

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**«Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**

---

Кафедра «Электрическая связь»

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ**

**Методические указания  
к выполнению лабораторной работы № 1 по курсу  
«Электроника»**

Санкт-Петербург  
2009

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

## Лабораторная работа №1

### 1. Цель и содержание работы

Целью работы является исследование свойств полупроводниковых диодов плоскостного и точечного типов. В работе снимаются вольтамперные характеристики и определяются параметры диодов в широком диапазоне частот.

### 2. Краткие сведения из теории

Работа полупроводниковых диодов основана на свойствах р-п перехода, который образуется на границе раздела областей полупроводника с дырочной (р) и электронной проводимостью (п). Концентрация электронов в п – области значительно больше, чем в р-области больше, а дырок р – области больше, чем в п - области. Неодинаковая плотность частиц вызывает диффузию основных носителей из областей с большей концентрацией: электронов из п-области и дырок из р-области. В результате рекомбинации на границе р- и п -областей возникает обедненный носителями слой, который называется запирающим (рисунок 1, а). Ионы донорной и акцепторной примеси в области запирающего слоя создают электрическое поле с напряженностью  $E_{ВН}$ , которое препятствует дальнейшей диффузии основных носителей и создает дрейфовый ток, обусловленный неосновными носителями.

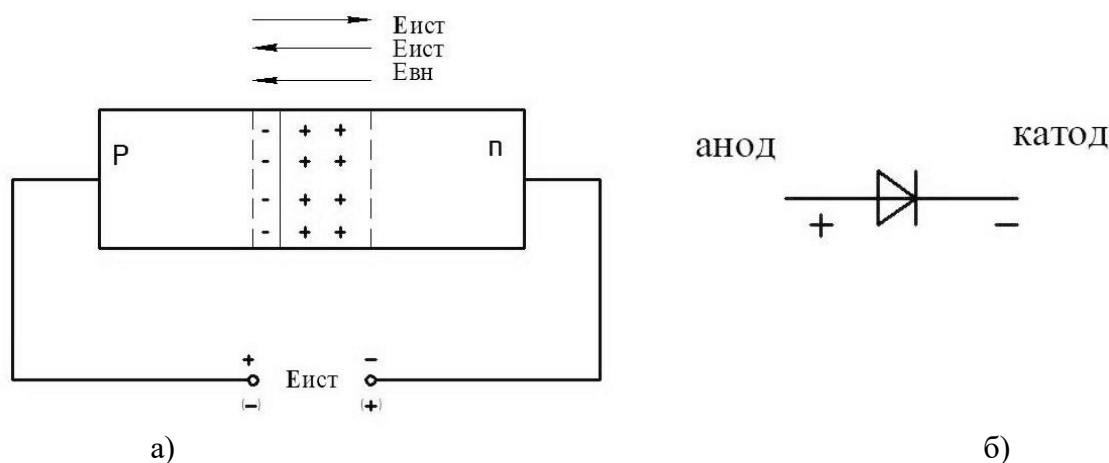


Рисунок 1.

При подключении источника э.д.с. к п-р переходу в зависимости от направления вектора напряженности источника  $E_{ист}$  ( $E_{ист( )}$ ) ширина запирающего слоя может:

- уменьшаться - векторы напряженности источника и запирающего слоя противоположны, что приводит к увеличению диффузионного тока;
- увеличиваться - векторы напряженности источника и запирающего слоя направлены в одну сторону, что приводит к уменьшению диффузионных токов практически до нуля и увеличению дрейфового тока.

