

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе №1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ДИОДОВ И СТАБИЛИТРОНОВ**

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
Рекомендуемая литература	10
Приложение А.....	11
Приложение Б.....	14

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.

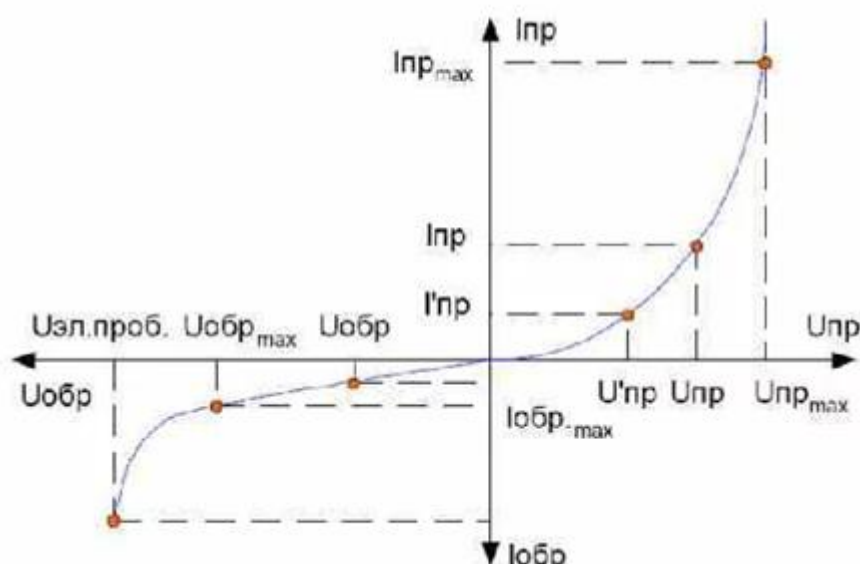


Рисунок 2.1 - Вольт – амперная характеристика диода

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 $\varphi_T = kT/q_e$ – температурный потенциал. В данной лабораторной работе принять $\varphi_T = 25$ мВ (при $T=300\text{K}$);

I_o – тепловой ток. В лабораторной работе принять $I_o = 2,48 \cdot 10^{-11}$ А.

Формула $U_{np} = \varphi_T \cdot \ln \left(\frac{I_{np} + I_o}{I_o} \right)$ описывает ВАХ идеального диода. Но в

данной формуле не учтено влияние сопротивлений в p - n областях на ВАХ диода. При учете сопротивления в p - n области формула (2.2) может быть представлена иначе:

$$U = U_{R_{AK}} + U_{p-n} = I \cdot R_{AK} + \varphi_T \ln \left(\frac{I + I_s}{I_s} \right). \quad (2.3)$$

При подаче обратного напряжения U на определенном интервале образуется обедненная зона. При приближении величины обратного напряжения к величине пробойного напряжения U_{II} напряженность электрического поля в обедненной зоне создает силу такой величины, чтобы вырвать электрон из дырки в атоме основного полупроводника, который был вынужден отдать свой электрон для создания ковалентных связей акцептора. Этот электрон при встрече с атомом «выбивает» электрон, оставляя дырку и т.д, образуется лавина электронов, перемещающихся через p - n переход к «плюсу». Происходящий процесс характеризуется коэффициентом лавинного размножения M . ($M = 3$ для германия (Ge), $M = 5$ для кремния (Si), причем всегда должно выполняться $|U| < |U_{II}|$ (при $U = U_{II}$ коэффициент $M = \infty$, $I = \infty$).

ВАХ стабилитрона представлена на рисунке 2.2.

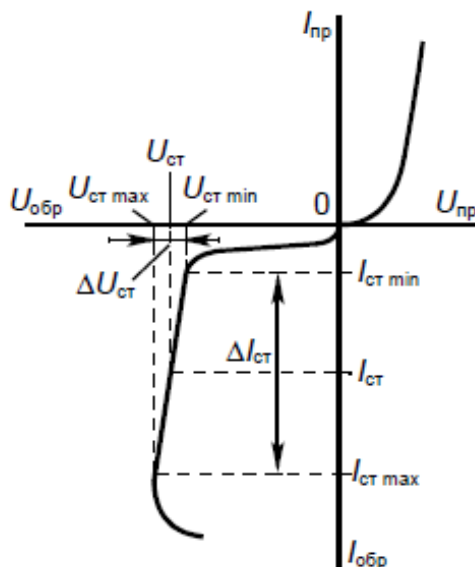


Рисунок 2.2 - Вольт – амперная характеристика стабилитрона

Ток стабилизатора определяется по формуле (2.3).

$$I_{ct} = 0,5 \cdot (I_{ctmin} + I_{ctmax}) . \quad (2.3)$$

Обратную ветвь ВАХ стабилизатора можно описать формулой (2.4).

