1. Собрать схему, представленную на рисунке А.1.

2. Задать те же 6 значений прямого тока источника  $I_1$ , (таблица 3.1).

Для каждого установленного  $I_1$  измерить по показаниям  $V_1$  прямое напряжение, результаты измерений записать в 3-й столбец таблицы 4.1. *При оформлении отчёта в первый столбец вместо выражений вписать вычисленные значения. При оформлении таблицы в отчёте рекомендуется фиксировать значения токов и напряжений в тех единицах, которые являются наиболее оптимальными.*

Таблица 4.1 - Прямая ветвь ВАХ диода типа ...

№	$I_{np}$ , мА		$U_{np}$ , В
	формула	Рассчитанное значение	
1	2	3	4
1.	$0.05 \cdot I_{np \max}$		
2.	$0.1 \cdot I_{np \max}$		
3.	$0.3 \cdot I_{np \max}$		
4.	$0.5 \cdot I_{np \max}$		
5.	$0.7 \cdot I_{np \max}$		
6.	$0.95 \cdot I_{np \max}$		

#### 4.2 Исследование обратной ветви ВАХ диода

1. Изменить включение диода, собрав схему, представленную на рисунке А.2.

2. Задать 7 значений обратного напряжения с помощью источника  $E_1$ , которые вычисляются по выражениям во 2-м столбце таблицы 4.2. Как и при измерении прямой ветви ВАХ, полученные значения являются рекомендуемыми. Для каждого значения  $U_{обр}$  измерить обратный ток по амперметру  $A_1$ , измеренные величины зафиксировать в 3-м столбе таблицы 4.2.

Таблица 4.2 - Обратная ветвь ВАХ диода типа ...

№	$U_{обр}$ , В		$I_{обр}$ , мкА
	формула	Рассчитанное значение	
1	2	3	4
1.	$0.005 \cdot U_{обр \max}$		
2.	$0.01 \cdot U_{обр \max}$		
3.	$0.05 \cdot U_{обр \max}$		
4.	$0.07 \cdot U_{обр \max}$		
5.	$0.1 \cdot U_{обр \max}$		
6.	$0.5 \cdot U_{обр \max}$		
7.	$0.95 \cdot U_{обр \max}$		

3. По значениям таблиц 4.1 и 4.2 построить графики прямой и обратной ветвей ВАХ.



### 4.3 Исследование обратной ветви ВАХ стабилизатора

1. Собрать схему рисунка А.3, установив тип стабилизатора (выбирается в соответствии с вариантом).

3. Измерить по вольтметру  $V_1$  напряжение стабилизатора при 5 рекомендуемых значениях обратного тока  $I_{обр}$  (аналогично таблице 3.2). Вычисленные значения тока  $I_{обр}$  устанавливаются с помощью источника  $I_1$ . Измеренные и установленные значения занести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 - Обратная ВАХ стабилизатора типа ...

№	$I_{обр}$ , мА		$U_{обр}$ , В
	формула	Рассчитанное значение	
1	2	3	4
1.	$0.5 \cdot I_{ст \min}$		
2.	$I_{ст \min}$		
3.	$0.2 \cdot I_{ст \max}$		
4.	$0.5 \cdot I_{ст \max}$		
5.	$0.95 \cdot I_{ст \max}$		

### 4.4 Исследование прямой ветви ВАХ стабилизатора

1. Изменить включение стабилизатора - перейти к схеме, представленной на рисунке А.4.

2. Измерить прямое напряжение при 5 рекомендуемых значениях тока  $I_{пр}$ , указанных во 2-м столбце таблицы 4.4. Измеренные и установленные значения занести в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 - Прямая ВАХ стабилизатора типа ...

№	$I_{пр}$ , мА	$U_{пр}$ , В
1	2	4
1.	1 мА	
2.	4 мА	
3.	10 мА	
4.	15 мА	
5.	21 А	

3. По значениям таблиц 4.3 и 4.4 построить графики прямой и обратной ветви ВАХ стабилизатора.

## 5 Содержание отчета

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Таблицы 3.1 и 3.2.
3. Таблицы наблюдений 4.1, 4.2, 4.3, 4.4.
4. Графики ВАХ исследованных диодов и стабилитронов (рассчитанные и измеренные).
5. Выводы по результатам проведенных исследований.

