

# Лабораторная работа №1

## Измерение и исследование ВАХ и параметров выпрямительных диодов

### 1. Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является закрепление теоретических знаний о физических принципах работы и определяемых ими характеристиках и параметрах выпрямительных полупроводниковых диодов путем экспериментального исследования их с помощью измерительных средств аппаратно-программного комплекса «Электроника».

### 5. Задание для экспериментального исследования вольт-амперных характеристик и параметров выпрямительных диодов

Необходимо с помощью средств АПК УД «Электроника» измерить в ручном и автоматическом режимах прямую и обратную ветви вольт-амперных характеристик выпрямительного диода заданного типа. Определить статические и дифференциальные сопротивления диода в заданных точках ВАХ с помощью расчетов и автоматических курсорных измерений.

#### *Порядок выполнения задания*

**5.1.** Выполните соединение с сервером с титульного экрана АПК УД «Электроника», нажав клавишу «Подключение».

Выберите исследуемый прибор – «Диод», лабораторную работу – «Измерение и исследование ВАХ», тип диода и номер индивидуального варианта.

Откройте лицевую панель виртуального лабораторного стенда, нажав клавишу «Начать выполнение».

**5.2.** Ознакомьтесь с лицевой панелью виртуального лабораторного стенда, с отображаемой на нем схемой измерения.

Проведите измерения в соответствии с ниже приводимыми частными заданиями (пунктами выполнения лабораторной работы).

**5.3.** Выполните измерение прямой ветви ВАХ диода в ручном режиме при включенном токоизмерительном резисторе  $R_T = 300$  Ом для значений ЭДС источника, задаваемых от нуля до значения  $E = E_{\text{кон}}$ , ограниченного верхним пределом измерения по току измерителя ВАХ или предельным током исследуемого диода. Для этого:

5.3.1. Выберите режим измерения «Ручной». Подключите на схеме измерения токоизмерительный резистор  $R_T = 300$  Ом. Установите с помощью движка значение ЭДС источника  $E = 0$ . Проведите измерение, нажав на клавишу «Измерение». Убедитесь в появлении измеренной точки ВАХ в окне графики. Полученные значения тока и напряжения зафиксируйте в памяти цифрового индикатора и в окне графики путем нажатия кнопки «Запись».

5.3.2. Выберите шаг  $\Delta E$  изменения ЭДС источника  $E$ , равный (0,2–0,3) В для германиевого диода и (0,3–0,5) В – для кремниевого.

Установите с помощью движка или с клавиатуры значение  $E = \Delta E$  и проведите измерение. Убедитесь в появлении второй точки ВАХ в окне графики и второй строки данных на цифровом индикаторе.

Результаты измерения зафиксируйте в памяти цифрового индикатора и в окне графики нажатием кнопки «Запись».

5.3.3. Продолжите измерения, увеличивая ЭДС источника  $E$  с выбранным шагом  $\Delta E$  и фиксируя результаты каждого измерения на цифровом и графическом индикаторах.

Контролируйте измеренные значения тока диода. Измерения завершите при максимальном значении тока диода  $I_{д.мах}$ , удовлетворяющем условию:  $I_{д.мах} \leq I_{пр}$ ,  $I_{д.мах} \leq I_{изм.мах}$ , где  $I_{изм.мах} = 30$  мА – верхний предел измерения по току измерителя ВАХ.

Отметьте соответствующее току  $I_{д.мах}$  конечное значение ЭДС источника  $E = E_{кон}$  и конечное максимальное значение напряжения на диоде  $U_{д.кон}$ .

По графику ВАХ определите напряжение ее резкого изгиба, называемое пороговым напряжением  $U_{д.пор}$ , которое запишите в рабочую тетрадь для отчета (или в формируемый в процессе выполнения работы электронный отчет).

В случае необходимости проведите измерения в отдельных, представляющих интерес точках ВАХ.

Сохраните для отчета копию лицевой панели виртуального лабораторного стенда, показания цифрового индикатора ручных измерений и график измеренной ВАХ с помощью клавиши «Сохранение».

