

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ»

Саровский физико-технический институт -  
филиал федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

Писецкий В.В., Дорохина Т.Е., Гончаров С.Н.

# **Физика электронных приборов**

Учебно-методическое пособие

2019г.

УДК 621.382  
ПЗ4  
ББК 32.853

Писецкий В.В., Дорохина Т.Е., Гончаров С.Н.

Физика электронных приборов. Учебно-методическое пособие. - Саров: СарФТИ, 2019г.

**ПЗ4** Пособие предназначено для проведения практикума по дисциплине «Физика электронных приборов». Цель практикума – закрепление теоретических сведений, полученных студентом в остальных частях курса и формирование практических навыков снятия вольт-амперных характеристик с полупроводниковых приборов.

© СарФТИ НИЯУ «МИФИ», 2019 г.

© Писецкий В.В., Дорохина Т.Е., Гончаров С.Н. 2019 г.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ»  
Саровский физико-технический институт - филиал НИЯУ МИФИ

Факультет информационных технологий  
и электроники

Кафедра общетехнических дисциплин и  
электроники

Писецкий В.В., Дорохина Т.Е., Гончаров С.Н.

## Физика электронных приборов

Учебно-методическое пособие

УТВЕРЖДЕНО:

Заседанием кафедр ОТДЭ

Протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » 2019 г

Зав. кафедры ОТДЭ

Ю.В. Батьков

Научно-методическим советом СарФТИ

\_\_\_\_\_ А.П. Скрипник

г.Саров, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Описание экспериментального стенда .....	5
Лабораторная работа № 1. Исследование полупроводникового диода	9
Цель работы .....	10
Порядок выполнения работы .....	10
Методические рекомендации .....	12
Снятие и построение ВАХ .....	12
Вычисление статического сопротивления .....	13
Вычисление динамического сопротивления .....	14
Лабораторная работа № 2. Исследование полупроводникового стабилитрона .....	16
Цель работы .....	17
Порядок выполнения работы .....	17
Методические рекомендации .....	18
Лабораторная работа № 3. Исследование тиристора .....	19
Цель работы .....	20
Порядок выполнения работы .....	20
Методические рекомендации .....	21
Лабораторная работа № 4. Исследование биполярного транзистора	22
Цель работы .....	23
Порядок выполнения работы .....	23
Методические рекомендации .....	24
Лабораторная работа № 5. Исследование полевых транзисторов ....	25
Цель работы .....	26
Порядок выполнения работы .....	26
Методические рекомендации .....	27

## Описание экспериментального стенда

### Состав

1. Базовый блок.
2. Сменные модули №1 ... №22.

### Основные характеристики базового блока

Напряжение питающей сети переменного тока, В:	220
Частота питающей сети, Гц:	50.
Мощность, потребляемая от сети, В*А:	100.
Масса базового блока, кг	6,0.
Габаритные размеры базового блока, мм	455x325x155.
Масса сменного модуля, г:	200.
Габаритные размеры сменного модуля, мм	200x150x30.

### Параметры генератора прямоугольных импульсов ГПИ:

Частота выходного сигнала	1кГц.
Амплитуда выходного сигнала	0 ... 4,5В.
Коэффициент заполнения прямоугольного сигнала	10%.
Защита от перегрузки:	Да.

### Параметры генератора сигналов специальной формы ГСС:

Частота выходного сигнала:	2Гц	...
100кГц.		
Амплитуда (размах) выходного сигнала:	10 В.	
Форма выходного сигнала:	Синус,	
прямоугольник,		треугольник.
Коэффициент заполнения прямоугольного сигнала:	50 %.	
Защита от перегрузки:	Да.	

### Параметры источника постоянного тока ИТ:

Выходной ток поддиапазона 0 ... 100мкА:	5 ... 100мкА.	
Выходной ток поддиапазона 0 ... 10мА:	10мкА	...
10мА.		
Стабилизация выходного тока:	Да.	

### **Параметры источника постоянного напряжения ИН1:**

Выходное напряжение	0,2 ... 15В.
Стабилизация выходного напряжения:	Да.
Защита от перегрузки:	Да.

### **Параметры источника постоянного напряжения ИН2:**

Выходное напряжение	0,2 ... 15В.
Стабилизация выходного напряжения:	Да.
Защита от перегрузки:	Да.

### **Параметры источника постоянного напряжения ИН3:**

Выходное напряжение:	0 ... 5В.
Стабилизация выходного напряжения:	Да.
Защита от перегрузки:	Да.

### **Параметры источника постоянного напряжения ИН4:**

Выходное напряжение:	+5В.
Стабилизация выходного напряжения:	Да.
Защита от перегрузки:	Да.

### **Параметры источника постоянного напряжения ИН5:**

Выходное напряжение:	±15В.
Стабилизация выходного напряжения:	Да.
Защита от перегрузки:	Да.

### **Параметры источника постоянного напряжения ИН6:**

Выходное напряжение:	~15В.
Стабилизация выходного напряжения:	Нет.
Защита от перегрузки:	Нет.
Параметры вольтметров	PV1, PV2:
Дисплей:	3 <sup>3/4</sup> -разрядный, жидкокристаллический.

Постоянное напряжение: 400мВ / 4 / 40 / 400 / 1000В.

Погрешность измерения постоянного напряжения ± 0,5%

Переменное напряжение 4 / 40 / 400 / 1000В:

Погрешность измерения переменного напряжения ±1,0%

Частотный диапазон 40 Гц ... 500 Гц:

Отклик: среднее значение, откалиброван как среднеквадратичное значение напряжения синусоидальной формы.