## Приложение А

Схемы для снятия ВАХ диода

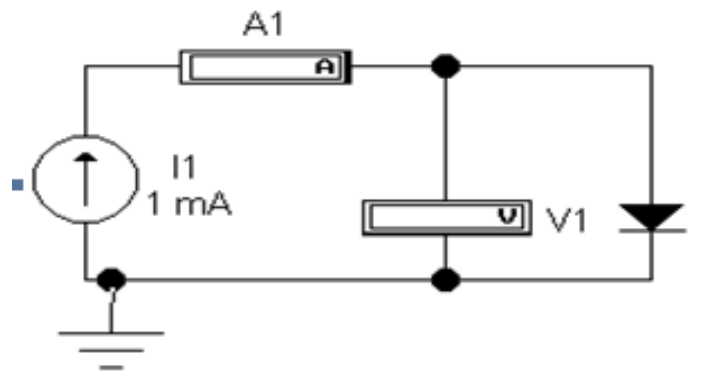


Рисунок А.1 - Схема для измерения прямой ветки ВАХ диода

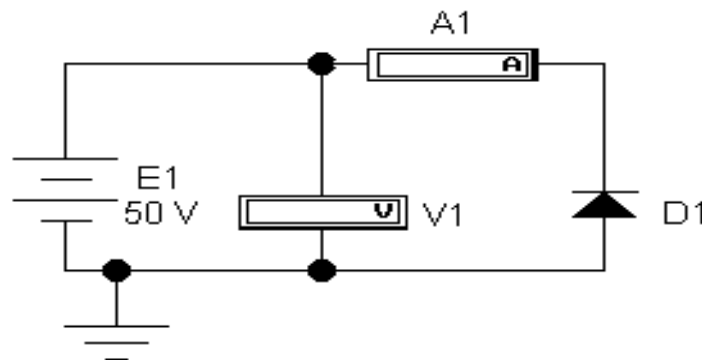


Рисунок А.2 - Схема для измерения обратной ветки ВАХ диодов

## Схемы для снятия ВАХ стабилитрона

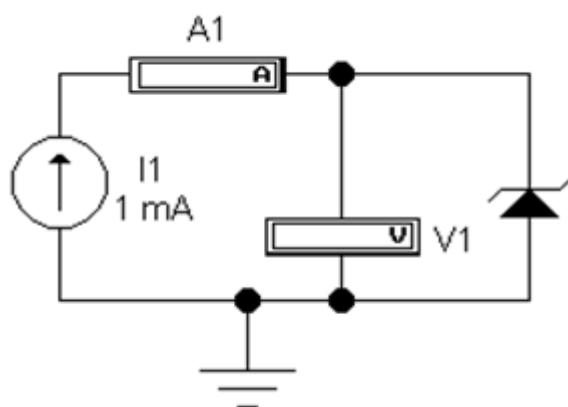


Рисунок А.3- Схема для измерения обратной ветви ВАХ стабилитронов

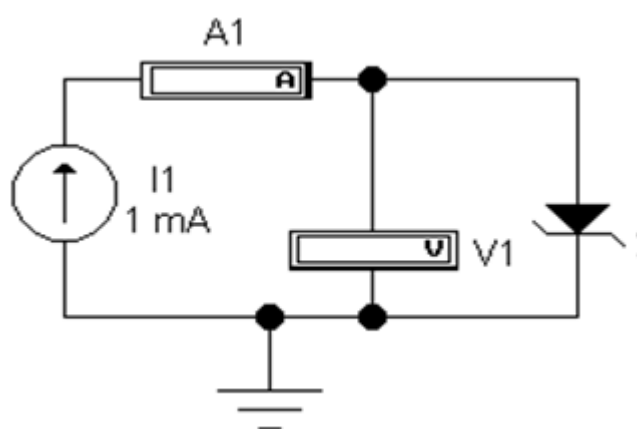



Рисунок А.4- Схема для измерения прямой ветви ВАХ стабилитрона

Величина ЭДС, а также параметры пассивных элементов схем устанавливается следующим образом:

- а) курсор «мыши» наводится на соответствующий элемент схемы;
- б) «кликанием» правой кнопки вызывается всплывающее меню, из которого вызывается пункт «*component properties*»;
- с) далее выбирается пункт «*value*», в котором устанавливается требуемая величина и единица измерения настраиваемого параметра.

Типы (марки) диодов и других активных элементов выбираются следующим образом:

- а) курсор «мыши» наводится на соответствующий элемент схемы;
- б) «кликанием» правой кнопки вызывается всплывающее меню, из которого вызывается пункт «*component properties*»;
- с) далее из списка «*library*» выбирается библиотека, а из списка «*models*» – соответствующий тип диода.

Функционирование схемы запускается с помощью переключателя , расположенного в правой части панели инструментов. Кнопкой «*pause*» можно останавливать функционирование; повторным нажатием – снова разрешать функционирование схемы.