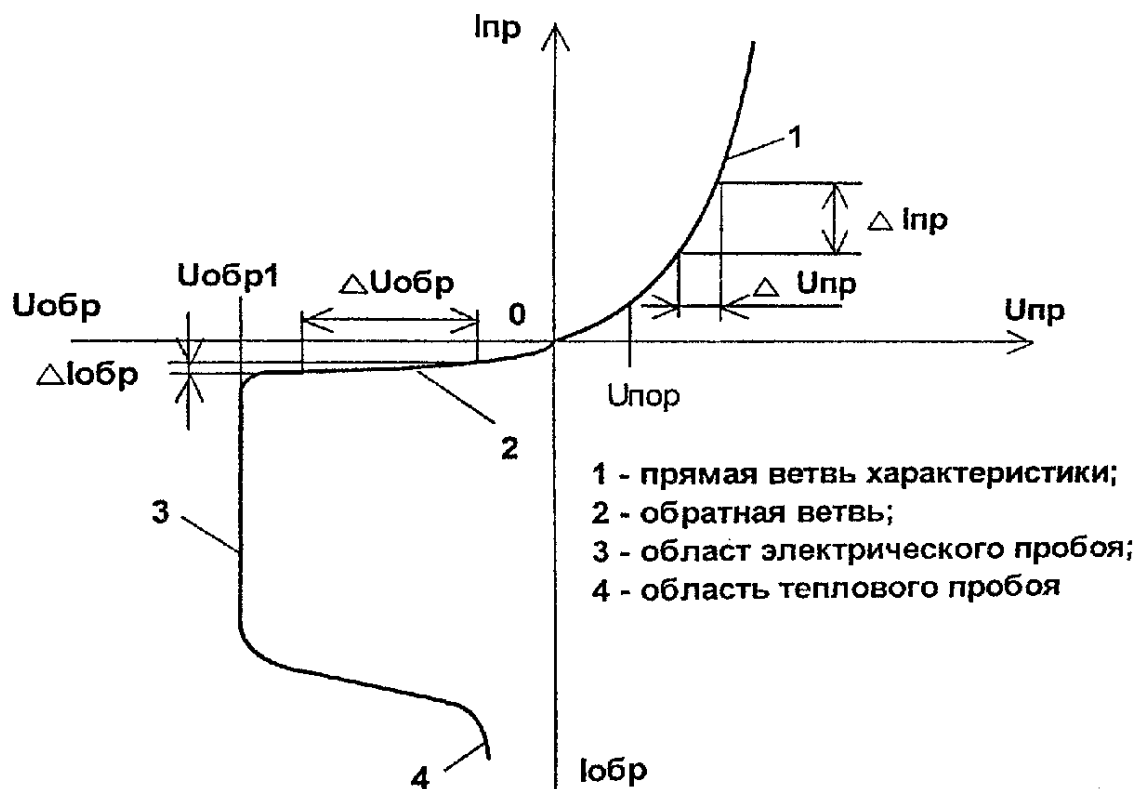
Перечисленные свойства р-п перехода используются полупроводниковых диодах.

Полупроводниковым диодом называется прибор с одним р-п переходом и двумя выводами, позволяющими включать его во внешнюю электрическую цепь. Полупроводниковые диоды имеют несимметричные электронно-дырочные переходы. Одна область полупроводника с более высокой концентрацией примесей (высоколегированная область) служит эмиттером, а другая с меньшей концентрацией примесей (низколегированная область)-базой.

Вывод, который подключает эмиттер к внешней электрической цепи, называется катодным, а вывод, который подключается к базе-анодным (Рисунок 1, б).

Выпрямительные диоды предназначены для преобразования переменного тока в ток одного направления.

Вольтамперная характеристика (ВАХ) полупроводникового диода показана на рисунке 2.



**Рисунок 2-Вольтамперная характеристика полупроводникового диода.**

Вольтамперная характеристика имеет прямую («1» на рисунке 2) и обратную («2» на рисунке 2) ветви.

При включении диода в прямом направлении (прямая ветвь ВАХ) вектор напряженности внешнего источника  $E_{\text{ист}}$  направлен противоположно вектору напряженности р-п перехода диода, положительный полюс источника  $E_{\text{ист}}$  подключен к аноду диода, а отрицательный полюс  $E_{\text{ист}}$  к катоду диода. При этом суммарный вектор напряженности уменьшается. Это приводит к уменьшению потенциального барьера в п - р переходе.

В этом режиме часть основных носителей заряда с наибольшими значениями энергии будет преодолевать понизившийся потенциальный барьер и проходить через р-п-переход. В переходе нарушится равновесное состояние, и через него потечет диффузионный ток обусловленный инжекцией электронов из п-области в р-полупроводник и дырок - из р- области в п-полупроводник.

Напряжение  $U_{\text{пор}}$ , начиная с которого малые приращения прямого напряжения вызывают резкое увеличение тока, называют пороговым (рисунок 2).

При включении диода в обратном направлении (обратная ветвь ВАХ) направление вектора напряженности внешнего источника  $E_{\text{ист}}$  совпадает с вектором напряженности поля перехода: отрицательный полюс источника  $E_{\text{ист}}$  соединен с катодом диода, а положительный полюс  $E_{\text{ист}}$  соединен с анодом диода. Такое включение диода источника приводит к увеличению потенциального барьера р-п перехода диода и ток через переход будет определяться неосновными носителями заряда: электронами из р-области в п-область

и дырками из  $p$  – области в  $n$  – область. Этот процесс называется экстракцией неосновных носителей, а ток, протекающий через диод, называют обратным током  $I_{обр}$ .