## Параметры амперметров РА1, РА2:

Дисплей	3 <sup>3/4</sup> -разрядный, жидкокристаллический.
Постоянный ток:	400 / 4000мкА / 40 / 400мА.
Погрешность измерения постоянного тока:	± 1,5%
Защита от перегрузки:	самовосстанавливающийся предохранитель.
Частотный диапазон:	40 Гц ... 200 Гц.
Отклик:	среднее значение, откалиброван как среднеквадратичное значение тока синусоидальной формы.

## Базовый блок содержит следующие устройства:

1. генератор прямоугольных импульсов;
2. генератор сигналов специальной формы (форма выходного сигнала: синус, прямоугольник, треугольник);
3. источник постоянного тока;
4. источники напряжения;
5. 2 вольтметра;
6. 2 амперметра.

На базовом блоке имеется посадочное гнездо для установки сменного модуля.

На макетных модулях имеются выводы всех источников сигналов стенда для контроля их работы и возможности сборки собственных схем для исследования.

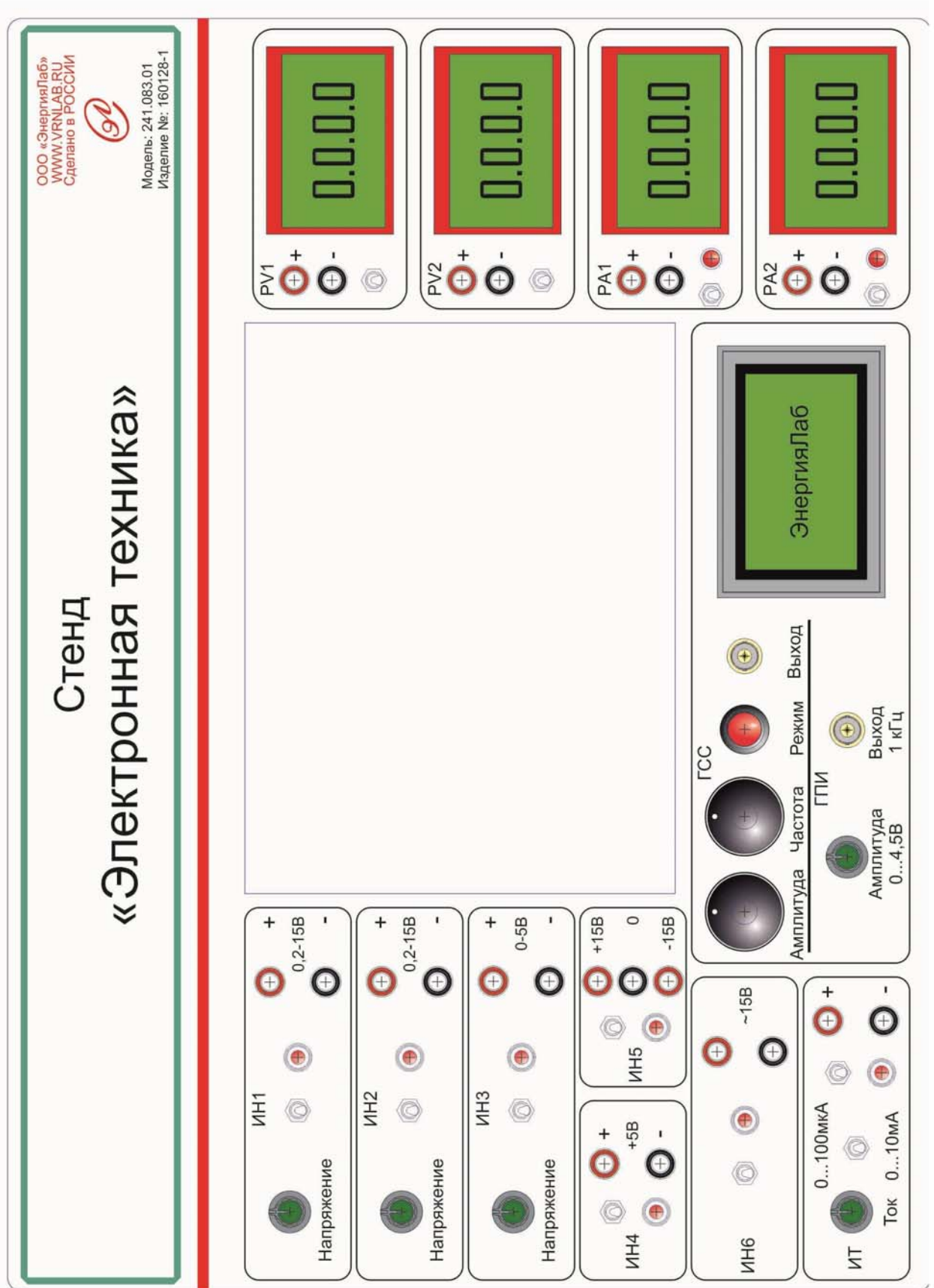
## Характеристики сменных модулей

Габаритные размеры сменного модуля, мм	200x150x30.
Масса сменного модуля, г	200.

В корпусе сменного модуля установлена печатная плата с собранной на ней исследуемой схемой и ответная часть разъема, с которой на исследуемую схему поступают необходимые сигналы от источников базового блока.

На лицевые панели сменных модулей нанесены изображения исследуемых электрических схем. Все элементы схемы и контакты контрольных точек *КТ* установлены сверху лицевой панели модуля и доступны для наблюдения и подключения измерительных приборов. Для изменения номинальных значений элементов схем на модулях имеются гнезда *X*, в которые при необходимости устанавливаются перемычки из изолированного луженого провода.