5.3.4. По результатам измерения ВАХ в ручном режиме определите значения статического  $R_{д.ст}$  и дифференциального  $r_d$  сопротивлений диода в трех точках: вблизи точки изгиба (порогового напряжения), при ЭДС  $E = E_{кон}/2$ , при ЭДС  $E = E_{кон}$ . Запишите их в рабочую тетрадь.

**5.4.** Выполните измерение обратной ветви ВАХ диода в ручном режиме при включенном токоизмерительном резисторе  $R_T = 100$  кОм для значений ЭДС источника  $E$ , изменяемых от  $E_{нач}$ , ограниченного допустимым обратным напряжением диода  $U_{обр}$ , до  $E = 0$ .

Измерение обратной ветви ВАХ диода выполните путем задания значений ЭДС  $E$ , проведения измерения, записи результатов измерения в

память цифрового индикатора и фиксации их в окне графики. Значение  $E_{\text{нач}}$  для исследуемых диодов равно  $-10$  В. Шаг изменения ЭДС может быть принят равным  $1$  В в диапазоне  $-10 \leq E < -1$  В и  $0,25$  В в диапазоне  $0 \geq E \geq -1$  В.

Сохраните для отчета показания цифрового индикатора ручных измерений и график измеренной обратной ветви ВАХ.

**5.5.** Выполните измерение прямой ветви ВАХ диода в автоматическом режиме при включенном токоизмерительном резисторе  $R_T = 300$  Ом и значениях пределов  $E_{\text{нач}}$ ,  $E_{\text{кон}}$  и шага изменения  $dE$  ЭДС источника  $E$ , которые найдены или рекомендованы в [п. 5.3](#) при ручном измерении прямой ветви ВАХ. Для этого:

5.5.1. Подключите на схеме измерения лицевой панели виртуального лабораторного стенда токоизмерительный резистор  $R_T = 300$  Ом и перейдите в режим измерения «Автоматический».

При отжатом положении клавиши «Принять» введите значение  $E_{\text{нач}} = 0$  и значения  $E_{\text{кон}}$  и  $dE$  (шаг изменения  $\Delta E$ ), которые найдены или рекомендованы при ручном измерении прямой ветви ВАХ в [п. 5.3](#). Шаг  $dE$  при автоматическом измерении для большей точности можно задать меньшим (например, вдвое), чем при ручном измерении; его введенное значение при этом автоматически округляется до ближайшего дискретного значения, кратного  $0,05$  В. Предел измерения по току  $I_{\text{изм max}}$  установите равным значению  $I_{\text{д max}}$ , найденному в [п. 5.3.3](#).

Нажатием клавиши «Принять» подтвердите введенные параметры измерения.

Нажмите клавишу «Измерение».

5.5.2. После успешного завершения измерения по выведенному графику зависимости  $U_d = f(E)$  определите пределы параметров вывода ВАХ  $U_{\text{д.нач}}$ ,  $U_{\text{д.кон}}$  и сравните их со значениями, автоматически выводимыми на индикаторы панели «Параметры вывода ВАХ». При  $E = E_{\text{нач}} = 0$   $U_{\text{д.нач}}$  также должно быть равно нулю, а при  $E = E_{\text{кон}}$  близко к значению  $U_{\text{д.кон}}$ , найденному в [п. 5.3.3](#).

При необходимости значение  $U_{\text{д.кон}}$  может быть скорректировано в желаемом направлении.

5.5.3. Последовательно просмотрите графики выводимых зависимостей:  $I_d = f(E)$ ,  $I_d = f(U_d)$  (ВАХ),  $U_d = f(I_d)$ . По графику  $I_d = f(U_d)$  или  $U_d = f(I_d)$  определите приближенное значение порогового напряжения (напряжение изгиба) ВАХ  $U_{\text{д.пор}}$ .

Сохраните для отчета графики  $I_d = f(E)$ ,  $U_d = f(I_d)$ .

Выведите поочередно графики зависимостей статического и дифференциального сопротивлений диода  $R_{\text{д.ст}} = f(I_d)$ ,  $r_d = f(I_d)$  от тока диода  $I_d$ .

Сохраните для отчета графики  $R_{\text{д.ст}} = f(I_d)$ ,  $r_d = f(I_d)$ .