При дальнейшем увеличении обратного напряжения, приложенного к диоду, при некотором значении  $U_{обр1}$  в нем будет происходить резкий рост обратного тока-участок "3" на рисунке 2. Это явление называется пробоем. Различают электрический и тепловой пробой  $p$ - $n$  перехода. Лавинный пробой- это электрический пробой перехода, вызванный лавинным размножением носителей заряда под действием сильного электрического поля. Электроны, ускорившись в поле запирающего слоя, выбивают из атомов полупроводника валентные электроны, которые, в свою очередь, успевают ускориться и выбить новые электроны, и т.д. Процесс развивается лавинообразно и сопровождается быстрым нарастанием обратного тока.

Тепловой пробой возникает из-за перегрева  $p$ - $n$  перехода или отдельного его участка (участок «4» на рисунке 2). При этом происходит интенсивная генерация пар электрон-дырка и увеличивается обратный ток, что приводит к увеличению мощности, выделяющейся в  $p$ - $n$  переходе и дальнейшему его разогреву. Этот процесс также лавинообразный, завершается расплавлением перегретого участка перехода и выходом диода из строя.

В зависимости от соотношения линейных размеров выпрямляющего  $p$ - $n$  перехода полупроводниковые диоды делятся на два класса: точечные и плоскостные.

Точечные диоды имеют малую емкость  $p$ - $n$  перехода (обычно менее 1 пФ) и применяются для выпрямления переменного тока любых частот вплоть до СВЧ. В плоскостных диодах емкость  $p$ - $n$  перехода составляет десятков пФ. Различие в собственных емкостях  $C_{об}$  полупроводниковых диодов сказывается на их работе: с увеличением частоты внешнего источника  $E$ , приложенного к диоду, сопротивление собственной емкости  $X_{C_{об}} = \frac{1}{2\pi f C_{об}}$  уменьшается и обратный ток  $I_{обр}$  возрастает, что приводит к тому, что диод теряет свойство односторонней проводимости. Поэтому на частотах свыше 50 кГц применяют главным образом точечные полупроводниковые диоды.

### **3. Порядок выполнения работы на лабораторном стенде.**

Используемая в работе лабораторная установка, состоит из двух модулей: базового и лабораторного.

Включение установки производится нажатием выключателя, расположенного на базовом модуле в верхнем левом углу в положение, «Вкл».

Подготовка установки к работе производится в следующем порядке:

На базовом модуле:

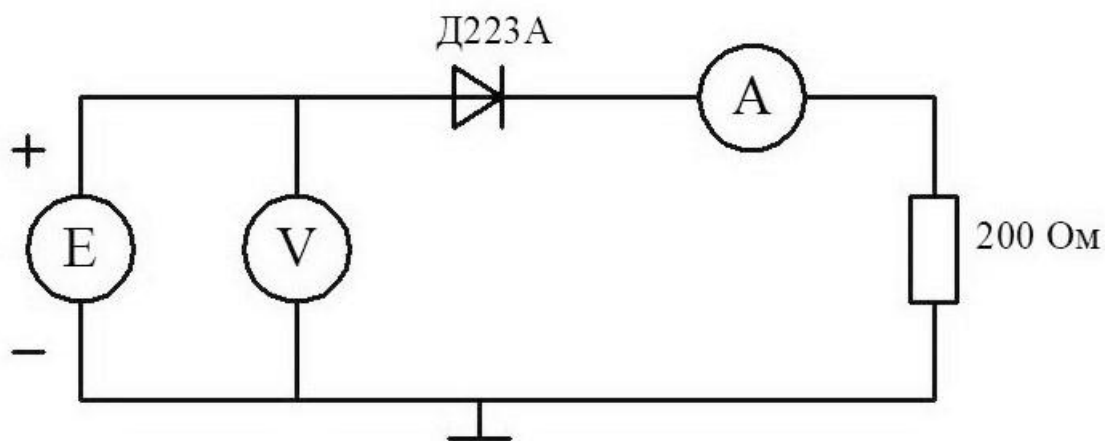
1. Собрать схемы измерений в соответствии с рисунком 3 (4).
2. Включить мультиметр 1.
3. Вольтметр 1 переключить в режим измерения постоянного тока-  $U_{-}$ .
4. Включить генератор низкой частоты.
5. Переключать генератор низкой частоты в режим генерирования синусоидальных импульсов.
6. Включить источник напряжения  $E$ .
7. На источнике напряжения  $E$  нажать кнопку 100 мА.