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

где $I_{л} = -10^{-4} \text{А}$ – обратный (дрейфовый) ток в обедненной зоне;

U_{ct} – номинальное напряжение стабилизации;

M – коэффициент лавинного размножения (в работе принять $M=5$).

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_{npmax} ;
- предельно-допустимое обратное напряжение $U_{обрmax}$.

Значения I_{npmax} и $U_{обрmax}$ найти для соответствующего варианта, используя ресурсы Internet.

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
1	2	3
1.	$0.05 \cdot I_{npmax}$	
2.	$0.1 \cdot I_{npmax}$	
3.	$0.3 \cdot I_{npmax}$	
4.	$0.5 \cdot I_{npmax}$	
5.	$0.7 \cdot I_{npmax}$	
6.	$0.95 \cdot I_{npmax}$	

4. Выбрать стабилизатор, в соответствии с вариантом и записать значения следующих параметров стабилизатора:

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

Значения $I_{ст\ min}$, $I_{ст\ max}$ и $U_{ст}$ 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 стабилитрона типа ...

№	$I_{обр}$, mA	$U_{обр}$, В
1	2	3
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 Б.6 и Б.7, приведенных в приложении Б, исследовать *прямую и обратную ветви ВАХ* выпрямительного диода определенной марки, выбранной из Приложения А. Построить их графики в одних осях с ВАХ, рассчитанной в п.3.1. Найти I_0 по обратной ветви ВАХ диода, построенной по измерениям.

В данной лабораторной работе расчет производится только для идеального случая. Отклонения в расчетной и исследуемой частях могут отличаться на 10-15%.

2. С помощью измерительных схем рисунков Б.8 и Б.9 исследовать *прямую и обратную ветви ВАХ* стабилитрона определенной марки, выбранной из Приложения. Построить их графики в одних осях с ВАХ стабилитрона, рассчитанной в п.3.1.

Расчетные значения и значения, полученные экспериментальным путем, могут отличаться в пределах 5-10%, т.к. в математической формуле (2.4) приняты фиксированные значения параметров.

4 Рекомендации к выполнению исследований

4.1 Исследование прямой ветви ВАХ диода

1. Собрать схему, представленную на рисунке Б.6.

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} , mA	U_{np} , В
1	2	3
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 Б.7.

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
1	2	3
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 Б.8, 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 ...

№	$I_{обр}, \text{mA}$	$U_{обр}, \text{B}$
1	2	3
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 Б.9.

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 ...

№	$I_{пр}, \text{mA}$	$U_{пр}, \text{B}$
1	2	3
1.	1	

2.	4	
3.	10	
4.	15	
5.	21	

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

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.

Рекомендуемая литература

1. Савиных Л.С. Физические основы электроники: Учебное пособие. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 1998.
2. Савиных В. Л. Физические основы электроники. Методические указания и контрольные задания. –Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2002.
3. Баюков А.В. Полупроводниковые приборы. Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник.– М.: Энергоатомиздат, 1987. – 744с.