5.5.4. Выведите график прямой ветви ВАХ  $I_d = f(U_d)$ .

Проведите курсорные измерения в трех точках ВАХ: в точке порогового напряжения (изгиба), которой соответствует некоторое значение ЭДС  $E_{\text{пор}}$ , в точке, соответствующей  $E_{\text{кон}}$  и в точке, соответствующей  $(E_{\text{пор}} + E_{\text{кон}})/2$ . Измеренные значения  $E$ ,  $I_d$ ,  $U_d$ ,  $R_{\text{д.ст}}$ ,  $r_d$  запишите в память цифрового

индикатора курсорных измерений.

Сохраните для отчета показания цифрового индикатора и график выводимой прямой ветви ВАХ диода.

**5.6.** Выполните измерение обратной ветви ВАХ диода в автоматическом режиме при включенном токоизмерительном резисторе  $R_T = 100$  кОм для значений ЭДС источника  $E$  от нуля до  $E_{\text{кон}} = -10$  В с шагом  $dE = 0,5$  В. Для этого:

5.6.1. Подключите на схеме измерения токоизмерительный резистор  $R_T = 100$  кОм. Установите режим измерения «Автоматический». Задайте параметры автоматического измерения ВАХ:  $E_{\text{нач}} = -10$  В,  $E_{\text{кон}} = 0$ ,  $dE = 0,5$  В. Подтвердите заданные параметры измерения нажатием клавиши «Принять». Проведите измерение ВАХ, нажав клавишу «Измерение».

5.6.2. При автоматически установленных параметрах вывода  $U_{\text{д.нач}}$ ,  $U_{\text{д.кон}}$  выведите на экран график обратной ветви ВАХ  $I_d = f(U_d)$ . С помощью курсорных измерений найдите и запишите в память цифрового индикатора значения  $E$ ,  $I_d$ ,  $U_d$ ,  $R_{\text{д.ст}}$ ,  $r_d$  для двух точек обратной ветви ВАХ, соответствующих  $E_{\text{нач}}$  и  $E_{\text{нач}}/2$ .

Сохраните для отчета показания цифрового индикатора курсорных измерений и график обратной ветви ВАХ.

## 6. Требования к оформлению отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде электронного документа в текстовом редакторе *Word*.

В отчете должны быть приведены:

1. Цель выполнения лабораторной работы, тип исследуемого диода.
2. Вид сохраненной лицевой панели виртуального лабораторного стенда.
3. Результаты измерений и обработки по [п. 5](#).
4. Выводы по лабораторной работе о степени соответствия результатов измерений теоретическим и физическим представлениям и закономерностям.

### Контрольные вопросы

1. Что такое р-п переход? Какими свойствами он обладает и почему? Нарисовать и пояснить энергетические диаграммы р-п перехода при прямом и обратном включении.
2. Объяснить физическую суть туннельного, лавинного и теплового пробоев.
3. Нарисовать на одном графике ВАХ кремниевого и германиевого диодов. Объяснить отличие.
4. Как зависят прямой и обратный токи через диод от температуры, чем обусловлены эти зависимости?

5. В чем отличие примесного полупроводника от собственного? Какими носителями зарядов обусловлена проводимость примесных и собственных полупроводников?
6. Как образуются полупроводники p и n типов?
7. В чем заключается отличие диэлектриков, полупроводников и металлов с точки зрения зонной теории проводимости?
8. Что такое ток дрейфа и ток диффузии? Объяснить на примере токов, протекающих через p-n переход.

# **Лабораторная работа №3**

## **Исследование работы выпрямительных диодов на переменном токе**

### **1. Цель лабораторной работы**

Целью лабораторной работы является закрепление теоретических знаний о характеристиках, параметрах и определяемых ими применениях полупроводниковых выпрямительных диодов путем экспериментального исследования их с помощью измерительных средств аппаратно-программного комплекса «Электроника».

### **5. Задание для экспериментального исследования работы выпрямительных диодов на переменном токе**

Для исследуемой схемы однополупериодного выпрямителя на основе маломощного полупроводникового диода с помощью средств АПК УД «Электроника» измерить осциллограммы напряжений и токов при различных значениях ЭДС смещения, амплитуды и частоты выпрямляемой ЭДС, сопротивления и емкости нагрузки. Оценить по экспериментальным данным среднее значение и коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения и коэффициент выпрямления диода. Обосновать результаты исследования посредством вольт-амперной характеристики диода.