На лабораторном модуле:

1. На источнике напряжения  $E$  установить выключателем предел 1В.
2. На генераторе НЧ установить аттенюатор в положение 1:100.

#### **3.1. Снятие прямой ветви вольтамперной характеристики диода.**

Схема исследования диодов показана на рисунке 3.



**Рисунок 3-Схема прямого включения полупроводникового диода.**

На диод должно подаваться прямое смещения от источника питания. Изменяя напряжение источника  $E$  снять прямую ветвь статической характеристики диода. При снятии характеристик диодов, обязательно отметить значения напряжений  $U_{\text{пор}}$  при котором наблюдается резкое увеличение тока.

Результаты внести в таблицу 1. Шаг измерений приведен в таблице.

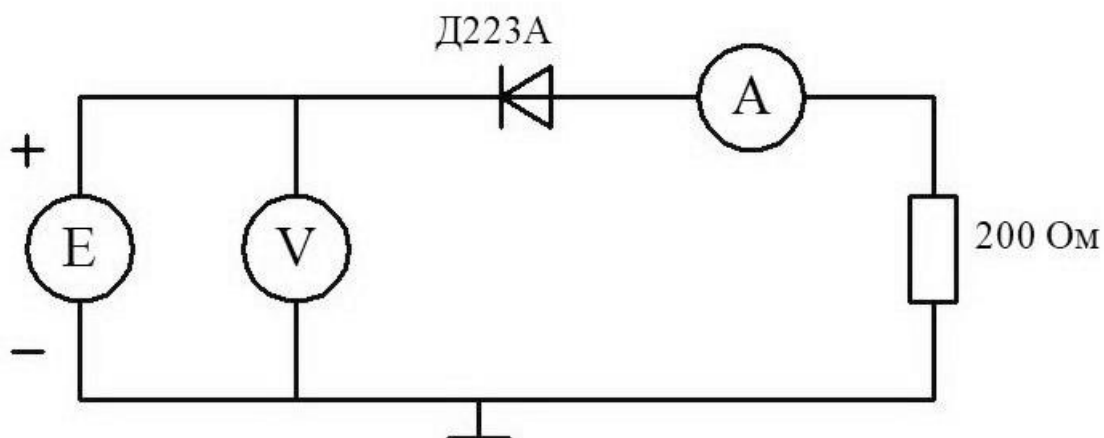
**Таблица 1.**

Тип диода: плоскостной –Д223А(точечный-КД552А)											
U,B	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
I,mA											

Аналогично выполнить измерения для точечного диода и внести их в таблицу 1.

### **3.2. Снятие обратной ветви вольтамперной характеристики диода.**

Для исследования обратной ветви статической характеристики необходимо собрать схему, показанную на рисунке 4 на диод надо подать обратное смещение от источника пи-



тания (рисунок 4).

**Рисунок 4-Схема обратного включения.**

Изменяя напряжение источника снять обратную ветвь вольтамперной характеристики диода и определить  $U_{\text{пор}}$ . Шаг измерений приведен в таблице 2.

Результаты измерений занести в таблицу 2.