## Структура лабораторного оборудования





**Лабораторная работа № 1.  
Исследование полупроводникового диода**

## Цель работы

1. Снятие ВАХ диода.
2. Определение параметров диода.

## Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите техническое описание оборудования.
2. Подключите стенд к сети питания 220 В, 50 Гц.
3. Убедитесь, что все источники питания выключены (тумблеры вниз).
4. Включите питание стенда, клавиша Вкл.
5. **Снятие ВАХ кремниевого диода.**
  - 5.1. Соберите схему электрических соединений 1.
  - 5.2. Включите ИН5.
  - 5.3. Регулируя напряжение, регистрируйте ток. Данные свести в таблицу.
  - 5.4. Постройте искомую ВАХ.
  - 5.5. Отключите ИН5.
6. Разберите схему электрических соединений.
7. Отключите питание базового блока.
8. Сделайте вывод.

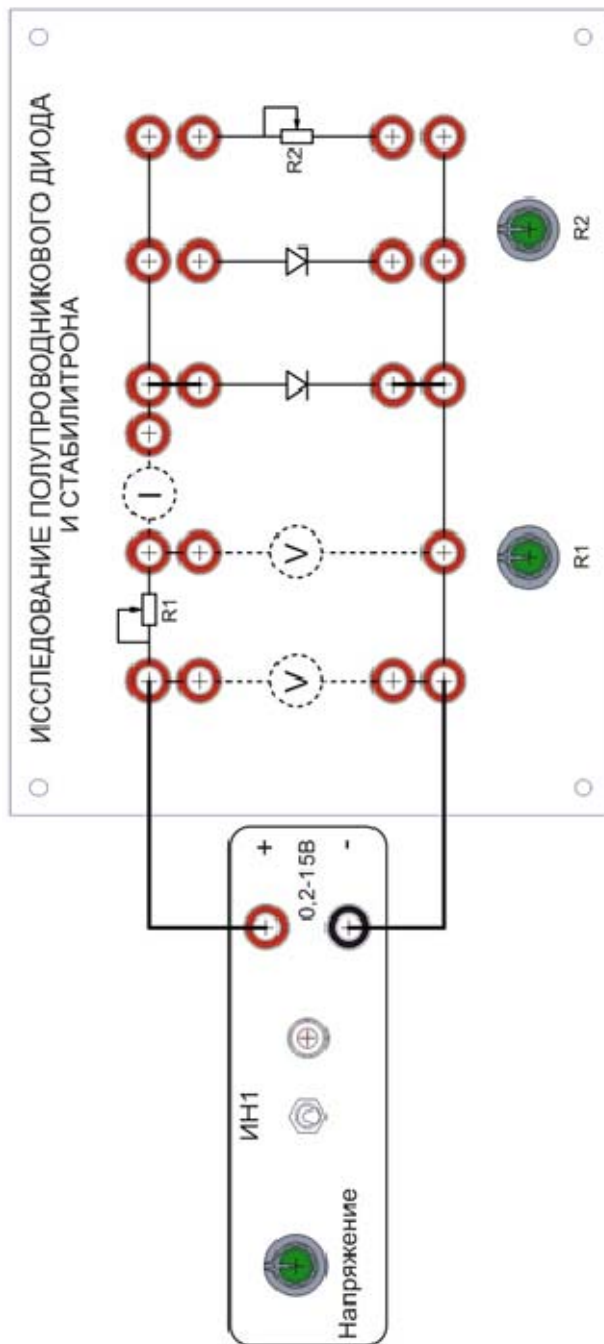


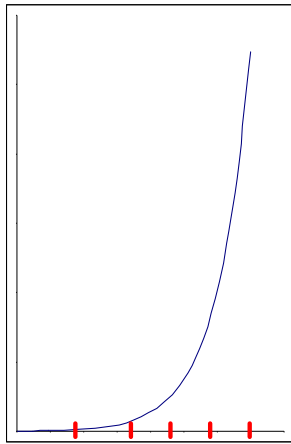
Схема соединений для выполнения лабораторной работы №1

## Методические рекомендации

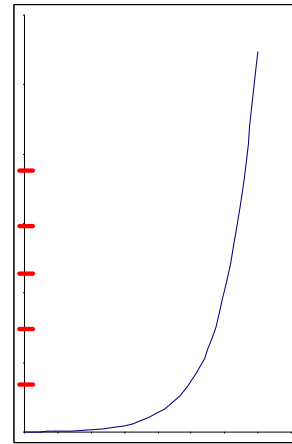
### Снятие и построение ВАХ

При снятии вольт-амперной характеристики (ВАХ) рекомендуется следующий порядок действий:

1. Выбрать ту ось, вдоль которой ожидаемая ветвь ВАХ идет более полого и разбить диапазон на 3..5 точек.