#### *Порядок выполнения задания*

**5.1.** Выполните соединение с сервером с титульного экрана аппаратно-программного комплекса «Электроника», нажав клавишу «Подключение».

Выберите исследуемый прибор – «Диод», лабораторную работу – «Исследование работы прибора на переменном токе», тип диода и номер индивидуального варианта.

**5.2.** Ознакомьтесь по лицевой панели стенда с исследуемой схемой однополупериодного выпрямителя, лицевой панелью измерителя ВАХ и цифрового осциллографа, схемой подключения каналов осциллографа, с выведенными по умолчанию значениями параметров генераторов ЭДС.

**5.3.** Выполните измерение осциллограмм напряжений в исследуемой схеме однополупериодного выпрямителя при активной нагрузке  $R_n = 333 \text{ Ом}$ , нулевом постоянном смещении, максимальной амплитуде и заданной частоте

переменной (выпрямляемой) ЭДС  $F = 100$  Гц. Для этого:

5.3.1. Установите параметры настройки осциллографа: входы каналов – открытые, число периодов развертки сигнала – 2. В процессе работы число периодов развертки сигнала можно изменить с учетом удобств визуализации сигналов и проведения курсорных измерений.

Проведите измерение ВАХ диода, нажав кнопку включения автоматического измерителя ВАХ. При успешном завершении измерения ознакомьтесь с выведенным графиком измеренной ВАХ.

Установите ЭДС источника постоянного смещения  $E_0 = 0$ , частоту колебаний источника переменной ЭДС  $F = 100$  Гц, сопротивление нагрузки  $R_{н1} = 333$  Ом.

Задайте максимально возможное значение амплитуды источника переменной ЭДС  $E_m = E_{m \max}$ , при котором максимальный ток диода и обратное напряжение на диоде не превысят предельные значения.

Измерьте осциллограммы напряжений в контрольных точках схемы.

5.3.2. Проведите *курсорные измерения* по выведенным осциллограммам. Для этого:

Путем перемещения вертикального курсора на экране осциллографа посмотрите, как изменяется положение мгновенной рабочей точки в окне измерителя ВАХ диода. По индикаторам измерителя ВАХ диода определите максимальные и минимальные значения тока диода и напряжения на диоде и запишите их в рабочую тетрадь.

Определите по осциллограмме максимальное значение напряжения на нагрузке  $U_{нm}$ , запишите его в рабочую тетрадь.

Переключите вход канала 3 осциллографа на закрытый и определите по осциллограмме измеренное среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке  $U_{ср.изм}$ , запишите его в рабочую тетрадь.

Для удобства анализа и курсорных измерений можно одновременно отображать на экране осциллограммы напряжений одного, двух или трех каналов путем выбора их с помощью кнопок «Канал 1», «Канал 2», «Канал 3» лицевой панели осциллографа.

Сохраните для отчета лицевую панель виртуального стенда и осциллограммы напряжений совместно с графиками ВАХ и показаниями цифровых курсорных индикаторов и индикаторов измерителя ВАХ.

5.3.3. Повторите исследования по [п.п. 5.3.1](#), [5.3.2](#) для случая активно-емкостной нагрузки 10 кОм–1 мкФ, 10 кОм–10 мкФ.

По результатам измерения при различных нагрузках определите и запишите в рабочую тетрадь:

среднее значение выпрямленного напряжения  $U_{ср.расч}$ ;

среднее значение тока диода;

выходную мощность (мощность, выделяющаяся на нагрузке);

коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения.

**5.4.** Выполните измерение осциллограмм напряжений в исследуемой схеме однополупериодного выпрямителя при активной нагрузке, нулевом постоянном смещении, максимальной амплитуде и максимальной частоте переменной (выпрямляемой) ЭДС. Для этого:

Установите параметры настройки осциллографа по [п. 5.3.1](#).