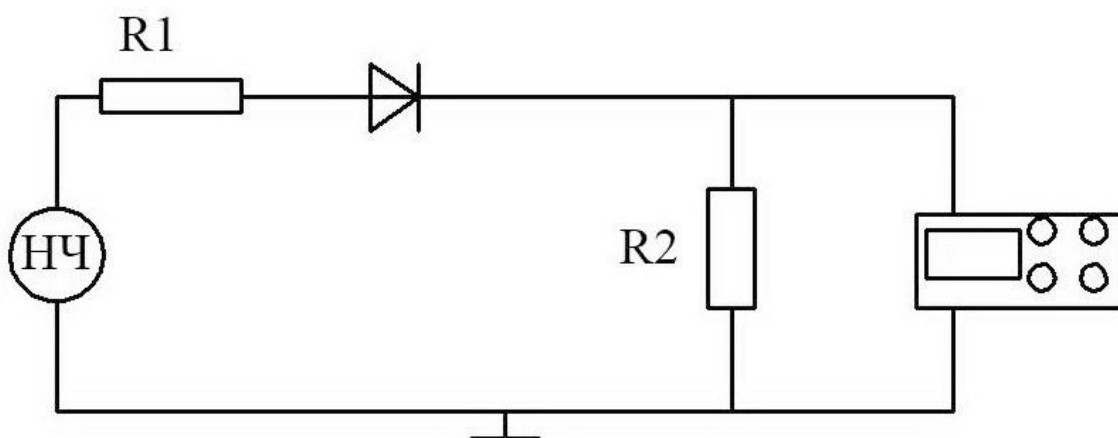
**Таблица 2.**

Тип диода: плоскостной –Д223А(точечный-КД552А)										
	Шаг измерения 0,02В			Шаг измерения 0,1В			Шаг измерения 1В			
U,В	0	...	0,2	0,2	...	1	1	...	10	...
I,мА										

Аналогично выполнить измерения для точечного диода (КД522А) и внести их в таблицу 2.

### 3.3. Исследование частотных свойств диодов.

Собрать схему, показанную на рисунке 5.



**Рисунок 5-Схема исследования частотных свойств диодов.**

$R1=100\ \text{Ом}$ ,  $R2=1000\ \text{Ом}$ .

Изменяя частоту генератора НЧ зарисовать осциллограммы при частотах 1кГц, 10кГц, 30 кГц, 50 кГц, для каждого типа диода.

## 4.Выполнение лабораторной работы на ПК.

Лабораторная работа выполняется при помощи пакета программ Workbench EDA 5.0. Для выполнения л.р. необходимо открыть файл Эл.устр.1.1.ewb, находящийся по адресу Lab/Эл. устр./1

### 4.1. Снятие прямой ветви вольтамперной характеристики полупроводникового диода.

Схема, содержащаяся в данном файле показана на рис 6. Вольтамперные характеристики снимаются для температуры корпуса диода  $+20^{\circ}\text{C}$ . Для снятия прямой ветви вольтамперной характеристики, после запуска процесса моделирования, необходимо изменить значение напряжения источника Е и наблюдать за показаниями амперметра А.

При снятии характеристик диодов, обязательно отметить значения напряжений  $U_{\text{пор}}$  при котором наблюдается резкое увеличение тока.

Результаты внести в таблицу 1. Изменение напряжение производить с шагом 0, 1 В. Данные занести в таблицу 1 с указанием типа исследуемого диода.

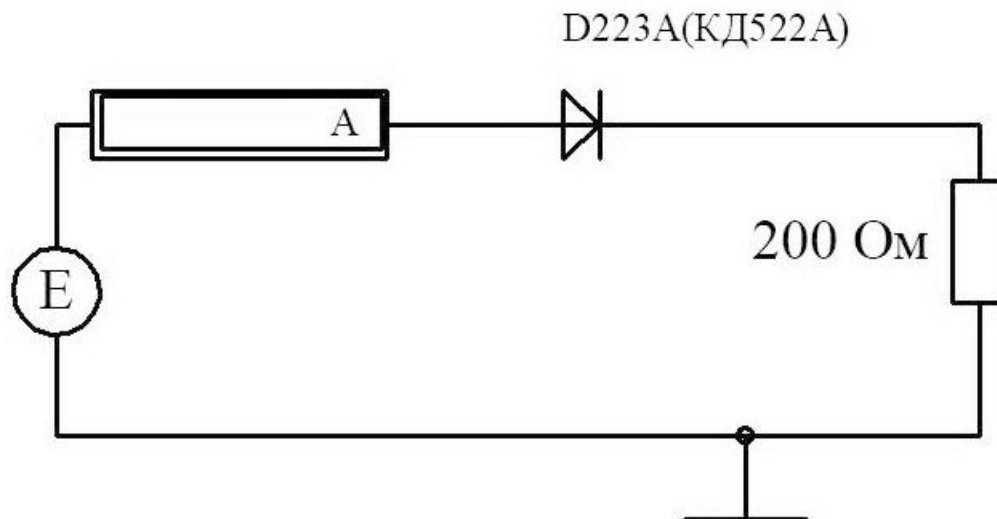


Рисунок 6-Схема снятия прямой ветви ВАХ диода.