Вариант 1  $I = f(U)$

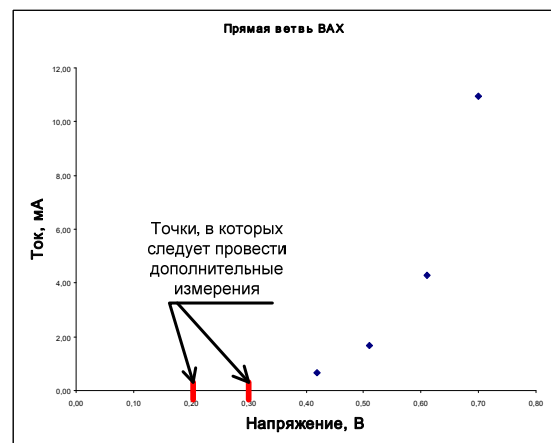
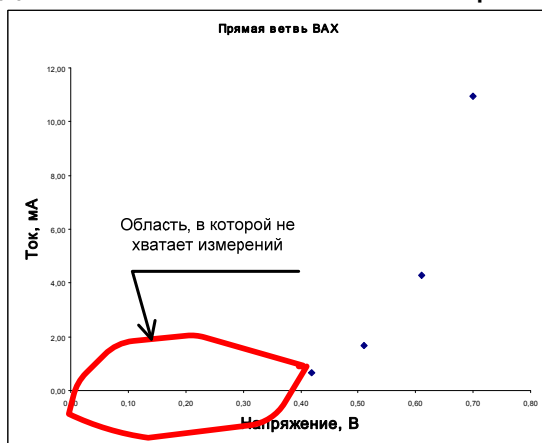


Вариант 2  $U = f(I)$

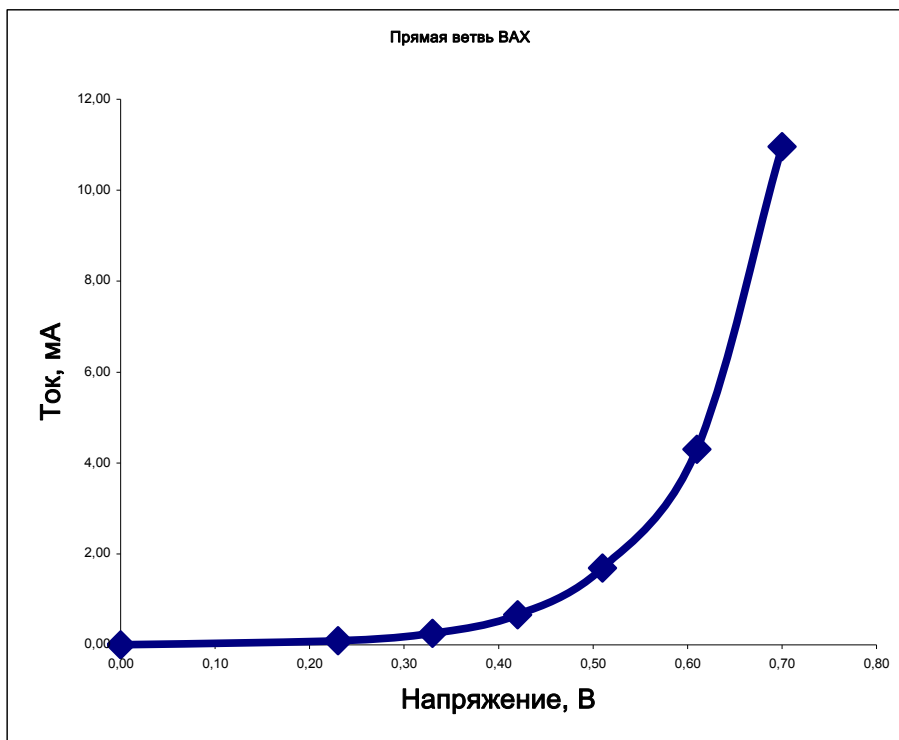
Вариант 1 менее удобен при снятии данных из-за небольшой разницы между намеченными для измерения значениями.

2. Измерить значения в выбранных точках. Не следует добиваться точного попадания в выбранную точку, достаточно установить значение рядом с ней.

3. Построить оценочный график, и по нему, определить в каком диапазоне не хватает измерений:

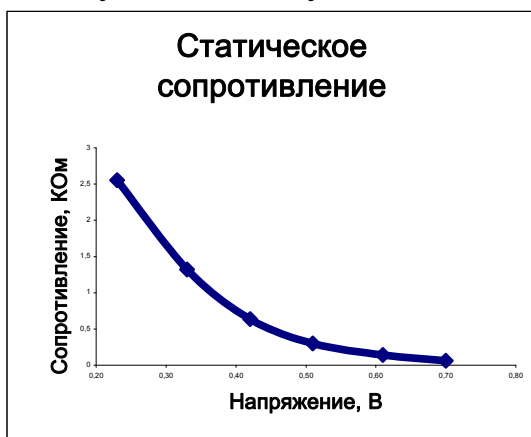


4. Провести дополнительные измерения и построить снятую ВАХ:



### Вычисление статического сопротивления

Знание статического сопротивления полупроводникового прибора важно для расчетов по постоянному току и в ряде других случаев – например, при разработке управляемого делителя на базе этого прибора. По сути, задача сводится к построению графика  $R_i = \frac{U_i}{I_i}$  по всем измеренным значениям. В случае приведенной выше ВАХ график получится следующий:

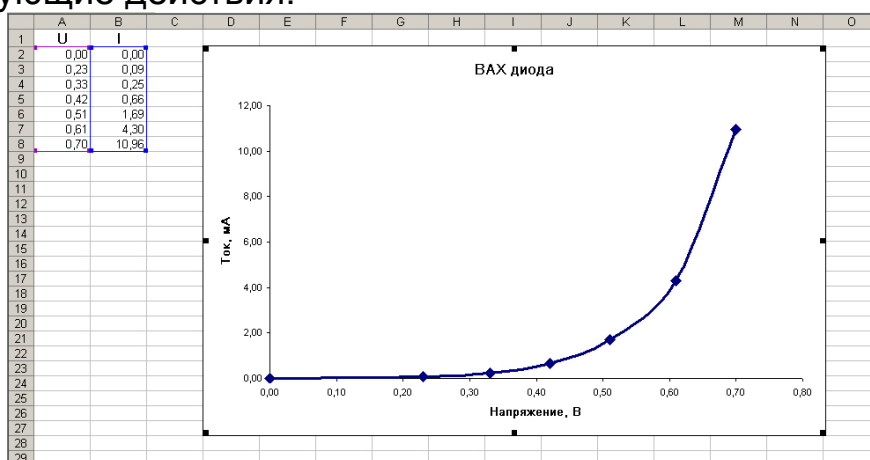


## Вычисление динамического сопротивления

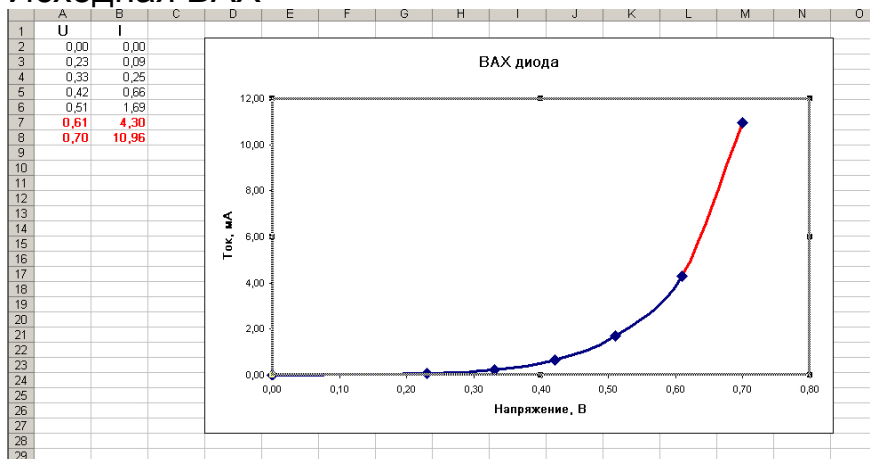
Динамическое сопротивление является, по сути, наклоном касательной в избранной точке. Для ВАХ и других характеристик полупроводниковых приборов интерес представляет динамическое сопротивление на линейном участке характеристики.

Для измерения динамического сопротивления достаточно построить касательную к точке в центре линейного участка и посчитать её наклон:  $R_{дин} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ .

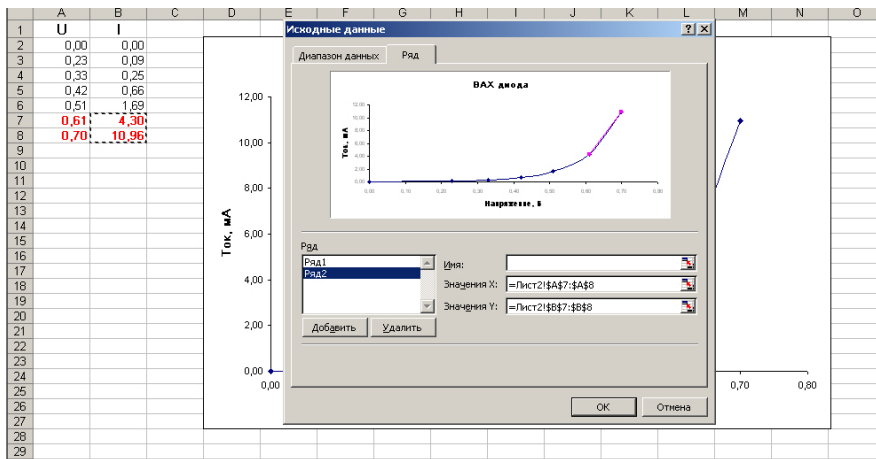
Однако можно воспользоваться возможностями, предоставляемыми офисными пакетами. Например, в программе Excel для расчёта динамического сопротивления необходимо выполнить следующие действия:



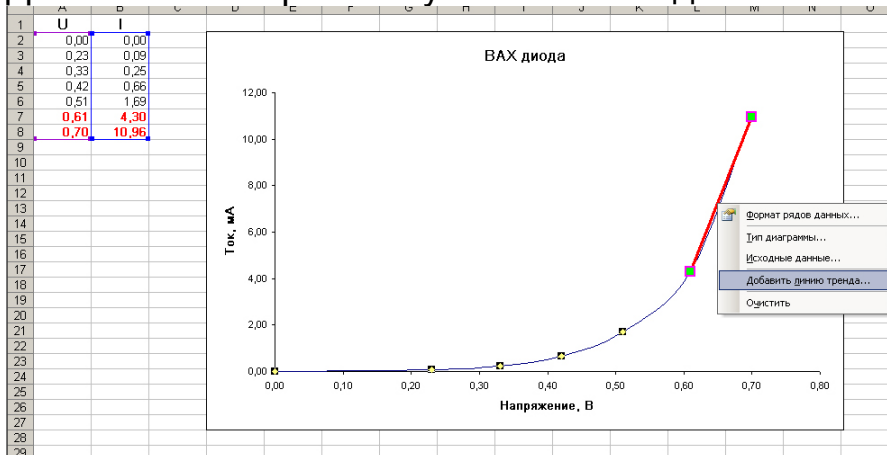
### Исходная ВАХ



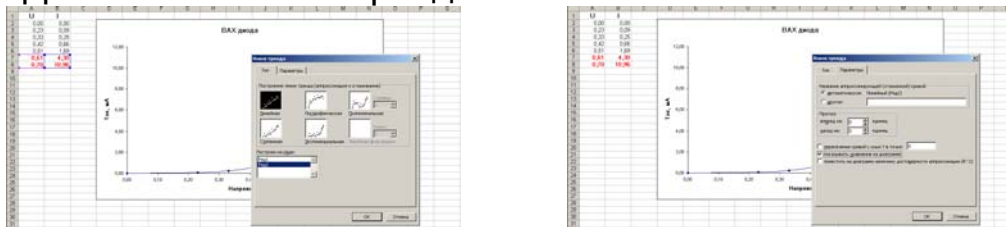
Выделяем линейную область



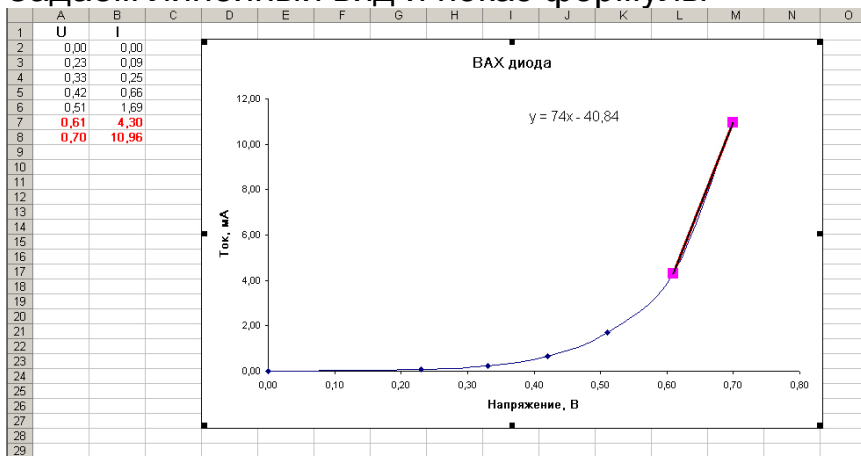
## Добавляем выбранный участок как Ряд 2



## Добавляем линию тренда



## Задаем линейный вид и показ формулы



Цифра «74» в формуле – это проводимость на линейном участке, измеренная в мСм ([мА]/[В]). Обратная ей величина 0,013513514 Ком или 13,52 Ом и есть динамическое сопротивление на этом участке.

**Лабораторная работа № 2.  
Исследование полупроводникового стабилитрона**



### Цель работы

1. Снятие ВАХ стабилитрона.
2. Определение параметров стабилитрона.

### Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите техническое описание оборудования.
2. Подключите стенд к сети питания 220 В, 50 Гц.
3. Убедитесь, что все источники питания выключены (тумблеры вниз).
4. Включите питание стенда, клавиша Вкл.
5. Снятие ВАХ стабилитрона.
  - 5.1. Соберите схему электрических соединений 1.
  - 5.2. Включите ИН5.
  - 5.3. . Регулируя напряжение, регистрируйте ток. Данные свести в таблицу.
  - 5.4. Постройте искомую ВАХ.
  - 5.5. Отключите ИН5.
6. Разберите схему электрических соединений.
7. Отключите питание базового блока.
8. Сделайте вывод.

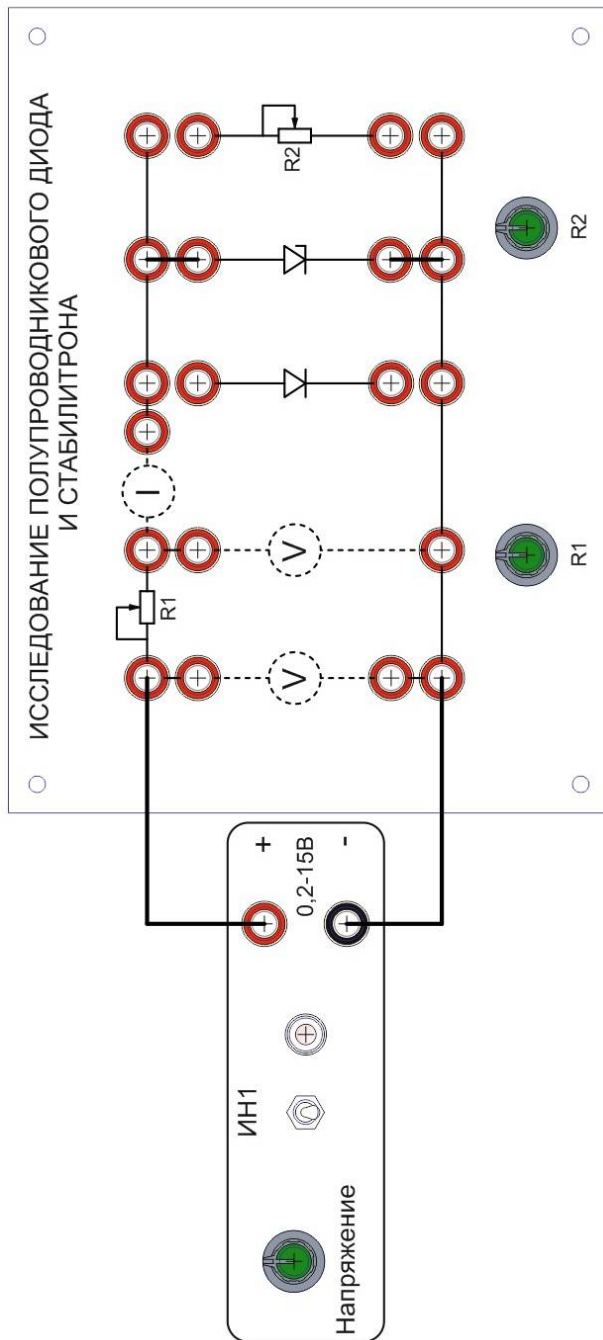


Схема соединений для выполнения лабораторной работы №2

### Методические рекомендации

В основном следовать указаниям к работе 1. Рабочую ветку ВАХ целесообразно снимать разбиением по напряжению до пробоя и разбиением по току – на участке стабилизации.