ДИОДЫ

ВАРИАНТЫ	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	ВАРИАНТЫ	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	ВАРИАНТЫ	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
1	Zelex FMMV2107	11	Zelex FMMD914	21	Zelex BAS19
2	Zelex BAS20	12	general1 BYM11-800	22	Zelex BAS16
3	Zelex FMMD6100	13	Zelex FMMV2109	23	Zelex BAS20
4	general1 DIN3612GP	14	Zelex FMMD914	24	Zelex BAV70
5	Zelex BAV70	15	Zelex FMMV2109	25	Zelex BAS20
6	Zelex BAS19	16	Zelex BAW56	26	Zelex FMMD914
7	Zelex FMMD914	17	general1 DIN4003GP	27	general1 BYM11-100
8	general1 DIN3957GP	18	general1 BYM11-800	28	Zelex FMMV2107
9	Zelex BAS16	19	Zelex BAL74	29	Zelex BAV70
10	general1 BYM11-100	20	general1 DIN3611GP	30	general1 DIN3613GP

СТАБИЛИТРОНЫ

ВАРИАНТЫ	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	ВАРИАНТЫ	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	ВАРИАНТЫ	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
1	motor 1n 1N5923B	11	motor 1n 1N5924B	21	motor 1n 1N5927B
2	motor 1n 1N5933B	12	motor 1n 1N5934B	22	motor 1n 1N5936B
3	motor 1n 1N4758A	13	motor 1n 1N5926B	23	motor 1n 1N4761A
4	general Z4KE110A	14	general Z4KE120	24	general Z4KE130
5	general Z4KE160A	15	general Z4KE170	25	general Z4KE180
6	general GLL 4757	16	general SML4759	26	general SML4761
7	general SML4738	17	general SML4739	27	general SML4741
8	general SML4748	18	general SML4749	28	general SML4751
9	general GLL 4754	19	general GLL 4755	29	general GLL 4761
10	general GLL 4735	20	general GLL 4736	30	motor 1n 1N5930B

Приложение Б

Используя ресурсы интернета скачать программу EWB для работы на виртуальном стенде.

По ссылке soft.sibnet.ru>soft/25729-electronic-workbench открывается программа EWB.

При входе в программу *Electronics Workbench* может появляться надпись could not file, которую следует закрыть и продолжить работу в программе.

Панель инструментов стенда представлена на рисунке Б.1.

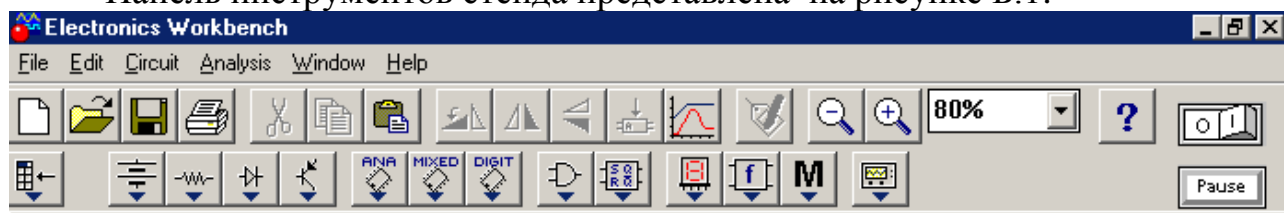



Рисунок Б.1 – Панель инструментов стенда

Схемы исследуемых устройств «собираются» с помощью панели инструментов для построения схемы (рисунок Б.2 а) и панели инструментов для измерений (рисунок Б.2 б):



Рисунок Б.2 – Панели инструментов для построения схемы (а) и для измерений (б)

Для выполнения данной лабораторной работы понадобятся *источник напряжений, амперметр, вольтметр и диоды (выпрямительный и опорный)*.

Диод  вызывается из панели «Diodes» (рисунок Б.3), появляющейся при нажатии третьей кнопки панели инструментов для построения схемы, представленной на рисунке Б.2 а.

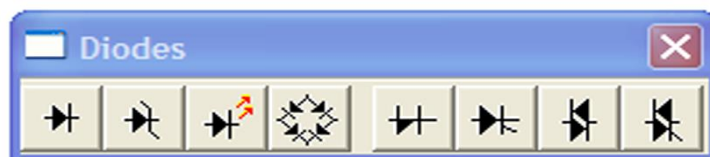


Рисунок Б.3 – Панель «Diodes»



Источник напряжения  вызывается из панели источников «Sources» (рисунок Б.4), появляющейся в виде всплывающего меню нажатием первой кнопки  панели, представленной на рисунке Б.2 а.



Рисунок Б.4 – Панель источников «Sources»

Амперметр и вольтметр выбираются из панели индикаторов (рисунок Б.5), вызываемой нажатием первой кнопки панели измерителей (рисунок Б.2 б).