#### 4.2 Снятие обратной ветви вольтамперной характеристики полупроводникового диода.

Для выполнения данного пункта л.р. необходимо открыть файл Эл.устр\_1.2.ewb, находящийся в каталоге Workbench EDA 5.0. по адресу Lab/Эл.устр/1/ Эл.устр\_1.2.ewb.

Схема, содержащаяся в данном файле показана на рисунке 7. Для снятия обратной ветви вольтамперной характеристики, после запуска процесса моделирования, необходимо изменять значение напряжения источника E и наблюдать за показаниями амперметра A.

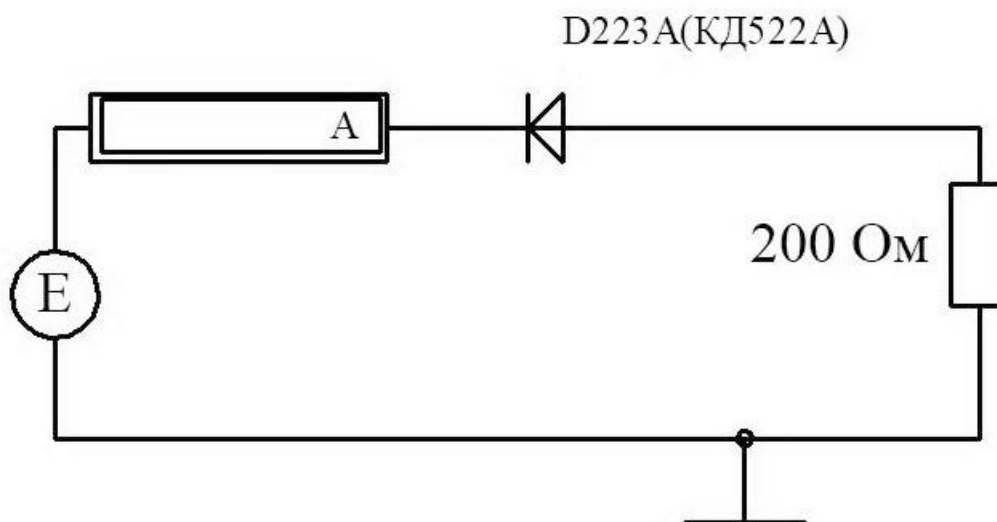


Рисунок 7-Схема снятия обратной ветви ВАХ полупроводникового диода.

Изменения напряжения производить:

- с 0 до 0,2В с шагом 0,02В;
- с 0,2В до 1В с шагом 0,1В%;
- с 1В и далее до резкого увеличения тока ( $I = \text{mA}$ ) с шагом 1В, что позволит определить  $U_{\text{пор}}$ .

Данные занести в таблицу 2 с указанием типа исследуемого диода.

#### 4.3. Исследование частотных свойств полупроводниковых диодов.

Для выполнения данного пункта л.р. необходимо открыть файл Эл.устр\_1.3.ewb, находящийся в каталоге Workbench EDA 5.0 по пути Lab/Эл.устр/1/ Эл.устр 1.3.ewb.

Схема, содержащаяся в данном файле показана на рис 8.

В процессе выполнения данного пункта работы необходимо изменять частоту генератора G1, устанавливая последовательно частоты: 1кГц, 10кГц, 30 кГц, 50 кГц и зарисовать соответствующие для диода точечного типа осциллограммы с экрана осциллографа для диода точечного типа (KD522A) и плоскостного типа (D223A).