Установите ЭДС смещения  $E_0 = 0$ , амплитуду генератора переменной ЭДС  $E_m = E_{m \max}$ , частоту  $F = 1000$  Гц, сопротивление нагрузки  $R_n = 333$  Ом.

Измерьте осциллограммы напряжений в контрольных точках схемы.

Проанализируйте полученные осциллограммы напряжений и графики ВАХ и отметьте в рабочей тетради наблюдаемые отличия их по сравнению с измерениями на частоте  $F = 100$  Гц.

Сохраните для отчета осциллограммы напряжений совместно с графиками ВАХ.

**5.5.** Повторите измерения по [п. 5.4](#) при активно-емкостной нагрузке  $10$  кОм– $1$  мкФ.

**5.6.** Выполните измерение осциллограмм напряжений в исследуемой схеме однополупериодного выпрямителя в режиме выпрямления малых напряжений при различных положениях исходной рабочей точки на ВАХ диода, частоте выпрямляемой ЭДС  $F = 100$  Гц и активной нагрузке  $R_n = 333$  Ом. Для этого:

**5.6.1.** Установите параметры настройки осциллографа по [п. 5.3.1](#).

Установите ЭДС смещения  $E_0 = 0$ , амплитуду генератора переменной ЭДС  $E_m = 1$  В для германиевого диода и  $E_m = 2$  В – для кремниевого, частоту  $F = 100$  Гц, сопротивление нагрузки  $R_n = 333$  Ом.

Измерьте осциллограммы напряжений в контрольных точках схемы.

Сохраните для отчета осциллограммы напряжений совместно с графиками ВАХ и показаниями цифровых курсорных индикаторов.

**5.6.2.** Повторите измерения по [п. 5.6.1](#) при значениях ЭДС смещения, равных  $E_0 = U_{д.пор}$ ,  $E_0 = -U_{д.пор}$ , где  $U_{д.пор}$  – пороговое напряжение диода.

Сохраните для отчета осциллограммы напряжений совместно с графиками ВАХ и показаниями цифровых курсорных индикаторов.

## **6. Требования к оформлению отчета по лабораторной работе**

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде электронного документа в текстовом редакторе *Word*.

В отчете должны быть приведены:

1. Цель выполнения лабораторной работы.
2. Вид лицевой панели виртуального лабораторного стенда.
3. Результаты экспериментального исследования по [п. 5](#), включающие

все сохраненные графики и рассчитанные значения.

4. Выводы по лабораторной работе о степени соответствия результатов экспериментального исследования теоретическим и физическим представлениям и закономерностям.

### Контрольные вопросы

1. Что такое выпрямитель, каково его назначение?
2. Как связаны выпрямительные свойства диода с физическими принципами его работы?
3. Как объясняются осциллограммы сигналов в схеме однополупериодного выпрямителя с помощью вольт-амперных характеристик диода?
4. Как определяются максимальный ток диода и максимальное обратное напряжение на диоде в схеме однополупериодного выпрямителя?
5. Что такое коэффициент выпрямления и как он определяется?
6. В чем заключаются особенности выпрямления малых сигналов в однополупериодной схеме выпрямителя?
7. Каковы особенности работы диодов в выпрямительных схемах при повышении частоты сигнала?
8. Что такое коэффициент пульсаций выпрямителя и чему он равен для исследуемой схемы?
9. Нарисовать схему двухполупериодного выпрямителя, объяснить принцип работы.
10. Что такое дифференциальное и статическое сопротивления диода? Как они определяются?
11. Как по известным ВАХ диода и напряжению на диоде графически определить ток через диод?
12. Какой порядок имеет сопротивление диода при прямом и обратном включениях? Почему?
13. Как влияет на ток через нагрузку емкость, включенная параллельно нагрузке, в схеме однополупериодного выпрямителя?

## ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

<b>Номер варианта</b>	<b>Вид исследования</b>	<b>Тип полупроводникового прибора</b>	<b>Номер прибора</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>ДИОД</b>			
1	Экспериментальные исследования	КД521В	1
2		КД521В	2
3		КД521В	3
4		КД521В	4
5		ГД507А	1
6		ГД507А	2
7		ГД507А	3
8		ГД507А	4