**Лабораторная работа № 3.  
Исследование тиристора**

## Цель работы

1. Снятие анодной характеристики
2. Определение параметров тиристора.

## Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите техническое описание оборудования.
2. Подключите стенд к сети питания 220 В, 50 Гц.
3. Убедитесь, что все источники питания выключены (тумблеры вниз).
4. Включите питание стенда, клавиша Вкл.
5. Соберите схему электрических соединений.
6. Включите ИН4, ИН5.
7. Регулируя R1, считайте ток анода и напряжение на аноде.
8. Постройте анодную характеристику.
9. Отключите питание источников и базового блока.
10. Разберите схему электрических соединений.
11. Сделайте вывод.

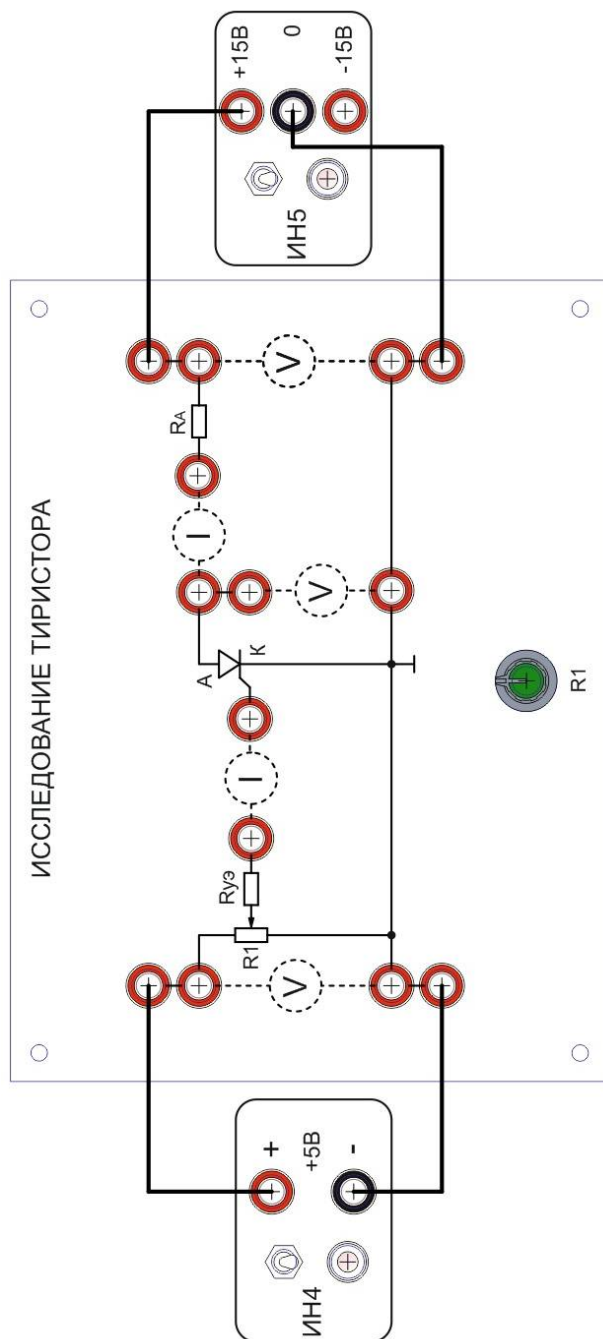


Схема соединений для выполнения лабораторной работы №3

### Методические рекомендации

В основном следовать указаниям к работе 1. Рабочую ветку ВАХ важно снимать в одну сторону – не возвращаясь назад.

**Лабораторная работа № 4.  
Исследование биполярного транзистора**

## Цель работы

1. Снятие входных ВАХ.
2. Снятие семейства выходных ВАХ.
3. Определение параметров биполярного транзистора.

## Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите техническое описание оборудования.
2. Подключите стенд к сети питания 220 В, 50 Гц.
3. Убедитесь, что все источники питания выключены (тумблеры вниз).
4. Включите питание стенда, клавиша Вкл.
5. Соберите схему электрических соединений.
6. Включите ИТ и ИН4.
7. Снимите семейство входных (зависимость тока коллектора  $I_k$  от напряжения коллектор-эмиттер  $U_{кэ}$  при различных постоянных значениях тока базы.) и выходных (зависимость тока базы  $I_b$  от напряжения база-эмиттер  $U_{бэ}$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$ ) ВАХ.
8. Постройте искомые ВАХ.
9. Отключите питание источников и базового блока.
10. Разберите схему электрических соединений.
11. Сделайте вывод.