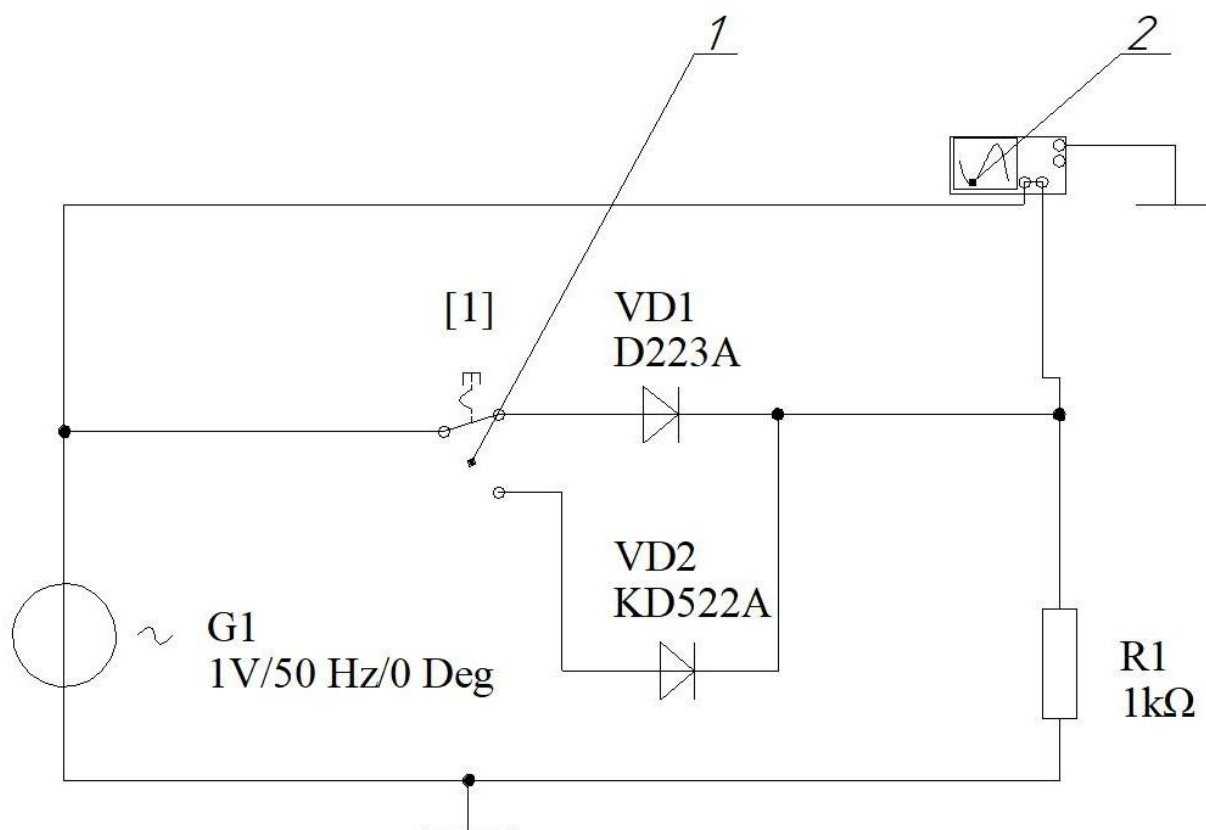


Рисунок 8-Схема исследования частотных свойств полупроводниковых диодов.

#### 5. Обработка материалов измерений.

1. По данным измерений таблицы 1, 2 построить вольтамперные характеристики исследуемых диодов.

2. Определить прямое  $r_{пр} = \frac{\Delta U_{пр}}{\Delta I_{пр}}$  и обратное  $r_{обр} = \frac{\Delta U_{обр}}{\Delta I_{обр}}$  дифференциальные сопротивления диодов. Порядок определения параметров показан на рисунке 2.

#### 6. Содержание отчета

1. Титульный лист, оформленный в соответствии с шаблоном.
2. Содержание отчета.
3. Краткие теоретические сведения по лабораторной работе.
4. Принципиальные схемы для снятия статических характеристик диодов.
5. Таблицы с данными измерений и осциллограммы.
6. Графики вольтамперных характеристик для каждого типа диода.
7. Расчет дифференциальных сопротивлений диодов для прямой и обратной ветви характеристики.



8. Выводы по каждому пункту работы.

## Список литературы

1. Шилейко А. В. Электронные устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. -М.: Транспорт, 1989.
2. Либерман Ф. Я. Электроника на железнодорожном транспорте: Учебное пособие для вузов ж.-д. трансп. М.: Транспорт, 1987. - 288 с.
3. Лачин В. И., Савелов Н. С. Электроника. -Ростов-на-Дону: Феникс, 2004.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы № 1  
по курсу «Электроника»

Составитель: Фунзавя Валентин Константинович, Мельникова Лора  
Яковлевна, Шматченко Владимир Владимирович, Родигина Татьяна Мечи-  
славовна

Рецензенты: доц. Роенков Д.Н., доц. Меремсон Ю.Я.

План 2005 г., № 74

Публикуется в авторской редакции.

Подписано в печать с оригинал-макета 06.09.2005.  
Формат 60x84 1/16. Бумага для множ. апп. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 1,75. Тираж 150 экз.  
Заказ 958.

Петербургский государственный университет путей сообщения.  
190031, СПб., Московский пр., 9.  
Типография ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.