Рисунок Б.5 – Панель индикаторов

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 (рисунок Б.1). Кнопкой «*raise*» можно останавливать функционирование; повторным нажатием – снова разрешать функционирование схемы.

Схемы для снятия ВАХ диода

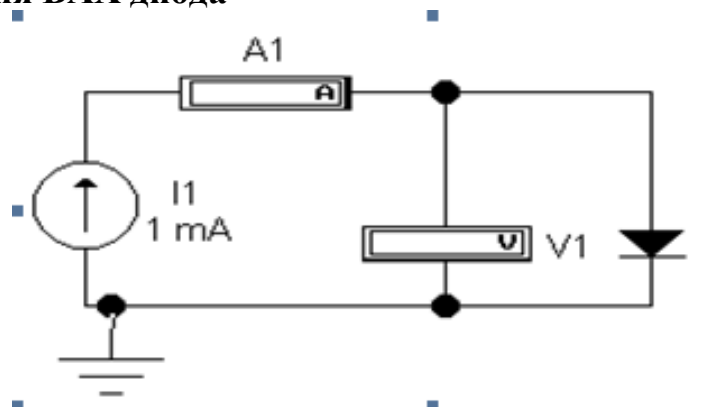


Рисунок Б.6 - Схема для измерения прямой ветки ВАХ диода

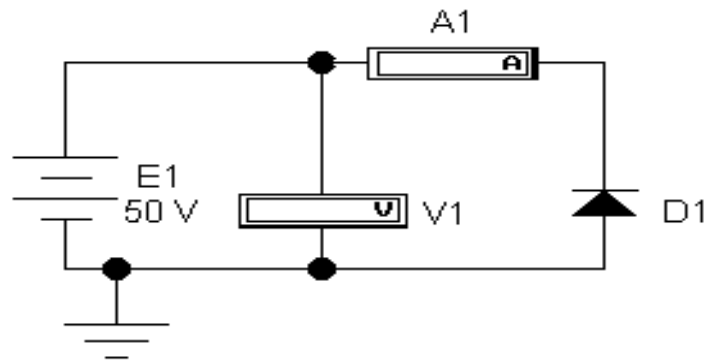


Рисунок Б.7 - Схема для измерения обратной ветви ВАХ диодов

Схемы для снятия ВАХ стабилитрона

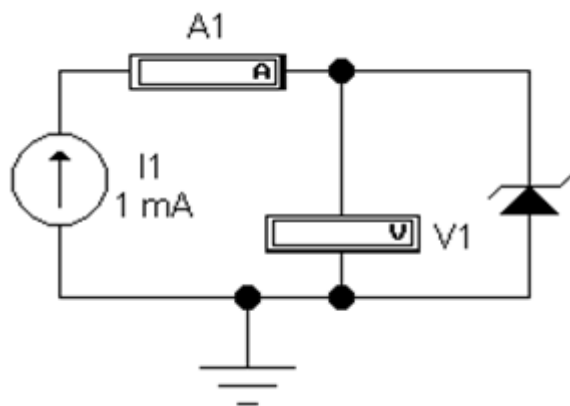


Рисунок Б.8- Схема для измерения обратной ветви ВАХ стабилитронов

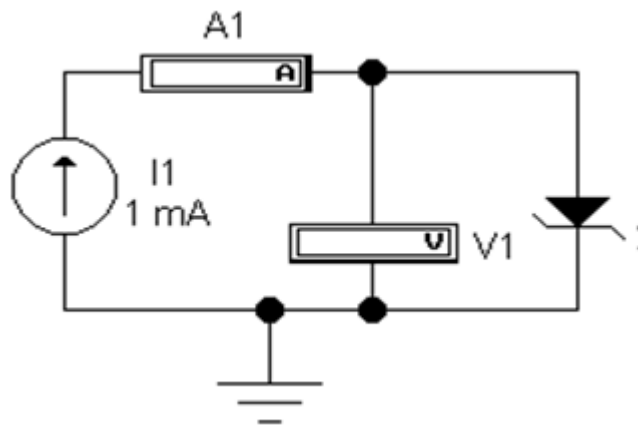


Рисунок Б.9 - Схема для измерения прямой ветви ВАХ стабилитрона