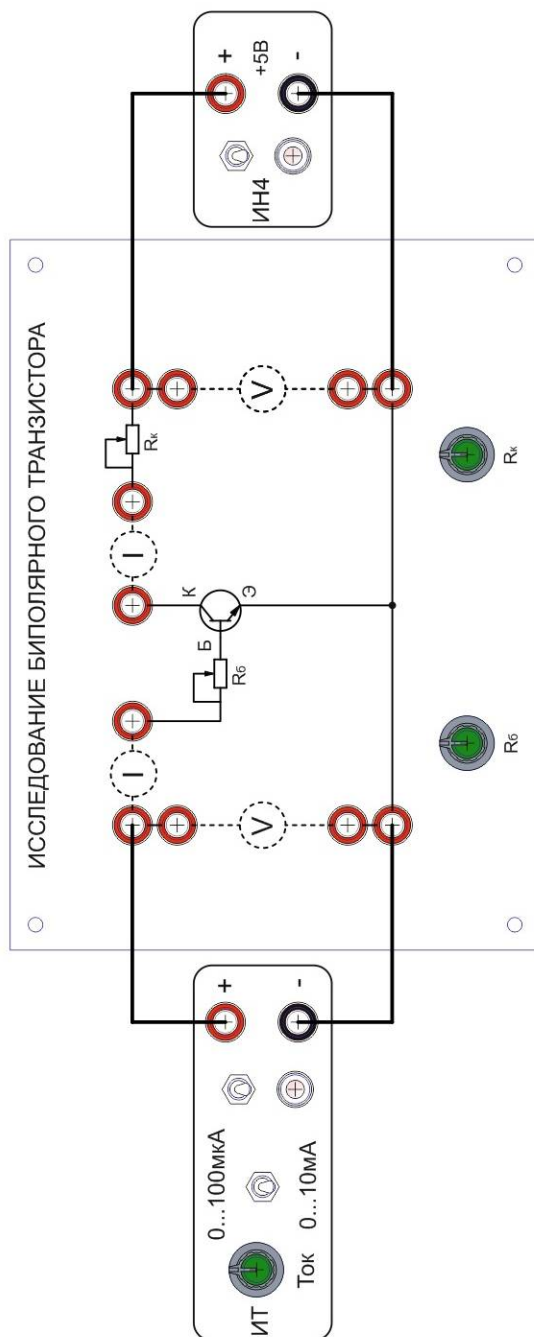


Схема соединений для выполнения лабораторной работы №4

### Методические рекомендации

В основном следовать указаниям к работе 1. При снятии семейства ВАХ тщательно отслеживать фиксированный параметр.



**Лабораторная работа № 5.  
Исследование полевых транзисторов**

### Цель работы

1. Снятие сток-затворных характеристик полевого транзистора.
1. Снятие стоковых характеристик полевого транзистора.
1. Определение параметров полевого транзистора.

### Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите техническое описание оборудования.
2. Подключите стенд к сети питания 220 В, 50 Гц.
3. Убедитесь, что все источники питания выключены (тумблеры вниз).
4. Включите питание стенда, клавиша Вкл.
5. Соберите схему электрических соединений.
6. Включите ИН4 и ИН5.
7. Снимите стоко-затворные и стоковые характеристики полевых транзисторов.
8. Постройте искомые характеристики.
9. Отключите питание источников и базового блока.
10. Разберите схему электрических соединений.
11. Сделайте вывод.

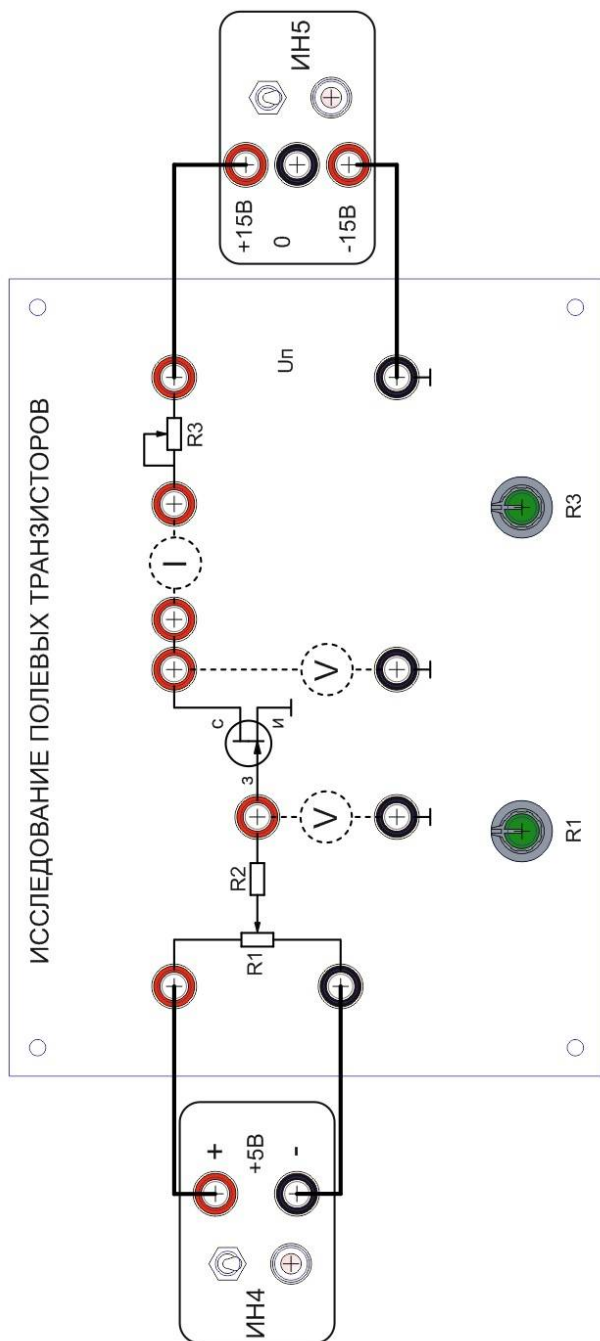


Схема соединений для выполнения лабораторной работы №5

### Методические рекомендации

В основном следовать указаниям к работе 1. При снятии семейства ВАХ тщательно отслеживать фиксированный параметр.